

პ. ქობეტიანი

ზოგადი ბიოქიმიის კურსი

საქართველოს სსრ უმაღლესი და საშუალო
სპეციალური განათლება - ჯამინისტროს მიერ
დამტკიცებულია სახელმძღვანელოდ სტუდენტებისათვის

თბილისის უნივერსიტეტის გამომცემლობა

თბილისი 1971

54.04
577.1
ქ 631

ნაშრომი წარმოადგენს შესაბამე გამოცემას. დამატე-
ბულია ახალი მასალები ცილის სინთეზის, ნუკლეინის
მეაგების, ფერმენტებისა და კოფერმენტების შესახებ.
წიგნი განკუთვნილია სტუდენტთა ბიოლოგებისა და
პედაგოგებისათვის.

ბიოლოგიური ქიმიის მიზანი და ამოცანები

ბიოლოგიური ქიმიის მიზანს წარმოადგენს ცოცხალ უჯრედში მ-მდინარე ქიმიური რეაქციების შესწავლა. ამ მიზნის მისაღწევად, პირველ ყოვლისა, საჭიროა ვიცოდეთ, თუ რომელი ქიმიური ნაერთები შედის უჯრედის შემადგენლობაში. მაგრამ ცნობილია, რომ ქიმიური შემადგენლობის ზედმიწევნითი ცოდნა სრულებითაც არ არის საკმარისი რომელიმე პროცესის შესწავლისათვის. არანაკლები მნიშვნელობა აქვს იმის გარკვევას, თუ როგორ ცვალებადობს და და გარდაქმნებს განიცდის ესა თუ ის ნაერთი სასიცოცხლო პროცესის მსვლელობის დროს.

ცოცხალი უჯრედის ყველაზე დამახასიათებელ თვისებას ნეოთიერებათა ცვლა წარმოადგენს. ნეოთიერებათა ცვლა, ზოგადად აღებული, მხოლოდ ცოცხალი ბუნებისათვის არ არის დამახასიათებელი; არაორგანულ ბუნებაში აგრეთვე აღვილი აქვს ნეოთიერებათა ცვლა. მაგრამ ცოცხალსა და არაორგანულ ბუნებას შორის ამ მხრივ კარდინალური განსხვავება არსებობს: „იმ დროს, როდესაც ცოცხალი მატერიის არსებობისათვის ნეოთიერებათა ცვლა აუცილებელ პირობას წარმოადგენს და მისი შეწყვეტა ამ მატერიის დაშლას იწვევს, არაორგანულ ბუნებაში, პირიქით, მატერია იშლება ნეოთიერებათა ცვლის პროცესების გამო“ (ენგელსი).

იბადება კითხვა, თუ რა გზით, რომელი მექანიზმების საშუალებით უკავშირდება ბიოქიმიური გარდაქმნა სასიცოცხლო პროცესს, ცოცხალი მატერიის ფუნქციას. ამ დარგში მიღებული შედეგები გარკვეულ პასუხს იძლევა ნეოთიერებათა ცვლის ბიოლოგიური დანიშნულების შესახებ.

როდესაც მიზნად არის დასახული რომელიმე ნაერთის გარდაქმნის შესწავლა, მხედველობაშია მისაღები, რომ უჯრედში ერთდროულად მიმდინარეობს მრავალი ურთიერთდაკავშირებული რეაქცია. სიძნელე იმაში მდგომარეობს, რომ რეაქცია, რომელიც გვაინტერესებს, შესწავლილი უნდა იყოს დანარჩენი რეაქციების მთლიანობაში. მხედველობაშია მისაღები აგრეთვე ის გარემოება, რომ ბიოქიმიური რეაქციები უჯრედის ისეთ რთულ შიგნითა არეში წარმოებს, რომლის ფიზიკურ-ქიმიური თვისებები მთლიანად შესწავლილი არ არის. უჯრედის სტრუქტურა, მისი აგვანებადობის ხარისხი, განვლადობა დამოკიდებულია იმ წონასწორობის მდგომარეობაზე, რომელიც მყარდება უჯრედის შიგნითა და გარემო არეთა შორის. ამ წონასწორობაზეა დამყარებული უჯრედის ოსმოსური წნევა, მის წყალბად-იონთა კონცენტრაცია, ზედაპირული კიბვა, ბიოელექტროდენის პოტენციალი და სხვა.

მაშასადამე, ბიოლოგიური ქიმიის სამ მთავარ მიზანს ისახავს: პირველი — შესწავლოს უჯრედებში შემავალი ნაერთების ქიმიური შენება და თვისებები, მეორე — გაარკვიოს, თუ რა გზებით წარმოებს ამ ნაერთების ქიმიური ცვალებადობა და ბოლოს, რომელი მექანიზმის საშუალებით კავშირდება ბიოქიმიური გარდაქმნა ცოცხალი სისტემის ფუნქციასთან. დასახული მიზნების მისაღწევად

საქაროა ვიცოდეთ, თუ რა დანიშნულებას ასრულებს ესა თუ ის ნაერთი უჯრედში. არსებობდა აზრი, რომ უჯრედში ნაერთების ერთი ჯგუფი მექანიკურ, საყრდენ როლს ასრულებს, ან ქმნის არეს ბიოქიმიური გარდაქმნებისათვის და ნაერთების მეორე ჯგუფი უშუალო მონაწილეობას ღებულობს ქიმიურ გარდაქმნებში. ასეთი დაყოფა სწორი არ არის, რადგან ჩვეულებრივ იმ ნაერთს, რომელიც საყრდენ, მექანიკურ როლს ასრულებს, სინამდვილეში დიდი როლი ენიჭება აგრეთვე ქიმიურ გარდაქმნებშიც. მაგალითად, ფოსფატიდები, ერთი მხრივ. მონაწილეობას ღებულობენ ლიპიდური გარსის შენებაში, ე. ო. მექანიკურ როლს ასრულებენ, მაგრამ ამავე დროს მათ ცვალებადობაზე დამოკიდებულია ისეთი მნიშვნელოვანი აქტი, როგორიც არის უჯრედის განვლადობა, ენვგვიით პროცესი და სხვ.

უჯრედში შემავალ ნივთიერებათა უმეტესი ნაწილი მერყევ, ლაბილურ მდგომარეობაშია. ის ადვილად გადადის ერთი ფიზიკური მდგომარეობიდან მეორეში; ამისათვის დიდ სიძნელეს წარმოადგენს უჯრედიდან მოქმედ ნივთიერებათა უცვლელ მდგომარეობაში გამოყოფა. აქედან წარმოიშვა აზრი, რომ უჯრედში შემავალი ნაერთების თვისებების შესწავლა თვით უჯრედში უნდა ხდებოდეს; უჯრედიდან გამოყოფისას ისინი თავის სპეციფიკურ თვისებებს კარგავენ და ჩვენ მხოლოდ მიახლოებითი წარმოდგენა გვესახება იმის შესახებ, თუ რა მდგომარეობაში იმყოფებიან ეს ნაერთები უჯრედში.

ნივთიერებათა ცვლა დაკავშირებულია ნაერთების ღრმა ქიმიურ გარდაქმნებთან. ეს გარდაქმნები საკმარისად სწრაფად მიმდინარეობს დაბალ ტემპერატურაზე. რეაქციის მიმდინარეობა ასეთ პირობებში კი შესაძლებელია მხოლოდ კატალიზატორების დახმარებით. უჯრედის ამ კატალიზატორებს ენზიმები ანუ ფერმენტები ეწოდება. ფერმენტების ქიმიური ბუნების შესწავლა, მათი მოქმედების ხასიათისა და იმ პირობების გამოკვლევა, რომელშიც ფერმენტები ოპტიმალურ მოქმედებას იჩენენ, აგრეთვე ბიოლოგიური ქიმიის მნიშვნელოვან ამოცანას წარმოადგენს. ამ მხრივ ბიოლოგიურ ქიმიას დიდი მიღწევები აქვს, მაგრამ ჯერ კიდევ ბევრია გასაკეთებელი, რომ ფერმენტების ქიმიური ბუნება და მათი მოქმედების მექანიზმი გაირკვეს.

ქიმიური რეაქციები უჯრედში ზუსტად არის რეგულირებული; ეს რეგულაცია წარმოებს, პირველ ყოვლისა, უჯრედის რთული სტრუქტურის ზეგავლენით. ამას გარდა, უჯრედში მოქმედებს სპეციფიკური ნაერთების რიგი, რომლებიც ბიოქიმიურ რეაქციებს აწესრიგებენ. ეს სპეციფიკური ნაერთები ცნობილია ჰორმონების სახელწოდებით. მართალია, ეს ნაერთები ორგანიზმში უმნიშვნელო რაოდენობით მოიპოვება, მაგრამ მათი უქონლობა იწვევს ბიოქიმიური რეაქციების ისეთ აღრევას, რომელსაც თან სდევს სხვადასხვა დაავადების გაჩენა და ხშირად სიკვდილი.

ამრიგად, ბიოლოგიური ქიმიის წინაშე დგას შემდეგი ამოცანები: 1) იმ ნაერთების შესწავლა, რომლებიც უჯრედის შემადგენლობაში გვხვდება; 2) იმ ქიმიური რეაქციების შესწავლა, რომელთა მიხედვით წარმოებს უჯრედის შემადგენელ ნივთიერებათა გარდაქმნები; 3) იმ არის ფიზიკურ-ქიმიური დაბალიათება, სადაც ბიოქიმიურ გარდაქმნებს აქვს ადგილი; 4) იმ სისტემების თვისებების გარკვევა, რომელთა საშუალებით წარმოებს უჯრედში მიმდინარე ქიმიური რეაქციების კატალიზი; 5) იმ ნაერთების სტრუქტურისა და მოქმედების დაბალიათება, რომლებიც ორგანიზმში ასრულებენ ნივთიერებათა ცვლას რეგულატორის როლს; 6) ბიოქიმიურ გარდაქმნათა კავშირის დადგენა ცოცხალი სისტემის ფუნქციასთან.

თ ა ვ ი პ ი რ ვ ე ლ ი

ცოცხალი მატერია და მისი დამახასიათებელი ნიშნები

§ 1. მნავა ცოცხალი მატერიის შესახებ

ცოცხალი ორგანიზმი აშენებულია უჯრედებისაგან, სადაც წარმოდგენილია რთული შენების მქონე წარმონაქმნი — პროტოპლაზმა. ის ძირითადი სასიცოცხლო ნიშნები, როგორცაა მოძრაობა, რეპროდუქციის უნარი. ზრდა, ნივთიერებათა ცვლა, დამახასიათებელია პროტოპლაზმისათვისაც. ამიტომ პროტოპლაზმა უნდა ჩაითვალოს იმ საწყისად, სადაც სიცოცხლის მოვლენა მთელი სისრულით ვლინდება. პროტოპლაზმა შედგება ძირითადად ცილოვანი ნივთიერებისაგან, რომელიც თავის მხრივ დაკავშირებულია მთელ რიგ ნივთიერებებთან. მათგან ყველაზე მეტი მნიშვნელობა ნუკლეინის მკაფიებსა და ფოსფოლიპოიდებს ენიჭება. პროტოპლაზმის თავისებური აღნაგობა და მისი ფიზიკურ-ქიმიური თვისებები ცილის ამ დაკავშირებაზეა დამოკიდებული. ცილს კომპლექსებს ლიპოიდთან ეწოდება ლაიპოპროტეინები. უნდა ვიფიქროთ, რომ ცოცხალი მატერიის ერთეული, რომელიც სასიცოცხლო ნიშნებს ატარებს, არის პროტოპლაზმის ლაიპოპროტეინი და ნუკლეოპროტეინი.

როდესაც ისმება საკითხი, თუ რით განსხვავდება ცოცხალი მატერია მკვდარი, არაცოცხალი სისტემისაგან, საჭიროა ვიცოდეთ, რომ ზემოთ აღნიშნული ცალ-ცალკე აღებული სასიცოცხლო ნიშნები მარტო ცოცხალი მატერიისათვის არ არის დამახასიათებელი. ზრდის, ნივთიერებათა ცვლის, მოძრაობის მოვლენებს ჩვენ მკვდარ ბუნებაშიაც ვპოულობთ. განსხვავება იმაზეა დამოკიდებული, თუ როგორ სახეს ღებულობს ეს ნიშნები ცოცხალ მატერიაში. ამაზე პასუხი რომ გაეცეს, ჩვენ უნდა გამოვიდეთ მატერიის ძირითადი დამახასიათებელი თვისებიდან — მოძრაობიდან.

ფიზიკისა და ქიმიის მიღწევებიდან გამომდინარე, დამტკიცებულად უნდა ჩაითვალოს ის ღებულება, რომ ყოველგვარი მატერიის შინაგანი და გარეგანი თვისებების განმსაზღვრელს მოძრაობა წარმოადგენს. ყოველი სახის ნივთიერებას მისთვის სპეციფიკური მოძრაობა ახასიათებს.

ცოცხალი მატერიის მოძრაობის ყველაზე დამახასიათებელი ნიშანია ნივთიერებათა სპეციფიკური ცვლა. ცოცხალ ორგანიზმში გამუდმებით წარმოებს ქიმიური გარდაქმნები, გაზების გამოყოფა და შთანთქმა, საკვების მიმოქცევა, ენერჯის ხარჯვა და სხვ. ორგანიზმს უნარი აქვს გარემოდან შემოსული საკვები მასალიდან მისთვის საჭირო ნივთიერებას იშინოს. ნივთიერებათა მოწესრიგებული ცვლა, მათი გამუდმებითი მოძრაობა ორგანიზმში მიმდინარეობს მანამ, სანამღე ის ცოცხალია.

შეუძლებელია დავასახლოთ რომელიმე სხვა სისტემა, სადაც ერთდროულად ხდებოდა ისეთი ოღონობითა და ისეთი სისწრაფით ნივთიერებათა მიმოქცევა, როგორც ამას ადვილი აქვს ცოცხალ მატერიაში. რადიოაქტიური იზოტოპების გამოყენებით შესაძლებელი გახდა გარკვეულიყო ნივთიერებათა ცვლის ხასიათის შესწავლა, ერთი მხრივ, და მათი მიმოქცევის სიჩქარის განსაზღვრა, მეორე მხრივ. ხელოვნური გზით დამზადებულ იქნა ნაერთები, რომლებშიც შეიცავენ ცოცხალი ორგანიზმის ნივთიერებათა შენებაში მონაწილე ელემენტს. ასეთი ნიშანდებული ნაერთების ორგანიზმში შეყვანისას გამოირკვა, რომ ნივთიერებათა მიმოქცევა ორგანიზმში დიდი სისწრაფით წარმოებს. ხშირ შემთხვევაში შეყვანილი ნაერთის ნიშანდებული ელემენტით ორგანიზმში არსებული ნაერთის ელემენტის შეცვლა რამდენიმე სეკუნდის განმავლობაში მთავრდება. მაგალითად, ცოცხალ უჯრედში აღმოჩენილია ისეთი ნაერთი, რომელიც დაქანგულოდან აღდგენილ მდგომარეობაში წუთში 20 000-ჯერ გადადის.

ამგვარად, სიცოცხლე დაკავშირებულია მატერიის მოძრაობის განსაკუთრებულ ფორმასთან.

§ 2. ნივთიერებათა ცვლის ბიოლოგიური როლი

სხვადასხვა ორგანიზმში ნივთიერებათა ცვლა რომ თავისებურად მიმდინარეობს და გარემოს რომ უარესად დიდი მნიშვნელობა აქვს ნივთიერებათა ცვლის ხასიათზე, ეს დიდი ხანია ცნობილია. ჯერ კიდევ ლამარკი მიუთითებდა, რომ ორგანიზმების სახეცელილების წარმოქმნაში, შინაგანი თვისებების გარდა, დიდი როლი გარემო პირობებს ეკუთვნის. დარვინი მცენარის შეფერვის ცვლილებას მის უჯრედებში მიმდინარე ქიმიურ რეაქციებს უკავშირებდა. კლ. ტიმირიაზევი, როდესაც ის ცოცხალ და მკვდარ ბუნებას შორის განსხვავებაზე ლაპარაკობდა, ხაზს უსვამდა, რომ განსხვავება მდგომარეობს ცოცხალი ორგანიზმის ნივთიერების გარემოს ნივთიერებებთან განუწყვეტლივ მიმდინარე ცვლაში, რომლის დროს ერთმეორის საწინააღმდეგო პროცესი — დაშლისა და აღდგენის, მთლიანობაში გვევლინება.

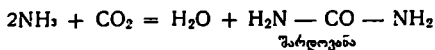
ნივთიერებათა ცვლის ხასიათზეა დამოკიდებული ცოცხალი ორგანიზმის აგებულება და მასში მიმდინარე პროცესები. ორგანიზმში მიმდინარე ნივთიერებათა ცვლა კი თავის მხრივ უშუალო კავშირშია, ჯერ ერთი, კვებასთან და, მეორე, იმ გარემოებასთან, თუ რა პირობებში ხდება ეს კვება. სოფლის მეურნეობის პრაქტიკიდან დიდი ხანია ცნობილია ის ფაქტი, რომ მცენარის გარემოში ფორმა და მასში დაგროვილ ნივთიერებათა ქიმიური შემადგენლობა შეიძლება შეიცვალოს იმისდა მიხედვით, თუ რა პირობებში მიმდინარეობდა მცენარის ზრდა-განვითარება. როდესაც მცენარის განვითარების გარემო პირობები იცვლება, ეს იწვევს მის შემადგენელ ნივთიერებათა შენებისა და განაწილების ცვლილებას.

რაც უფრო დაბალ საფეხურზე იმყოფება ორგანიზმი, მით უფრო ადვილად ხერხდება მასში ნივთიერებათა ცვლის ხასიათის შეცვლა და მით უფრო ადვილია ორგანიზმის ღრმა გარდაქმნა. მცენარე ცხოველთან შედარებით განვითარების უფრო დაბალ საფეხურზე დგას. ამიტომ მცენარის ბუნების გარდაქმნა უფრო ადვილად გამოიწვევა, ვიდრე ცხოველის. ამ განსხვავების მიზეზი იმაში მდგომარეობს, რომ ცხოველის ორგანიზმში გარემოსთან შეგუების მექანიზმები უფრო ძლიერად არის განვითარებული და საჭიროა უფრო ძლიერი და ხანგრძლივი ზემოქმედება, რომ მან ცვლილება განიცადოს.

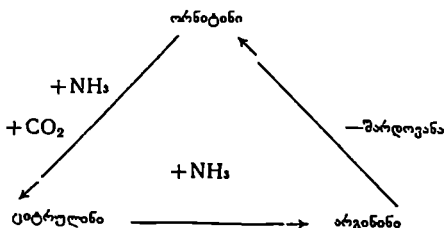
ამგვარად, ნივთიერებათა ცვლას ბიოლოგიური როლი იმაში გამოიხატება, რომ უშუალოდ მასზეა დამოკიდებული როგორც ციკხალი არსებების გარეგანა ფორმა, ისე მის სხეულში მიმდინარე გარდაქმნების ხასიათი.

§ 8. ბიოქიმიურ გარდაქმნათა თავისებურება ციკხალ ორგანიზმში

სასიცოცხლო პროცესს საფუძვლად უდევს ნივთიერებათა ცვლა—სპეციფიკური ქიმიური გარდაქმნა. მას შემდეგ, რაც გაიჩევა ის ქიმიური გარდაქმნები, რომლებიც თან სდევს სუნთქვასა და ფოტოსინთეზს, ნივთიერებათა ცვლა დაყვანილი იყო ასიმილაციისა და დისიმილაციის ცნებამდე, ე. ი. ნივთიერებათა დაშლისა და სინთეზის რეაქციებამდე. ამასთანავე მიღებული იყო, რომ ნივთიერებათა გარდაქმნა გულისხმობს მის შემადგენელ ნაწილებად დაშლას და შემდეგ დაშლის პროდუქტებიდან ახალი ნაერთის შექმნას. ბიოქიმიის თანამედროვე მონაცემები იმაზე მიუთითებს, რომ ნივთიერებათა ცვლა არ გულისხმობს ნივთიერების შემადგენელ ნაწილებად მხოლოდ დაშლას ანდა ცალმხრივად მიმდინარე სინთეზურ პროცესს. დაშლა და სინთეზი გაერთიანებულია დიალექტიკურ მთლიანობაში. თუ რომელიმე ნაერთი უჯრედში იშლება, ეს იმას ნიშნავს, რომ ერთდროულად წარმოებს სინთეზთან შეუღლებული რეაქცია. ეს მოვლენა იმით აიხსნება, რომ ქიმიური გარდაქმნა, რომელიც სიცოცხლის პროცესს საფუძვლად უდევს, წარმოადგენს ციკლურ პროცესს. ამ მოვლენის განმარტებისათვის მოეცემათ შარდოვანას სინთეზის მაგალითი. უწინ ფიქრობდნენ, რომ შარდოვანა, რომელიც აზოტოვან ნაერთთა ცვლის უკანასკნელ პროდუქტს წარმოადგენს, იქმნება ამონიაკისა და ნახშირორგანგის უშუალო დაკავშირების შედეგად:



შემდეგში გამოირკვა, რომ ეს პროცესი ასე მარტივად არ მიმდინარეობს, რომ ის შედგება მრავალი ცალკეული გარდაქმნისაგან, რომელთა შეჯამება შეიძლება გამოისახოს ზემოთ მოტანილი ქიმიური განტოლებით. შარდოვანას სინთეზში წამყვანი როლი ამინომეცევა ორნიტინს ენიჭება, რომელიც, იკავშირებს რა ამონიაკსა და ნახშირორგანგს, იძლევა ციტრულინს. ციტრულინი კიდევ ერთ მოლეკულა ამონიაკს იკავშირებს და წარმოიშობა არგინინი. არგინინის ჰიდროლიზური დაშლის შედეგად კი თავისუფლდება შარდოვანა და ორნიტინი. მაშასადამე, პროცესი იწყება და მთავრდება ორნიტინით. ამონიაკი და ნახშირორგანგი გარდაქმნის ყოველ ციკლში ჩაებმებიან და შარდოვანას სახით თავისუფლდებიან.



ზემოთ მოტანილ ციკლურ გარდაქმნაში შეუძლებელია ერთიმეორისაგან გამოვაცალკევოთ საწყისი და ბოლო. ჩვენ შეგვიძლია მხოლოდ ვთქვათ, რომ ყოველი ერთი ციკლის დამთავრებისას შარდოვანა თავისუფლდება და ამონი-აკისა და ნახშირორჟანგის თითო მოლეკულა იხარჯება.

ფოტოსინთეზის შედეგად მწვანე ფოთოლი ენერგეტიკულ მასალას აგრო-ვებს. ფოტოსინთეზის ქიმიური მექანიზმის შესწავლისას გამოირკვა, რომ ტიპურ ციკლურ გარდაქმნასთან გვაქვს საქმე, სადაც ნახშირორჟანგის ასიმი-ლაცია პირობადებულია წყლის დაშლით. ნივთიერებათა ცვლის ბიოლოგიური როლის თვალსაზრისით წყლის დისიმილაციას ფოტოსინთეზის პროცესში ნახ-შირორჟანგის ასიმილაციაზე ნაკლები როლი არ უნდა ენიჭებოდეს.

ბიოქიმიურ გარდაქმნათა ციკლურობა ცოცხალ ორგანიზმში მტკიცდება იმ ფაქტით, რომ ნივთიერებათა ცვლის რეაქციები ძირითადად ხორციელდება არა ჰიდროლიზური დაშლის ან სინთეზის საშუალებით, არამედ რადიკლების მოლეკულათა შორის გადატანით. ერთი ნაერთიდან მეორეზე გადაიტანება ფოს-ფატის, მეთილის ნაშთები, ამინისა და ჰიდროსილის ჯგუფები. კიდევ მეტი, მაღალმოლეკულურ ნაერთებში შესაძლებელი ხდება მთელი ფრაგმენტების მიმოქცევა, მაგალითად, ამინოჰაფებისა და შაქრების ნაშთების ერთი ნაერთი-დან მეორეზე გადატანა. ცხადია, ასეთ შემთხვევაში შეუძლებელია ლაპარაკი იმის შესახებ, დისიმილაციასა თუ ასიმილაციას აქვს ადგილი, რადგან ორივე პროცესი ერთდროულად წარმოებს და ერთიმეორეს აპირობადებს.

ამგვარად, თანამედროვე მონაცემებით მტკიცდება, რომ ცოცხალი სისტე-მისათვის დამახასიათებელი ნივთიერებათა ცვლა არ შედგება ცალკე დისიმი-ლაციისა და ცალკე ასიმილაციის პროცესებისაგან. დაშლისა და სინთეზის რეაქ-ციები ერთ მთლიან პროცესშია გაერთიანებული

§ 4. ბიოქიმიური გარდაქმნის თერმოდინამიკა

ორგანიზმის კავშირი გარემო არესთან, პირველ ყოვლისა, იმაში გამოიზა-ტება, რომ ის მისთვის საჭირო ენერგიას საკვების სახით ღებულობს გარემო-დან. ენერგია საჭიროა ორგანიზმისათვის ისეთი სასიცოცხლო ფუნქციების შე-სასრულებლად, როგორცაა მოძრაობა, ზრდა, გამრავლება, სუნთქვა და სხვ. ორგანიზმში ადგილი აქვს ენერგიის ცვლას. ნაერთის ქიმიური ენერგია მოიზ-მარება და გარდაიქმნება სხვა სახის ენერგიაში: მექანიკურში, ელექტრულში, თბიურში.

როგორც ცნობილია, თერმოდინამიკის პირველი კანონი საზღვრავს ამ დამოკიდებულებას, რომელიც ენერგიის სხვადასხვა სახეს შორის არსებობს. ამ კანონის მიხედვით ენერგიის ერთი სახე გარდაიქმნება მეორეში და ამავე დროს ენერგიის საერთო რაოდენობა უცვლელი რჩება. უკვე მე-19 საუკუნის ბოლოში რესპირაციული ცდებით დამტკიცდა, რომ ცოცხალი ორგანიზმი ზუსტად ექვემდებარება ენერგიის მარადისობის კანონს. პოტენციალური ენერ-გია, რომელიც წარმოდგენილია საკვებში გარკვეული ქიმიური ნაერთების სახით, გამოიყენება ორგანიზმის მიერ იმგვარად, რომ ორგანიზმში განთავსებული ენერგიის რაოდენობა უდრის იმას, რაც მის მიერ იყო შეთვისებული საკვებიდან, ე. ი. ენერგიის საერთო ჯამი რჩება უცვლელი. ჩვენ არა გვაქვს არც ერთი ფაქტი, რომელიც იმაზე მიუთითებდეს, რომ ცოცხალი ორგანიზმი ენერგიის მარადისობის კანონს არ ემორჩილებოდეს.

თერმოდინამიკის მეორე კანონით ისაზღვრება ენერგიის ერთი სახის მეორე სახეში გარდაქმნის შესაძლებლობა. მეორე კანონი საზღვრავს რეაქციის მსულებ-

ლობის მიმართულებას იზოლირებულ, დახურულ სისტემაში. ეს კანონი განმარტავს, თუ რა დამოკიდებულება არსებობს სისტემაში თავისუფალი და ბმული ენერჯიის რაოდენობას შორის, რატომ არ შეიძლება სისტემის პოტენციალური ენერჯიის მთლიანი გამოყენება მუშაობის სახით, რაზეა დამოკიდებული სხვადასხვა სახის ენერჯიის ეკვივალენტი. მაგალითად ელექტრული ენერჯია შეიძლება მთლიანად გადავიდეს თბიურ ენერჯიაში, მაგრამ უკანასკნელს მთლიანად გარდაქმნა ელექტრულში შეუძლებელია. ამ ფაქტის განმარტება იმაში მდგომარეობს, რომ ყოველი სისტემა შეიცავს ენერჯიის ორგვარ სახეს: ბმულსა და თავისუფალს. ბმული ენერჯია არ გამოიყენება იზოლირებულ სისტემაში მუშაობის სახით. გამოიყენება საერთო ენერჯიის ის ნაწილი, რომელიც თავისუფალ მდგომარეობაში იმყოფება. აქედან ცხადია, ენერჯიის ხარჯვის შედეგად სისტემაში მცირდება თავისუფალი ენერჯიის რაოდენობა.

თავისუფალი და ბმული ენერჯიის რაოდენობის გაანგარიშება ხერხდება სისტემაში, რომელიც გარემოდან იზოლირებულია. ამ პირობებში თავისუფალი ენერჯიის რაოდენობა ყოველთვის მცირდება, თუ რაიმე მუშაობა სრულდება. თავისუფალი ენერჯიის მატება ანდა მისი განსაზღვრულ დონეზე დაქვრა იზოლირებულ სისტემაში შესაძლებელი ხდება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ ენერჯია გარედან მიეწოდა.

როგორც ცნობილია, ქიმიური რეაქცია დაკავშირებულია ან სითბოს გამოყოფასთან (ეგზოთერმული რეაქცია), ანდა სითბოს შთანთქმასთან (ენდოთერმული რეაქცია). უკანასკნელ დრომდე, როდესაც შეისწავლებოდა ენერჯიის ცვლა ორგანიზმში, გამოდიოდნენ ბერტლოს პრინციპიდან. ამ პრინციპის მიხედვით მუშაობის რაოდენობა გამოითვლებოდა თბიური ეფექტით, ე. ი. კალორიების იმ რაოდენობით, რომელიც ქიმიური გარდაქმნის დროს თავისუფლდება. ასეთი გამოთვლა პრაქტიკულად სწორი რიცხვებს იძლევა, როდესაც უნდათ საწვავი მასალის ენერგეტიკული ეფექტიანობა განსაზღვრონ. ე. ი. როდესაც ნივთიერება ბოლომდე — წყალმდე და ნახშირორთქანამდე იწვის. მაგრამ ცალკეული ეგზოთერმული და განაყოფიებით ენდოთერმული რეაქციების შემთხვევაში თბიური ეფექტის მიხედვით არ შეიძლება სისტემაში მიმდინარე ენერჯიის ცვლის სწორი გაანგარიშება. ენერგეტიკულ პროცესებზე ნამდვილი წარმოდგენა შესაძლებელია ვიქონიოთ მხოლოდ არა რეაქციის თბიური ეფექტის მიხედვით, არამედ სისტემაში თავისუფალი ენერჯიის ცვლილების აღრიცხვით. დამოკიდებულება თავისუფალი ენერჯიის ცვლილებასა და თბიურ ეფექტს შორის, მუდმივი წნევისა და ტემპერატურის პირობებში, შემდეგი განტოლებით გამოიხატება:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

ეს განტოლება გამოსახავს თერმოდინამიკის მეორე კანონს. აქ ΔG -თი აღნიშნება თავისუფალი ენერჯიის რაოდენობის ცვლილება, ΔH არის გამოყოფილი ანდა შთანთქმული სითბოს რაოდენობა კალორიებში, T -თი აღნიშნულია აბსოლუტური ტემპერატურა, ხოლო სიდიდე — $T\Delta S$ გამოსახავს სისტემის ბმული ენერჯიის რაოდენობას, რომლის გამოყენება მუშაობისათვის შეუძლებელია. თუ თავისუფალი ენერჯია სისტემაში მატულობს (ენდერგონული რეაქცია), ΔG დადებითი ხდება. როდესაც სისტემაში თავისუფალი ენერჯია კლებულობს (ეგზერგონული რეაქცია), ΔG უარყოფით ნიშანს ღებულობს.

ზემოთ მოყვანილ განტოლებაში წევრი $+ T\Delta S$ ასახავს დაკავშირებულ ენერჯიის ცვლილებას ანუ სისტემის ენტროპიას. ენტროპია არის თერმოდინა-

პიკული ფუნქცია. როდესაც იზოლირებულ სისტემაში თავისუფალი, სასარგებლო ენერგია კლებულობს და ამ დროს თბიური ეფექტი უცვლელი რჩება, ეს იმავეს ნიშნავს, რომ სისტემის ენტროპია მატულობს. თუ რეაქციის დროს ენტროპია უცვლელი დარჩა, მაშინ თავისუფალი ენერგიის ცვლილება თბიურ ეფექტიანობას ემთხვევა. იმ შემთხვევაში, როდესაც ენტროპია რეაქციის დროს მატულობს, მაშინ თავისუფალი ენერგიის ცვლილება სკარბობს თბიურ ეფექტიანობას და, პირიქით, როდესაც ის მცირდება, თბიური ეფექტიანობა თავისუფალი ენერგიის ცვლილებასთან შედარებით მეტი ხდება.

ზემოთ მოყვანილი მსჯელობიდან ნათელი ხდება, რომ ქიმიური გარდაქმნის თბიური ეფექტიანობა და მუშაობის უნარი შეიძლება არამც თუ არ დამთხვეს ერთმეორეს, არამედ განსხვავდებოდეს ნიშნით. ეს იმას ნიშნავს, რომ თავისუფალი ენერგიის რაოდენობა სისტემაში შესაძლებელია გადიდდეს სიბრტის რაოდენობის შემცირების ხარჯზე. ამიტომ საჭიროა ენერგიის მოხმარება და განთავისუფლება ცოცხალ სისტემაში იანგარიშებოდეს არა თბიური ეფექტიანობის პაზედვით, არამედ თავისუფალი ენერგიის რაოდენობის ცვლილებით.

თერმოდინამიკის მეორე პრინციპის გამოყენებისას ცოცხალ სისტემაში შესაძლებელი გახდა მთელი რაგი პრინციპული მნიშვნელობის საკითხები გარკვეულიყო. მაგალითად, ჩვენთვის ახლა გასაგებია, თუ რატომ არის ცოცხალ სისტემაში ქიმიური გარდაქმნის ენერგეტიკული ეფექტიანობა (მოქმედების მარტი კოეფიციენტი) ძალიან დიდი ოდენობის. გამოწვეულია ეს იმით, რომ მუშაობა მაქსიმალურ ოდენობას აღწევს მაშინ, როდესაც თავისუფალი ენერგიის ერთი დონიდან მეორეზე გადასვლა უკუქცევადია. ამასთანავე მუშაობას ოდენობა ერთი და იგივე იქნება მიუხედავად იმისა, თუ რა გზით და რა სიჩქარით წარმოებდა ენერგიის ერთი დონიდან მეორეზე გადასვლა. ჩვენ უკვე აღვნიშნეთ, რომ ბიოქიმიური გარდაქმნა ცოცხალ სისტემაში ციკლური ხასიათის არის. ის შედგება რამდენიმე ეტაპისაგან, სადაც ერთი გარდაქმნა მეორეს მოსდევს. რადგან თავისუფალი ენერგიის შემცირება ყოველ საფეხურზე უკუქცევადად მიმდინარეობს, ამიტომ მუშაობის მაქსიმალური გამოყენების შესაძლებლობა იქმნება.

თერმოდინამიკის მეორე პრინციპიდან გამომდინარე ცოცხალი მატერია ჩვენ უნდა წარმოვიდგინოთ როგორც არაწონასწორული სისტემა. ასეთი სისტემები ხასიათდება თავისუფალი ენერგიის თვითნებური შემცირებით შიანი დაკავშირებულ ენერგიაში გადასვლის გამო. ამ სისტემისათვის (რომელიც თვითნებურად არაწონასწორული მდგომარეობიდან წონასწორულში გადადის) დამახასიათებელია ენტროპიის გადიდების მიდრეკილება. ცოცხალი სისტემა არ გადადის წონასწორულ მდგომარეობაში იმიტომ, რომ ის გარკვეულ დამოკიდებულებაშია გარემოსთან, რომელიც აწვდის მას ენერგიას. ენერგიის მიწოდების შეწყვეტა იწვევს ცოცხალი მატერიის დაშლას, ენტროპიის გადიდებას და საბოლოოდ ჩვენ საქმე სიკვდილის მოვლენასთან გვექნება. ამ თვალსაზრისით ნივთიერებათა ცვლა იმ მექანიზმის როლს ასრულებს, რომლითაც ხორციელდება ცოცხალ სისტემაში მაღალი ენერგეტიკული დონის დაქვრა.

§ 5. ნივთიერებათა ცვლა და ცოცხალი სისტემის ფუნქცია

ცოცხალი სისტემის ფუნქციის ცნებით გულისხმობენ ბიოლოგიურ პროცესს, მაგალითად, სუნთქვას, გამოყოფას, კუნთის შეკუმშვასა და აგზნებას, სივრცეში გადანაცვლებას, საკვების მონელებასა და ა. შ. როგორც უკვე აღნიშნული იყო, ამ ნიშნებით ხასიათდება პროტოპლაზმა, რომლის მთავარი

შემადგენელი ნაწილი ცილოვანი ნივთიერებაა. „სიცოცხლე არის ცილოვანი სხეულების არსებობის წესი და არსებობის ეს წესი არსებითად ამ სხეულების ქიმიური შემადგენელი ნაწილების მუდმივ თვითგანახლებაში მდგომარეობს“ — ამბობს ფ. ენგელსი. ცილოვანი ნივთიერება არის ის წარმონაქმნი, რომლითაც ზორციელდება ცოცხალი სისტემის ფუნქცია. ცილა პროტოპლაზმაში თავისუფალ მდგომარეობაში არ იმყოფება. ის დაკავშირებულია ლიპიდებთან, ნუკლეინის მკავებთან და მთელ რიგ სხვა ნაერთებთან. შედეგად იქმნება რთულა კომპლექსები, რომლებიც საზღვრავენ პროტოპლაზმის ფიზიკურ-ქიმიურ მდგომარეობას. პროტოპლაზმის სპეციფიკური სტრუქტურის დადგენისათვის საჭიროა ენერგია. ეს ენერგია ნივთიერებათა ცვლის შემწეობით მიიღება. პროტოპლაზმაში მიმდინარე ქიმიურ გარდაქმნებსა და მის სტრუქტურას შორის მკვიდრო კავშირი არსებობს. ქიმიური გარდაქმნები პროტოპლაზმაში თანმიმდევრობით ერთიმეორეს ცვლის და ზუსტად რეგულირებულია. ამ რეაქციების შედეგად წარმოებს გარკვეული ორგანული ნაერთების სინთეზი და არის ფიზიკურ-ქიმიური მდგომარეობის დადგენა. ნაერთების სივრცეში ორიენტაციის შედეგად საბოლოოდ ყალიბდება უჯრედის მორფოლოგიური წარმონაქმნები. ამგვარად, სტრუქტურა ანუ ფორმა, ერთი მხრივ, და ქიმიური გარდაქმნა, მეორე მხრივ, პროტოპლაზმაში მთლიანობაში გვევლინება. პროტოპლაზმის სტრუქტურა არის ქიმიური გარდაქმნების შედეგი და ამავე დროს ქიმიური გარდაქმნების მსვლელობა დამოკიდებულია პროტოპლაზმის სტრუქტურაზე. ცოცხალი სისტემის თავისებურების გარკვევა შესაძლებელია მხოლოდ მაშინ, თუ მთლიანობის თვალსაზრისით შეისწავლება პროტოპლაზმის ორგანიზაცია და მასში მიმდინარე ბიოქიმიური გარდაქმნები.

პროტოპლაზმა ქიმიური თვალსაზრისით დიდ აქტივობას იჩენს. მისთვის დამახასიათებელია ქიმიური რეაქციების მრავალი შესაძლებლობა. პროტოპლაზმური ცილები ძირითადად ფერმენტებს წარმოადგენენ. ფერმენტების საშუალებით კი უჯრედში წარმოებს ქიმიური გარდაქმნების გააქტივება. პროტოპლაზმის სპეციფიკური აღნაგობის შედეგად ხერხდება ცალკეული ფერმენტული რეაქციების სიჩქარისა და მიმართულების რეგულაცია. მაშასადამე, პროტოპლაზმის სპეციფიკური თვისებები ვლინდება იმ დამოკიდებულებაში, რომელიც არსებობს ცილოვან ნივთიერებებსა და ქიმიურ გარდაქმნებს შორის. აქედან გამომდინარეობს პროტოპლაზმის თავისებურება. თუ როგორ ზორციელდება მასში სასიცოცხლო ფუნქცია, შესაძლებელია გაირკვეს იმ დამოკიდებულებით, რომელიც არსებობს ქიმიურ გარდაქმნასა და ცილოვან ნივთიერებათა ცვლილებებს შორის. სასიცოცხლო ფუნქციის შესრულება დაკავშირებული უნდა იყოს პროტოპლაზმის ცილების მდგომარეობის ცვლილებასთან. იბადება კითხვა, თუ რა ცვლილებები ხდება ცილაში ცოცხალი სისტემის ფუნქციურ მოქმედებასთან დაკავშირებით და რომელი ქიმიური გარდაქმნები იწვევს მათ.

ცილოვანი ნივთიერების ქცევის გარკვევისათვის ყველაზე მეტი მნიშვნელობა აქვს: 1) იმ დამოკიდებულებას, რომელიც არსებობს ცილის მოლეკულასა, ერთი მხრივ, და ელექტროლიტებსა და წყლის მოლეკულებს შორის, მეორე მხრივ; 2) იმ საარეაქციო ჯგუფებს, რომელთა საშუალებით ცილა სხვა ნივთიერებასთან რეაგირებს.

ცილა აშენებულია ამინომკავებისაგან, ე. ი. ისეთი სტრუქტურული ელემენტებისაგან, რომლებიც ერთდროულად შეიცავენ სხვადასხვა თვისების მქონე საარეაქციო ჯგუფებს. ამინომკავები პოლარული ნაერთების ჯგუფს ეკუთვნიან,

ე. ი. ელექტრული მუხტების განლაგება ამინომჟავის მოლეკულაში სიმეტრიული არ არის და ამიტომ ისინი ქმნიან დიპოლებს. ეს გარემოება პოლარულ ნაერთებს მთელ რიგ თვისებებს ანიჭებს, როგორც არის თავისებური ქცევა ელექტრულ ველში, დიპოლების ირგვლივ გამხსნელისა და ელექტროლიტების გარკვეული სივრცითი ორიენტაცია და ხსნარის დიელექტრული მუდმივას მატება. განსაკუთრებით ძლიერ გამოხატულებას პოულობს ეს თავისებურება ცილის მოლეკულაში, როდესაც ის ფოსფოლიპოიდს უკავშირდება. დიდი მნიშვნელობა აქვს იმ ფაქტს, რომ ცილოვანი ნივთიერების ელექტრული სტრუქტურა, მისი დამოკიდებულება ელექტროლიტებთან და წყალთან ძალიან ადვილად იცვლება გარეშე აგენტის ზემოქმედებისას. პირველ ყოვლისა იცვლება ცილის ფიზიკურ-ქიმიური მდგომარეობა, ის ერთი ფიზიკური მდგომარეობიდან გადადის მეორეში. განსაკუთრებულ მგრძობიარობას იჩენს ცილოვანი ნივთიერება წყალბადის, ნატრიუმის, კალიუმისა და კალციუმის იონების მიმართ. ამ იონების დიდი მნიშვნელობა იმაში გამოიხატება, რომ პროტოპლაზმის ძირითადი პროტეისების (აგზნება, შეკუმშვა, გაღიზიანება და სხვ.) მსვლელობა დაკავშირებულია იმ გავლენასთან, რომელსაც ზემოჩამოთვლილი იონები ახდენენ პროტოპლაზმის ცილებზე.

არანაკლები მნიშვნელობა ცილოვანი ნივთიერების ქცევაში აქვს ცილის სარეაქციო ჯგუფებს: ამინის, კარბოქსილის, სულფჰიდრილის, ჰიდროქსილის. ამ ჯგუფების საშუალებით ცილის მოლეკულა ქიმიურად რეაგირებს სხვა ნაერთთან. რადიკატიური ინდიკაციის მეთოდით დადგენილია ამ ჯგუფების რეაქციის დიდი უნარი. მხედველობაშია მისაღები აგრეთვე ის გარემოება, რომ ცილის მოლეკულაში სარეაქციო ჯგუფებს სივრცეში განსაზღვრული განწყობა ახასიათებს. ჯგუფების სივრცით განწყობაზე დამოკიდებულია ცილის ისეთი სპეციფიკური თვისებები, როგორც არის მაგალითად, ფერმენტული აქტივობა და იმუნური თვისებები.

ცილის რეაქციის უნარი განსაკუთრებით კარგად შელავნდება ფერმენტებში. საქმე ისაა, რომ ფერმენტები წარმოადგენენ ცილოვანი ბუნების ნაერთებს. ფერმენტებს კი თავის მხრივ წამყვანი როლი ენიჭება ნივთიერებათა ცვლაში. ფერმენტების კატალიზური მოქმედების უნარი უშუალოდ დამოკიდებულებაშია მის სტრუქტურასთან. ამგვარად ირკვევა, რომ ცილოვან ნივთიერებათა სპეციფიკური თვისებები, მისი ფუნქციური მოქმედება უშუალოდ დაკავშირებულია სტრუქტურასთან. სტრუქტურა კი იქმნება ბიოქიმიურ გარდაქმნათა ენერჯის საშუალებით.

დღეისათვის ცნობილია, რომ ცოცხალი სისტემის ფუნქციასთან უშუალოდ დაკავშირებულია ე. წ. მაკროერგული ნაერთების გარდაქმნა. ამ ნაერთების დაშლისას გამოიყოფა ენერჯია, რომელიც უშუალოდ მოიხმარება ცოცხალი სისტემის მოქმედებაზე.

მაკროერგულ ბმას ქმნის ან ფოსფორი, ანდა გოგირდი შემდეგ ნაერთებში (ერთი ბმის ენერჯია კალორიები/გრამმოლეკულაზე):

ადენოზინტრიფოსფორის მჟავა	. 11.500
ადენოზინდიფოსფორის მჟავა	. 11.500
ფოსფოპიროუტრინის მჟავა	. 15.900
აქეტილფოსფატი	. 14.500
1,3-დიფოსფოციკინის მჟავა	. 16.300
ფოსფოკრეატინი	. 13.000
კონენიმი A	8.000

მაკროერგული ნაერთებიდან ყველაზე უფრო მეტ ყურადღებას იწვევს ადენოზინტრიფოსფორის მჟავა, რადგან სწორედ მისი გარდაქმნა უშუალოდ

კავშირდება ცოცხალი სისტემის ფუნქციასთან. ამ ნაერთის დაშლა და ქიმიური ენერჯის ტრანსფორმაცია სასიცოცხლო პროცესის ენერჯიაში ხორციელდება ცილოვანი ნივთიერების ფერმენტული მოქმედების საშუალებით. ამავე დროს ცოცხალ სისტემაში წარმოდგენილია მძლავრი მექანიზმები, რომელთა საშუალებით დაშლილი ადენოზინტრიფოსფორის მექავა ხელახლა აღდგება პირვანდელ მდგომარეობაში და ამით იქმნება ცოცხალი სისტემის ხელახალი ფუნქციური მოქმედების შესაძლებლობა. მაკროერგული ნაერთების აღდგენა წარმოებს იმ ბიოქიმიური გარდაქმნების ენერჯიით, რომელიც თავისუფლდება ნახშირწყლებისა, ცხიმოვანი და აზოტოვანი ნაერთების ცვლის დროს. სასიცოცხლო პროცესის ამოქმედება წარმოებს მაკროერგული ნაერთების დაშლის დროს განთავისუფლებული ენერჯის საშუალებით, ხოლო მაკროერგული ნაერთების აღდგენისათვის მოხმარდება ის ენერჯია, რომელსაც იძლევა ძირითადად ნახშირწყლებისა და ცხიმების გარდაქმნა. ამგვარად, უნდა დაეუშვათ რომ ცოცხალ სისტემაში მიმდინარე ნივთიერებათა ცვლა წარმოადგენს იმ მოწყობილობას, რომლითაც იქმნება მაკროერგული ნაერთი. უკანასკნელის გარდაქმნა უშუალოდ დაკავშირებულია ცოცხალი სისტემის ფუნქციურ მოქმედებასთან.

§ 6. სიცოცხლის წარმოშობა

პასუხი რომ გაცეს კითხვას, თუ როდის და რა გზით წარმოიშვა სიცოცხლე დედამიწაზე, ჩვენ იმ ძირითადი დებულებიდან უნდა გამოვიდეთ, რომ სიცოცხლის მოვლენა დაკავშირებულია მატერიის განვითარებასთან, რომ ცოცხალი მატერია წარმოადგენს მატერიის განვითარების უმაღლეს ფორმას. რადგან სასიცოცხლო მოვლენა ცილოვანი ნივთიერებაში ვლინდება, ამიტომ სრულიად კანონიერი უნდა იყოს ის მოსაზრება, რომელიც სიცოცხლის წარმოშობას უკავშირებს ცილოვან ნივთიერებათა შექმნის საკითხს. ეს არის იმ თეორიის ძირითადი დებულება, რომელიც დამუშავებულია ა. ოპარინის მიერ.

ცილოვანი ნივთიერების შენებაში მონაწილეობას დებულობს ძირითადად ოთხი ელემენტი: აზოტი, ენგბადი, ნახშირბადი და წყალბადი. ცილების გარდა ეს ელემენტები წარმოდგენილია ცოცხალი და არაცოცხალი ბუნების სხვა ნაერთებშიაც.

დიდი მნიშვნელობის არის ის ფაქტი, რომ ზემოხსენებული ელემენტები დედამიწის გარდა აღმოჩენილია სხვა პლანეტებზე და ვარსკვლავებზე. ისინი აქ ან თავისუფალი სახით იმყოფებიან, ანდა უკავშირდებიან ერთმანეთს და ქმნიან მთელ რიგ ნაერთებს, რომელთაც სხვადასხვა თვისებები ახასიათებთ. ამა თუ იმ ნაერთის შექმნა და მისი თვისებები დამოკიდებულია იმაზე, თუ რა პირობებში მოხდა ელემენტების ურთიერთრეაგირება. რადგან ციური სხეულების განვითარების პირობები ერთი და იგივე არ იყო, ამიტომ აზოტი, ნახშირბადი, წყალბადი და ენგბადი იძლეოდა სხვადასხვა ნაერთს. აზოტოვანი ნაერთების განვითარება დედამიწაზე წარიმართა სრულიად განსხვავებული გზით. ჭრჭერობით არც ერთ ჩვენთვის ცნობილ ციურ სხეულზე არ არის აღმოჩენილი დედამიწის მსგავსი პირობები: დედამიწის ხნოვანებას, მზისაგან მანძილს, მის სიდიდეს ჰქონდა გარკვეული მნიშვნელობა წყლისა და სპეციფიკური შემადგენლობის ატმოსფეროს შესაქმნელად. ნახშირბადი დაკავშირდა აზოტთან და მეტალებთან. წყლის ზემოქმედების შედეგად ნახშირბადის ნაერთებზე წარმოიშვა ორგანული ნივთიერებანი, რომლებიც განვითარების შემდეგ საფეხურ-

ზე გამოიყენება ცოცხალი მატერიის შენებისათვის. ა. ოპარინის მიხედვით, დედამიწაზე ჯერ ორგანული ნივთიერება უნდა შექმნილიყო.

ცოცხალი მატერია წარმოიშვა იმის შემდეგ, რაც აზოტოვანი ნაერთები წყლის ხსნარში იმდენად გართულდა, რომ დაიწყო მათი გამოცალკევება წყლიდან. მაგრამ ამის შემდეგაც აზოტოვანი ნივთიერების კავშირი წყალთან არ შეწყვეტილა. პირიქით, აზოტოვანი ნაერთების განვითარება პირობადებულიყო წყალთან და წყალში გახსნილ ნივთიერებებთან ურთიერთმოქმედებით. ასეთი წყლისაგან გამოცალკევებულ სისტემებს, რომელთა ფიზიკურ-ქიმიური თვისებები დამოკიდებულია წყლის ხსნართან ურთიერთობაზე, კმნიან, მაგალითად, კოლოიდური წარმონაქმნები, რომელთაც კოაცერვატებს უწოდებენ. ა. ოპარინის მიხედვით, პირველყოფილი კოაცერვატის შენებაში მონაწილეობას ლეუკობლდა უკვე ცილოვანი ნივთიერება. კოაცერვატს აღმოაჩნდა ისეთი ნიშანი, რომელიც მას აახლოვებს ცოცხალ მატერიას. ეს ნიშანი არის თვითგანახლების უნარი.

ბიოქიმიის ერთ-ერთ დიდ მიღწევად უნდა ჩაითვალოს რეპროდუქციის მექანიზმების გარკვევა, თუ რა უღევს საფუძვლად უჯრედის დაყოფას და როგორ ხერხდება გენეტიკურ ნიშან-თვისებათა შთამომავლობაში გადაცემა. რეპროდუქციის მექანიზმის გარკვევას ის მნიშვნელობა ენიჭება, რომ ეს უნარი ნივთიერებათა ცვლასთან ერთად წარმოადგენს იმ ძირითად ნიშანს, რომლითაც ცოცხალი სისტემა განსხვავდება მკვდარი ბუნებისაგან. ერთი ორგანიზმი მეორისაგან განსხვავდება მასში შიშვინარე ბიოქიმიური გარდაქმნების თავისებურებით. ბიოქიმიური გარდაქმნების მსვლელობა კი დამოკიდებულია ფერმენტებისაგან. ფერმენტები ცილოვანი ნივთიერებას წარმოადგენენ. მაშასადამე, ორგანიზმების გენეტიკური ნიშან-თვისებების სპეციფიკურობა — ცილა-ფერმენტებით და მათი მოქმედების ხასიათით უნდა იყოს პირობადებული. ცილების სინთეზში კი, როგორც ეს უკანასკნელ დროს გახდა ცნობილი, წამყვანი როლი ეკუთვნის იმ მაღალმოლეკულურ ნაერთს, რომელიც უჯრედის ბირთვშია წარმოდგენილი და დეზოქსირიბონუკლეინის მქავეს სახელწოდებას ატარებს. ამ ნაერთში, როგორც ამბობენ, კოდირებულია ინფორმაცია გენეტიკურ ნიშან-თვისებათა შესახებ. ეს ინფორმაცია ვლინდება სპეციფიკური ცილა-ფერმენტების სინთეზით. ამგვარად, დღეისათვის გარკვეულია, თუ რა მექანიზმები უღევს საფუძვლად ცოცხალი სისტემის ორ ძირითად ნიშანს: ნივთიერებათა აცვლას და რეპროდუქციას. ეს, რასაკვირველია, ფარდას ზღის სიცოცხლის საილუმოებას.

ჯერჯერობით გაურკვეველი რჩება, თუ რა გზით უნდა წარმართულაყო კოაცერვატის განვითარება, რომ მას შესძენოდა ცოცხალი მატერიის ნიშნები. დღეისათვის ჩვენ უმარტივეს ცოცხალ წარმონაქმნს მხოლოდ პროტოპლაზმის სახით ვკოულობთ. პროტოპლაზმა კი უჯრედის შემადგენელი ნაწილია. ის ცილა, რომელიც ბიოლოგიურ სითხეებში უჯრედის გარეთ იმყოფება, არ არის ცოცხალი. მეცნიერების მიღწევებიდან გამომდინარე უნდა მივიღოთ, რომ ცოცხალი მატერია წარმოიშვა მკვდარი, არაცოცხალი მატერიისაგან. მაგრამ ცოცხალი მატერიის შექმნა მკვდარი მატერიისაგან ცოცხალი ორგანიზმების მონაწილეობის გარეშე ექსპერიმენტულად დამტკიცებული ჯერ კიდევ არ არის. უარყოფითი შედეგი აიხსნება იმ გარემოებით, რომ შეუძლებელი გახდა იმ პირობების განმეორება, რაც ერთ დროს დედამიწაზე იყო, როდესაც ცოცხალი მატერია იქმნებოდა. დღეს ცოცხალი მატერიის შექმნა არაცოცხლისაგან ვერ ხერხდება იმიტომ, რომ ამისათვის დედამიწაზე უკვე არ არსებობს შესაფერისი.

პირობები. სიცოცხლე დედამიწაზე წარმოიშვა მისი განვითარების გარკვეულ ეტაპზე, როდესაც ცოცხალი მატერიისათვის ხელსაყრელი პირობები იყო. ახლა კიდევაც რომ ზღებოდეს ცოცხალი მატერიის შექმნა არაცოცხალისაგან, ის მაშინვე გამოიყენებოდა უკვე არსებული ორგანიზმებით, როგორც საკვები-მასალა.

ხელოვნური გზით სულ უკანასკნელ დრომდე ვერ მოხერხდა არამც თუ ცოცხალი მატერიის, არამედ ცილის შექმნაც კი. ჩვენ ვიცით, თუ რომელი სტრუქტურული ერთეულებისაგან არის აშენებული ცილის მოლეკულა, ვიცით, თუ როგორ კავშირდება სტრუქტურული ერთეულები ცილის რთულ მოლეკულაში; მაგრამ იშვიათი გამონაკლისის გარდა გაურკვეველი რჩება ამ ერთეულების მორიგეობა, მათი განწყობა ცილის მოლეკულაში. სტრუქტურული ერთეულების წესრიგს, მათ განწყობას გადამწყვეტი მნიშვნელობა ენიჭება ცილის სპეციფიკურ ნიშან-თვისებათა გარკვევისათვის.

თ ა ვ ი მ ი ო რ ა მ

მინერალური ნივთიერებაანი და მათი გავლენა ბიოლოგიურ პროცესებზე

§ 1. ზოგადი მიმოხილვა

მინერალურ ნივთიერებათა ჯგუფს აკუთვნებენ იმ არაორგანული ნაერთების ნაშთს, რომელიც რჩება უჯრედების ორგანული ნაწილის დაწვის შემდეგ. მინერალური ნივთიერებაანი უჯრედში წარმოდგენილია ორგვარი სახით: ან თავისუფალი არაორგანული ნაერთების სახით, ანდა დაკავშირებული ორგანულ ნაერთებთან. მინერალური ნივთიერების დაკავშირება ორგანულ ნაერთთან წესაძლებელია წარმოებდეს თვით ორგანული ნაერთის მოლეკულაში. ამგვარ დაკავშირებას ქმნის, მაგალითად, მაგნიუმი ქლოროფილში, რკინა ჰემოგლობინში, გოგირდი გლუტათიონში და სხვ. ეს ორგანული დაკავშირების ფორმაა. მეორე მხრივ, შესაძლებელია ორგანულ მოლეკულასთან დაკავშირება წარმოებდეს იმგვარად, რომ არაორგანული ნაშთის ფუნქციები თავისუფლად შელავნდებოდეს და მისი ორგანული რადიკალისაგან ჩამოშორება აღვიდად ხდებოდეს. ეს არაორგანული დაკავშირების ფორმაა. არაორგანული დაკავშირების ფორმას წარმოადგენს, მაგალითად, ორგანული მჟავების მარილები. ამგვარი დაკავშირება, პირველთან შედარებით, არამდგრადია.

არაორგანული ნაერთები უმეტეს შემთხვევაში წარმოდგენილია მარილების სახით, მარილი ელექტროლიტურ დისოციაციას განიცდის და მონაწილეობას ლეზულობს უჯრედში შესაფერისი არის შექმნაში. ამ არის თვისებებზე დამოკიდებული კოლოიდების ფიზიკურ-ქიმიური მდგომარეობა, წყალბად-იონთა კონცენტრაცია და ოსმოსური წნევა; გარდა ამისა, ამ მარილებს ფიზიოლოგიური პროცესების ნორმალურ მსვლელობაში დიდი როლი ენიჭება.

მინერალურ ნივთიერებათა ცვლა მცენარეში და ცხოველებში კარგად არის შესწავლილი; სამაგიეროდ, მათი მოქმედების მექანიზმის დადგენა, რაც ბიოქიმიური თვალსაზრისით უფრო საინტერესოა, ჯერ საბოლოოდ გარკვეული არ არის.

§ 2. წყ ა ლ ი

წყალი ორგანიზმისათვის წარმოადგენს იმ არეს, სადაც ადგილი აქვს ქიმიურ გარდაქმნებს. იმ ქსოვილში, სადაც ბიოქიმიური გარდაქმნები მეტი ინტენსივობით მიმდინარეობს, წყალი მეტი რაოდენობით არის წარმოდგენილი. მაგალითად, წყალი ფოთოლში მეტია და მერქანში ნაკლები; კუნთოვან ქსოვილში მეტია, ვიდრე ცხიმოვანში. წყალი, რაოდენობის თვალსაზრისით, წარმოადგენს ყველაზე მნიშვნელოვან საშენ მასალას. უწყლობას ორგანიზმი უფრო

ძნელად იტანს, ვიდრე რომელიმე სხვა ნივთიერების ნაკლებობას. უჯრედში წყლის რაოდენობა 80%-ს აღწევს. წყლის რაოდენობა ცხოველთა ორგანიზმში, მის ცხოველმოქმედების სხვადასხვა პირობებში, ვიწრო ფარგლებში იცვლება. მაგალითად, შიმშილობისას ცხოველს შეუძლია დაკარგოს თავისი წონის ნახევარი, წყალი კი მცირდება 10%-ით. ახალგაზრდა, მოზარდ ორგანიზმში წყალი ყოველთვის უფრო მეტია, ვიდრე ზრდადამთავრებულში.

როგორც გამოირკვეა, უჯრედში შემავალი წყალი მთლიანად გამხსნელს არ წარმოადგენს. მისი განსაზღვრული ნაწილი დაკავშირებულია კოლოიდებთან იმგვარად, რომ კოლოიდთან ერთ მთლიან სისტემას წარმოადგენს. ამ დაკავშირებულ წყალზეა დამოკიდებული უჯრედის ტურგორი. მისი ჩამოშორება ჩვეულებრივი წესით შეუძლებელია. დაკავშირებული წყლის უჯრედში არსებობით უნდა აიხსნას ის გარემოება, რომ ზოგიერთი მწერის ცხოველმოქმედება არ წყდება იმ შემთხვევაშიც, თუ მას წყალი ხანგაძლივად არ მიეწოდება.

გამოირკვეა აგრეთვე, რომ ტენიანი ადგილებიდან მიღებული ხორბალი მშრალი ადგილებიდან მიღებულთან შედარებით შეიცავდა დაკავშირებული წყლის ნაკლებ რაოდენობას. აქედან ის დასკვნა გამოიტანეს, რომ გვალვა ისეთ გავლენას ახდენს უჯრედზე, რომ მის შენებაში მონაწილე კოლოიდებს წყლას დაკავშირების მეტი უნარი ენიჭება. წყლის მიწოდების შემცირებისას უჯრედი თავს იზღვევს დაკავშირებული წყლით, რომელიც კოლოიდს ადვილად არ სცილდება.

დაკავშირებული წყალი არ იყინება — 20°-მდე; ამ გარემოებით უნდა აიხსნას ის ფაქტი, რომ ზამთრის პირობებში მცენარის უჯრედში წყალი არ იყინება; რაც უფრო მეტი რაოდენობით არის წარმოდგენილი დაკავშირებული წყალი, მით უფრო მეტი გამძლეობა უნდა ჰქონდეს უჯრედს აიტანოს ყინვები და არ დაიღუპოს.

სხვადასხვა მეთოდით გამოიკვევლია, რომ კუნთში წყლის საერთო რაოდენობიდან 79% დაკავშირებული წყალი 24%-ს აღწევს. ერთორაციტში დაკავშირებული წყალი უღრის წყლის საერთო რაოდენობის 30—35%-ს, რძეში წყლის საერთო რაოდენობიდან 88% დაკავშირებული წყალი 5%-ს უღრის.

§ 3. წყალბად-იონთა კონცენტრაცია

წყალი ნაწილობრივ განიცდის დისოციაციას და იძლევა იონებს. ეს პტიცდება იმით, რომ ზედმიწევნით გასუფთავებული წყალიც ატარებს ელექტროდენს. მისი დისოციაცია იმდენად მცირეა, რომ 12 მილიონი ლიტრი წყალი შეიცავს იონების სახით მხოლოდ 1 გ ჰიდროქსილსა და წყალბადს.

ბიოლოგიურ ხსნარებში წყალბად-იონთა კონცენტრაცია დიდ ფარგლებში არ იცვლება; მაგრამ, მიუხედავად ამისა, წყალბად-იონთა კონცენტრაციას ბიოლოგიური პროცესების მსვლელობაში დიდი მნიშვნელობა ენიჭება. სუფთა წყლის ელექტროლიტური კონსტანტა უღრის:

$$\frac{[H^+] \times [OH^-]}{[H_2O]} = K'$$

ვინაიდან წყლის დაუმლევი მოლეკულების კონცენტრაცია $[H_2O]$ იონების კონცენტრაციასთან შედარებით ძალიან დიდია და პრაქტიკულად უცვლელია, ამიტომ ზემოთ მოტანილი შეფარდება შეიძლება დაიწეროს შემდეგნაირად:

$$[H^+] \times [OH^-] = K,$$

სადაც $K = K'[H_2O]$.

წყლის დისოციაციის კონსტანტა ძალიან მცირე რიცხვს წარმოადგენს. ჩვეულებრივ ტემპერატურაზე ის უდრის 10^{-14} . ვინაიდან სუფთა წყალში:

$$[H^+] = [OH^-] \text{ და } [H^+] \times [OH^-] = 10^{-14}$$

შედეგად:

$$[H^+] = \frac{K}{[OH^-]} = 10^{-7.07}; \quad [OH^-] = \frac{K}{[H^+]} = 10^{-7.07}$$

ნეიტრალური რეაქცია წყალს ექნება იმ შემთხვევაში, როდესაც წყალბად- (ან რაც იგივეა, ჰიდროქსილის) იონთა კონცენტრაცია უდრის $10^{-7.07}$ გრამ-იონს ერთ ლიტრში. როდესაც წყალბად-იონთა კონცენტრაცია მატულობს, რეაქცია ხდება მჟავე, ჰიდროქსილ-იონთა მატებისას კი — ტუტე. ჰიდროქსილისა და წყალბად-იონთა კონცენტრაციების ურთიერთდამოკიდებულება ისაზღვრება ზემოთ მოტანილი განტოლებით; ვინაიდან $[H^+]$ და $[OH^-]$ შეუღლებულ სიდიდეებს წარმოადგენენ, რეაქციის მაჩვენებლად შესაძლებელია დავეშვათ წყალბად-იონთა კონცენტრაცია. როდესაც წყალბად-იონთა კონცენტრაცია $10^{-7.07}$ მეტია, მაშინ ხსნარი მჟავე რეაქციის მქონეა, თუ წყალბად-იონთა კონცენტრაცია $10^{-7.07}$ მცირეა, მაშინ ხსნარი ტუტე რეაქციის მქონე იქნება.

წყალბად-იონთა კონცენტრაციას ჩვეულებრივად გამოხატავენ მათი უაზრო ფიზიკური ლოგარითმის სახით. ნეიტრალური ხსნარის წყალბად-იონთა კონცენტრაციის უარყოფითი ლოგარითმი უდრის:

$$-\log 10^{-7.07} = \text{pH} = 7.07$$

როდესაც ხსნარი მჟავეა, წყალბად-იონთა კონცენტრაცია მეტია, ხოლო მისი pH 7.07-ზე ნაკლები იქნება. ტუტე რეაქციის მქონე ხსნარში წყალბად-იონთა კონცენტრაცია $10^{-7.07}$ ნაკლებია, ხოლო pH გამოიხატება 7.07-ზე მეტი რიცხვით.

წყალბად-იონთა კონცენტრაცია წარმოადგენს ხსნარის აუცილებელ მახასიათებელს. ის ისეთი ფაქტორია, რომელსაც ბიოქიმიური პროცესების მსვლელობაში გადამწყვეტი მნიშვნელობა ენიჭება, მაგალითად:

1. ამფოტერული ელექტროლიტისა და კოლოიდური ნაწილაკის ელექტრული მუხტი დამოკიდებულია ხსნარის pH-ზე. მათი მოძრაობა ელექტრულ არეში დამოკიდებულია შექმნილ მუხტზე. იზოელექტრულ წერტილში ეს მოძრაობა მინიმალურია.

2. გარემო არის რეაქცია განსაკუთრებულ გავლენას ახდენს კოლოიდების დისპერსიულობაზე. ცილები ისეთი კოლოიდების ჯგუფს ეკუთვნის, რომელთა თვისებები (როგორც არის სიბლანტე, ოსმოსური წნევა, ჰიდრატაცია) უშუალო კავშირშია $[H^+]$ ცვალებადობასთან.

3. ბიოქიმიური რეაქციების კატალიზატორები — ფერმენტები ოპტიმალურ მოქმედებას იჩენენ მხოლოდ H^+ განსაზღვრული კონცენტრაციის დროს. ვინაიდან ამა თუ იმ ორგანოს ცხოველმოქმედება დამოკიდებულია მასში ნივთიერებათა ცვლის ინტენსივობაზე, და ნივთიერებათა ცვლა კი, თავის მხრივ, ფერმენტების ზეგავლენით მიმდინარეობს, ამისათვის წყალბად-იონთა კონცენტრაციას დიდი მნიშვნელობა ენიჭება უჯრედის ნორმალურ ცხოველ-მოქმედებაში.

§ 4. ბუნებრივი მოქმედების თეორია

სუსტი მჟავები და ტუტეები ხასიათდება იმით, რომ ხსნარში წარმოდგენილი მათი მოლეკულებისაგან მხოლოდ მცირე ნაწილი განიცდის დისოციაციას. თავისთავად ცხადია, რომ ასეთი მჟავების ძალა დამოკიდებული იქნება არა ხსნარში საერთოდ წარმოდგენილ მოლეკულებზე, არამედ იმ ნაწილზე, რომელმაც დისოციაცია განიცადა.

მაშინ, როდესაც ძლიერი მჟავას ხსნარის წყალბად-იონთა კონცენტრაცი-ზე თითქმის არაერთარ გავლენას არ ახდენს მისი მარილის თანდასწრება, ორგანულ მჟავათა ხსნარების წყალბად-იონთა კონცენტრაცია უშუალოდ დამოკიდებულებაში იმყოფება მისი მარილების კონცენტრაციასთან. საქმე ისაა, რომ სუსტი მჟავების მარილები წყალში დისოციაციას განიცდიან და მარილის დისოციაციის კონსტანტა იმავე რიცხვს აღწევს, რაც ძლიერი მჟავების მარილებს ახასიათებს.

როდესაც წარმოდგენილია რომელიმე ორგანულ მჟავასა და მისი მარილის ნარევი ხსნარი, ასეთ სისტემაში თითქმის ყველა ანიონი წარმოქმნილია მარილისაგან, რადგან თვით მჟავას დისოციაცია მცირე ოდენობას აღწევს მისივე მარილის დისოციაციასთან შედარებით. დაუშვლოდ მოლეკულების კონცენტრაცია კი მჟავას კონცენტრაციაზე იქნება დამოკიდებული.

ძმრის მჟავას სუფთა ხსნარისათვის

$$K = \frac{[H^+] \times [CH_3COO']}{[CH_3COOH]}$$

აქედან

$$[H^+] = K \frac{[CH_3COOH]}{[CH_3COO']}$$

თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ, როდესაც მჟავას ხსნარს ემატება მისი მარილი, ანიონების კონცენტრაცია პრაქტიკულად მიმატებულ მარილზე დამოკიდებული, მაშინ სისტემაში — სუსტი მჟავა და მისი მარილი — წყალბად-იონთა კონცენტრაცია დამოკიდებული იქნება მჟავასა და მარილის შეფარდებაზე:

$$[H^+] = K \frac{[CH_3COOH]}{[CH_3COONa]}$$

სუსტი მჟავას მარილების ხსნარებს, როგორც ცნობილია, ჰიდროლიზის გამო ტუტე თვისებები აქვს, ხოლო სუსტი ტუტის მარილებს ძლიერ მჟავასთან — მჟავე თვისებები. თუ ეს გარემოება აგრეთვე მხედველობაში მივიღებთ, ადვილი გასაგებია, რომ სუსტ მჟავას ხსნარში მისივე მარილის შეყვანისას შესაძლებელი ხდება წყალბად-იონთა კონცენტრაციის დიდ ფარგლებში და ამავე დროს თანდათანობით რეგულირება. ამასთანავე, ასეთი ნარევების წყალბად-იონთა კონცენტრაცია დამოკიდებული იქნება, როგორც ეს ზემოთ მოტანილი განტოლებიდან ჩანს, მჟავას კონცენტრაციის მარილის კონცენტრაციასთან შეფარდებაზე. ამგვარ ნარევებს ის პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს, რომ შესაძლებელი ხდება ისეთი სისტემების დამზადება, რომლებსაც განსაზღვრული, უცვლელი წყალბად-იონთა კონცენტრაცია ახასიათებს. ეს ნარევები იხმარება სხვადასხვა მოვლენის შესასწავლად, განსაკუთრებით ფერმენტოლოგიაში.

ვინაიდან სუსტი მჟავების ხსნარებში თავისუფალ წყალბად-იონთა კონცენტრაცია მცირეა, ხსნარი სულ მალე განეიტრალებოდა, თუ ამავე დროს

არ იწარმოებდა დაუშლელი მოლეკულების ხელახალი დისოციაცია იონებად. ახლად წარმოშობილი წყალბად-იონები ხსნარს ისევე მკაფიო რეაქციას ანიჭებს მანამდე, სანამ მთელი წარმოდგენილი მკაფიო არ განეიტრალდება. ეს თვისება ანიჭებს სუსტი მკაფიების ხსნარებს ტუტის მიმატებისას მკაფიო რეაქციის შენარჩუნების უნარს, მიუხედავად იმისა, რომ ეს ხსნარები თავისუფალ წყალბად-იონებს მცირე ოდენობით შეიცავენ. მეორე მხრივ, თუ სუსტი მკაფიო წარმოდგენილია მის მარილთან ერთად, ტუტის მიმატებისას, ნეიტრალდება რა წყალბადის თავისუფალი იონები, იცვლება მკაფიოსა და მისი მარილის კონცენტრაცია შეფარდება; ამ დროს ნარევი ცდილობს შეინარჩუნოს წყალბად-იონთა საკუთარი კონცენტრაცია და ის არ შეიცვლება საგრძობლად მანამდე, სანამ ნარევი წარმოდგენილი იქნება დაუშლელი მკაფიოს განსაზღვრული რაოდენობა, რომელიც წყალბად-იონებს თანდათანობით ათავისუფლებს.

იმ შემთხვევაში, როდესაც სუსტი მკაფიოსა და მარილის ნარევის ემატება ძლიერი მკაფიო, წყალბად-იონთა კონცენტრაცია დიდად არ შეიცვლება. ამის მიზეზი იმაში მდგომარეობს, რომ ძლიერი მკაფიო გამოაძევეს სუსტი მკაფიოს მარილიდან სუსტ მკაფიოს, რომელსაც მცირე დისოციაციის ხარისხი ახასიათებს და ამით ასუსტებს ძლიერი მკაფიოს მოქმედებას.

მარილის თვისებას, წინააღმდეგობა გაუწიოს გარეგან აგენტს, რომ არ შეიცვალოს მის წყალბად-იონთა კონცენტრაცია, ეწოდება ბუფერული მოქმედება. იმ ნაერთებს კი, რომელთა საშუალებით ხსნარს ენიჭება ასეთი წინააღმდეგობის გაწევის უნარი, ეწოდება ბუფერები. რაც უფრო მეტი უნარი აქვს რომელიმე ხსნარს წინააღმდეგობა გაუწიოს მისი pH შეცვლას, მით უფრო მეტი ბუფერული მოქმედება ახასიათებს მას.

ბუფერული ხსნარების ერთ დამახასიათებელ თვისებას წარმოადგენს ის გარემოება, რომ განზავებისას ის პრაქტიკულად თავის წყალბად-იონთა კონცენტრაციას არ იცვლის. მართლაც, როგორც ზემოთ გამოვარკვეეთ, სუსტი მკაფიოსა და მისი მარილის ნარევის წყალბად-იონთა კონცენტრაცია დამოკიდებულია შეფარდებაზე:

$$[H^+] = K \frac{[CH_3COOH]}{[CH_3COONa]}$$

განზავებისას თანაბრად იცვლება ორივე კომპონენტის კონცენტრაცია, ამისათვის შეფარდება რჩება იგივე და წყალბად-იონთა კონცენტრაცია არ იცვლება. თავისთავად ცხადია, ძლიერი მკაფიოს ხსნარის განზავებისას წყალბად-იონთა კონცენტრაცია მცირდება დაახლოებით განზავების ხარისხის პარალელურად.

უჩრდელში ყოველთვის წარმოდგენილია სუსტი მკაფიოები და მათი მარილები. ეს არის მიზეზი, რომ ორგანიზმი დაცულია რეაქციის სწრაფი ცვლებადობისაგან. ბუფერების როლს ორგანიზმში ასრულებს ნახშირის მკაფიო და ბიკარბონატები, პირველადი და მეორადი ფოსფატები (პირველადი ფოსფატი, როგორც სუსტი მკაფიო, ხოლო მეორადი ფოსფატი, როგორც მისი მარილი), ცილა თავისი თავისუფალი კარბოქსილისა და ამინის ჯგუფებით, ამინომკაფიოები და მათი მარილები. მხედველობაშია მისაღები აგრეთვე მთელი რიგი მკაფიოები, რომლებიც წარმოიშობიან ნახშირწყლების გარდაქმნის შედეგად, მაგალითად, რძის მკაფიო, ვაშლის მკაფიო, ლიმონის მკაფიო და სხვ.

ბუფერული მოქმედების ინტენსიუობა დამოკიდებულია ბუფერულ ტევადობაზე. ბუფერული ტევადობის სახელით ცნობილია მიმატებული მკაფიოს ან

ტუტის ეკვივალენტის რაოდენობის შეფარდება pH რიცხობრივი მაჩვენებლის შეცვლასთან. თუ ტევადობა აღენიშნეთ π -თი, ტუტის ან მჟავას ნაშატი $d\pi$ -თი და წყალბად-იონთა კონცენტრაციის შეცვლა $d\text{pH}$ -ით, მაშინ ბუფერული ტევა-ლობა:

$$\pi = \frac{d\pi}{d\text{pH}}.$$

მოტანილი შეფარდებიდან გამომდინარეობს, რომ ბუფერული ტევალობის ერთეული არის ისეთი ხსნარის ტევალობა, რომლის ერთი ლიტრი იცვლის თავის pH-ს ერთით, როდესაც ხსნარს მჟავასი ან ტუტის ერთი გრამეკვივალენტი მიემატება. სუფთა წყლის ტევალობა ნულს უდრის. საკმარისია წყალს მიემატოს ტუტის ან მჟავას სულ მცირე რაოდენობა, რომ მისი pH შეიცვალოს. სისხლს, რძეს, უჯრედის ნაწურს ახასიათებს ბუფერული ტევალობის დიდი რიცხვები.

§ 5. ბუფა-მჟავური წონასწორობა

უჯრედში მიმდინარე მრავალი გარდაქმნის მიუხედავად, რის შედეგად უნდა წარმოიშვას მჟავები და ტუტის თვისებების მქონე ნაერთები, უჯრედი ინარჩუნებს მისთვის დამახასიათებელ წყალბად-იონთა კონცენტრაციას.

უჯრედის pH-ის სიდიდის სტაბილობა დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე. ეს საკითხი შედარებით კარგადაა შესწავლილი ცხოველურ უჯრედის მიმართ. პირველ ყოვლისა, აღანიშნავია ის ფაქტი, რომ ცხოველთა ახვადანსხვა ქსოვილის უჯრედის pH აბლო დგას სისხლის pH-თან. მაგალითად, ადამიანის სისხლის pH უდრია 7.36, ხოლო კანქვეშა ქსოვილის სითხის pH=7,05—7,29, ე. ი. ძალიან მცირედაა გადახრილი მჟავე რეაქციისაკენ.

ზოგიერთი სითხის pH-ის მკიდრო დამოკიდებულება სისხლის pH-თან ირვევა. მაგალითად, შარდის pH მერყეობს დიდ ფარვლებში, სახელობრ, 5,0—7,0, ე. ი. ადამიანის შარდი მჟავე რეაქციის მქონეა. ცერებროსპინალური სითხის pH უფრო ტუტე ხასიათის არის და უდრის 7,71—7,85. საქმლის მომწებელი წვენებიდან ნერწყვისა და ნაღველის pH თითქმის ნეიტრალურია: ნერწყვი pH=6,9, ხოლო ნაღველის ტუტე რეაქციისაკენაა გადახრილი: pH=7,82. უფრო მეტი ტუტე თვისებების მქონე არის პანკრეასის წენი (pH=7,3—8,7) და ნაწლავის წენი (pH=8,3). გამონაჯის წარმოდგენს ექვის წენი, რომლის pH ძლიერ მჟავე ხასიათისაა (pH=0,8—1,2). ამით ის ძალიან განსხვავდება დანარჩენი წვენებისა pH-საგან.

ორგანიზმში წყალბად-იონთა განაზღვრული კონცენტრაციის დადგენაში სისხლს დიდი მნიშვნელობა ენიჭება. სისხლზე დამოკიდებულია არა მარტო უჯრედის კვება, არამედ ის მონაწილეობას ღებულობს აგრეთვე უჯრედში შემავალ ნივთიერებათა ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების დადგენაში. ნივთიერებათა ცვლის შედეგად ორგანიზმში იქმნება ორგანული და არაორგანული მჟავეები: რძის, გოგირდის, ფოსფორისა და, განსაკუთრებით ბევრი რაოდენობით, ნახშირის მჟავეა. ამ ნაერთების გამოყვანა უჯრედიდან წარმოებს სისხლის საშუალებით; მასასადამე, სისხლს მინიჭებული უნდა ჰქონდეს ბუფერული ტევალობის ისეთი ოდენობა, რომ მისი pH არ იცვლებოდეს.

როდესაც საკვებში არაორგანული ანიონებისა და კატიონების განაწილება, ე. ი. საკვების ტუტე-მჟავეური წონასწორობა, არ ეთანაბრება სისხლის შესაფერის მოთხოვნილებას, ორგანიზმი ამ უარყოფით ზეგავლენას იცილებს განაზღვრული მექანიზმების მოქმედებით. სისხლის pH-ის შენარჩუნებაში მონაწილეობას ღებულობს ბუფერების გარდა გამოყოფი ორგანოებიც.

სისხლს, როგორც ბუფერს, აქვს უნარი წინააღმდეგობა გაუწიოს შემოსულ მჟავებსა და ტუტეებს. მას შეუძლია შეიერთოს მჟავას საკმაოდ დიდი რაოდენობა, და ამავე დროს pH დარჩება უცვლელი. სისხლის ეს უნარი, როგორც ბუფერიაინობის განმარტებიდან ჩანს, არ არის განუსაზღვრელი; მიუხედავად ამისა, სისხლი იშვიათად თუ იცვლის თავის pH. ამ მოვლენის პიზეზი იმაში მდგომარეობს, რომ სისხლის ბუფერული ტევადობის რეგულაციაში მონაწილეობას ლებულობს დამატებით კიდევ გამოიყოფი ორგანოები, როგორც არის ფილტვები და თირკმლები.

სისხლის პლაზმაში წარმოდგენილია უმთავრესად შემდეგი ბუფერები:

1. კარბონატების $(\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{NaHCO}_3)$
2. ფოსფატების $(\text{NaH}_2\text{PO}_4 + \text{Na}_2\text{HPO}_4)$
3. ცილების $(\text{NH}_2-\text{R}-\text{COOH} + \text{NH}_2-\text{R}-\text{COONa})$

გარდა ამისა, სისხლის ჰემოგლობინი და ოქსიჰემოგლობინი ქმნიან ისეთ სისტემას, რომელსაც ენიჭება ბუფერული მოქმედების ყველაზე მეტი უნარი.

საზოგადოდ, ბუფერული სისტემების ტევადობა უმაღლეს წერტილს აღწევს, როდესაც სისტემაში შემაჯავლი კომპონენტების შეფარდება ერთს უდრის: კარბონატის ბუფერისათვის ამ შემთხვევაში $\text{pH}=6,1$, ფოსფატისათვის $\text{pH}=6,8$. ამის გამო კარბონატებისა და ფოსფატების ბუფერიაინობა სისხლში, სადაც $\text{pH}=7,30$, რამდენიმედ კლებულობს. ოქსიჰემოგლობინის ბუფერული მოქმედება უმაღლეს წერტილს აღწევს, როდესაც $\text{pH}=7,16$. მაშასადამე, ჰემოგლობინის მაქსიმალური ბუფერული ტევადობა ეფარდება სისხლის წყალბად-იონთა კონცენტრაციას.

ტუტე-მჟავური წონასწორობის დამყარება ცოცხალ ორგანიზმში მთელ რიგ შემთხვევაში ხორციელდება ბიოქიმიურ გარდაქმნათა გარკვეული მიმართულების შეცვლით. ანსხვავებენ ფიზიოლოგიურად მჟავე საკვებს ფიზიოლოგიურად ტუტე საკვებისაგან. ფიზიოლოგიურად მჟავეს წარმოადგენს ისეთი საკვები, რომლის გარდაქმნის შედეგად ორგანიზმში მჟავას ზედმეტი რაოდენობა გროვდება. მაგალითად, ცხოველთა ორგანიზმისათვის ცილოვანი საკვები მჟავე საკვებს წარმოადგენს, რადგან ცილის გარდაქმნის შედეგად ფოსფორისა და გოგირდის მჟავეები გროვდება. მცენარეული საკვები, რომელიც ნახშირწყლებით არის მდიდარი, ცხოველთათვის ფიზიოლოგიურად ტუტეა, რადგან ნახშირწყლების წვის შედეგად წარმოშობილი ნახშირორჟანგი ამოიხუნთვება და იყარაგება, ხოლო კატიონები შარდში გამოიყოფა. ტუტე-მჟავური წონასწორობა რომ არ დაირღვეს, კატიონზე ორგანული მჟავების გარკვეული რაოდენობა იხარჯება. ამ მცენარეული ორგანიზმისათვის ამონიუმის სულფატი ფიზიოლოგიურად მჟავეა, რადგან ამონიუმის რადიკალი იბოჭება ამინომჟავების სინთეზით, ხოლო სულფატის იონი წონასწორობას მჟავისაკენ გადახრის. კალიუმის ნიტრატი, პირიქით, ფიზიოლოგიურად ტუტე არის, რადგან ნიტრატის იონი აღდგება და კავშირდება ამინომჟავას სახით, ხოლო კალიუმში წონასწორობას ტუტესაკენ გადახრის. წონასწორობა ამ შემთხვევაში რომ არ დაირღვეს, ადგილი აქვს ორგანული მჟავების გაძლიერებულ სინთეზს. მაგალითად, როდესაც ცხოველს საკვებში ეძლევა ზოდა, შარდში აღმოჩნდება მჟავების ზომარტებული რაოდენობა. მსგავს მოვლენას ადგილი აქვს უმაღლეს მცენარეებში. როდესაც მცენარეს სასუქის სახით ზედმეტად ეძლევა ნიტრატები, ის აგრძობებს ორგანული მჟავას დიდ რაოდენობას. პირიქით, როდესაც მას სასუქის სახით ეძლევა ამონიუმის სულფატი, ორგანული მჟავების რაოდენობა მინიმუმამდე ჩამოდის.

§ 6. ზიოელაჟენებაი

ორგანიზმში წარმოდგენილი ელემენტები შეიძლება დაიყოს ორ ჯგუფად. პირველი ჯგუფის ელემენტები მონაწილეობას ღებულობენ ორგანულ ნიეთა-ერებათა შენებაში. ამ ჯგუფში შედის: ნახშირბადი, წყალბადი, ეანგბადი, აზო-ტი, გოგირდი და ფოსფორი. მეორე ჯგუფს შეადგენენ ის ელემენტები, რომ-ლებიც წარმოდგენილი არიან არაორგანულ ნაერთებში: არაორგანული ნაერ-თები გვხვდება უმთავრესად ელექტროლიტების სახით. ზოგიერთი ელექტრო-ლიტი შეიცავს იმავე ელემენტებს, რომლებიც გაერთიანებულია პირველ ჯგუფ-ში, მაგალითად, კარბონატები და ფოსფატები. არის ისეთი გამონაკლისიც, როდესაც ორგანული ელემენტების ჯგუფს უნდა მიეკუთვნოს ისეთი, რომელიც უმთავრესად ცნობილია არაორგანული ნაერთების სახით. მაგალითად, რკინა, სპილენძი და იოდი. მაშასადამე, ელემენტების ასეთი დაყოფა არ არის უნივერ-სალური.

ორგანიზმში მეტი რაოდენობით წარმოდგენილია ელემენტების პირველი ჯგუფი, ე. წ. ორგანოგენური ელემენტები. რაც შეეხება მეორე ჯგუფის ელ-ემენტებს, მათი რაოდენობა, ბ ე რ ტ რ ა ნ ი ს მიხედვით, სხვადასხვა ცხოველის ორგანიზმში საშუალოდ შემდეგ რიცხვებს აღწევს:

Ca—1,38%	Na—0,26%	Mg—0,04%
S—0,64%	K—0,22%	Fe—0,005%
P—0,63%	Cl—0,18%	

გარდა ზემოხსენებულისა, ორგანიზმში ნაპოვნია მრავალი სხვა ელემენ-ტიც, მხოლოდ ძალიან მცირე რაოდენობით, ანდა ისეთი კვალის სახით, რომ მათი აღმოჩენა მხოლოდ უზუსტესი ფიზიკური მეთოდებით ხდება შესაძლე-ბელი. ზოგიერთი მათგანი ბიოლოგიური დანიშნულების მხრივ შესწავლილია. ცნობილია, რომ ისინი აუცილებელ შემადგენელ ნაწილს წარმოადგენენ ორგა-ნიზმებისათვის. ამ ელემენტების ჯგუფს ეკუთვნის: იოდი, რკინა, სპილენძი; მათ რიცხვს უნდა დაეუმართო აგრეთვე კობალტი, ბრომი, ბორი, ცინკი, მანგანუმი, რომლებიც ყოველთვის წარმოდგენილია ორგანიზმში, ხოლო მრავალ შემთხვე-ვაში ცნობილი არ არის დანამდვილებით, თუ რა როლს ასრულებენ ისინი სა-სიცოცხლო პროცესებში. გამორკვეულია, რომ მათი უქონლობა იწვევს სასი-ცოცხლო პროცესების მოშლას. ორგანიზმში გვხვდება აგრეთვე ალუმინიუმი და დარიშხანი, მაგრამ მათი აუცილებლობა ორგანიზმისათვის ჭერ დამტკიცე-ბული არ არის.

§ 7. ფოსფორი, კალციუმი და მანკიუმი

ფოსფორი წარმოდგენილია როგორც ორგანულ ნაერთებში, ისე არაორგა-ნიული მარტილების სახით. ცხოველთა ორგანიზმში ფოსფორის როლი მატუ-ლობს, რადგან მისი კალციუმის მარტილი ანიჰებს ძვლოვან ქსოვილს სიმამრეს. ორგანული ფოსფორი ყოველთვის დაქანგულ ფორმაში გვხვდება. ის დაქა-ვირებულია ორგანულ რადიკალთან ესთერების სახით შემდეგ ნაერთებში:

- 1) ფოსფო-პროტიდებში — სერინფოსფორის მქაევას სახით;
- 2) ლიპიდებში — გლიცერინფოსფორის მქაევას სახით;
- 3) ფიტინში — ინოზიტის სრული ესთერის სახით;
- 4) შაქრებთან და შაქრების გარდაქმნის პროდუქტებში — ფოსფორმქაე-ვა ესთერების სახით;

5) ამინომჟავებთან (არგინინი, კრეატინი) დაკავშირებულია გუანიდინის ბირთვთან;

6) ნუკლეოტიდებში.

ფოსფორის მჟავას დანიშნულება ამ ნაერთებში იმაში გამოიხატება, რომ ის ორგანულ რადიკალს ახალ თვისებებს ანიჭებს და მათი რეაქციის უნარ-ანობას აღიღებს.

განსაკუთრებულ ყურადღებას იპყრობს ფოსფორის ის ორგანული ნაერთები, რომლებიც მაკროერგულ, ე. ი. ენერგიის დიდი მარაგის მქონე ბმას შეიცავენ. ამ ნაერთების დაშლის დროს განთავისუფლებული ენერგია უშუალოდ მოიხმარება უჯრედის სასიცოცხლო ფუნქციის შესრულებაზე. ამასთანავე ირკვევა, რომ უჯრედში მიმდინარე ვარდაქმნები, რომელთა შედეგად წარმოიშობა სხვადასხვა ნაერთი, ხორციელდება ფოსფორის მაკროერგული ნაერთების დაშლის ენერგიის საშუალებით.

კალციუმი მცენარეულ ორგანიზმში წარმოდგენილია უმთავრესად მჟაუნ-მჟავა კალციუმის სახით. კალციუმი გავრცელებულია აგრეთვე კარბონატების სახით. კალციუმის სულფატი დამახასიათებელია მხოლოდ ზოგიერთი მცენარისათვის. ცხოველთა ორგანიზმში კალციუმი ორგვარ როლს ასრულებს: პასიურს — ძვლოვან ქსოვილში და აქტიურს, როგორც უჯრედის შემადგენელი ნაწილი.

კალციუმის აქტიური როლი, პირველ ყოვლისა, მთელ რიგ ფერმენტულ რეაქციებში მონაწილეობით ისაზღვრება. სისხლისა და რძის შედედების პროცესის დაკავშირებულია ცილოვან ნივთიერებათა ფიზიკურ-ქიმიური მდგომარეობის შეცვლასთან. ცილის გამოყოფას ხსნარიდან ადგილი აქვს მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ გარემო აირში წარმოდგენილია კალციუმის იონები. ამასთან დაკავშირებით საინტერესოა აღინიშნოს, რომ პროტოპლაზმატური ცილების მდგომარეობის ცვლილება, რომელსაც ამჩნევენ უჯრედის აგზნებადობის დროს, სხვათა შორის პირობადებულია ცილის რეაქციით კალციუმის იონებთან.

დიდი მნიშვნელობა ენიჭება კალციუმის იონებს აგზნების გადაცემის პროცესში ნერვული დაბოლოებებიდან ეფექტორზე. როგორც გამოირკვა, პროტოპლაზმატურ მემბრანებში დაკავშირებული კალციუმი აგზნების იმპულსის ზემოქმედებით თავისუფლდება და ააქტივებს იმ ფერმენტულ გარდაქმნებს, რომელნიც საფუძვლად უდევს ეფექტორის ფუნქციას. ეს მოვლენა კარგად არის შესწავლილი, მაგალითად, ნერვ-კუნთის დაბოლოებებში, სადაც კალციუმის იონები ააქტივებენ ადენოზინტრიფოსფატის დაშლას. ეს რეაქცია უშუალოდ არის დაკავშირებული კუნთის შეკუმშვასთან.

დიდი მნიშვნელობა ენიჭება კალციუმისა და ფოსფორის მჟავას ცელის შესწავლას რაქიტის, ოსტეომალაციისა და სხვა დაავადებათა გენეზისის გარკვევაში. ეს დაავადებანი გამოწვეულია არა მარტო კალციუმისა და ფოსფორის სიმცირით საკვებში, არამედ იმ მექანიზმის მოქმედების აღრევით, რომლის რეგულაცია წარმოებს კორტიკოსტეროიდებისა და ვიტამინ D-ს საშუალებით. კალციუმისა და ფოსფორის ყველაზე უკეთეს წყაროს წარმოადგენს რძე, სადაც კალციუმისა და ფოსფორის შეფარდება ისეთივეა როგორც ძვლოვან ქსოვილში. მცენარეული საკვები მასალიდან კალციუმით მდიდარია კომბოსტო, ისპანახი და სალათა; მცირე რაოდენობით შეიცავს მას ბრინჯი, სიმინდი და პარკოსან მცენარეთა თესლი.

მაგნიუმი წარმოდგენილია მცენარეთა და ცხოველთა ყველა უჯრედში. მცენარეში კარგად არის შესწავლილი ქლოროფილი, რომლის შენებაში მონაწილეობას ღებულობს მაგნიუმი. მაგნიუმის კომპლექსური ორგანული ნაერთები წარმოდგენილია აგრეთვე უქლოროფილო მცენარეებში, სადაც ისინი ბიოქიმიურ სინთეზებში მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ.

მაგნიუმის აქტიური როლი უჯრედში ისაზღვრება მისი მონაწილეობით მთელი რიგი ფერმენტების შენებაში, განსაკუთრებით იმ ფერმენტების, რომლებიც ნახშირწყლების ცვლის კატალიზს აწარმოებენ. ისეთი მნიშვნელოვანი ფერმენტები, როგორიცაა დეკარბოქაილაზა, ენოლაზა, ფოსფატაზა, აქტიური საწყისის სახით შეიცავენ მაგნიუმს და ამ ელემენტის გარეშე თავის კატალიზურ ფუნქციას ვერ ახორციელებენ.

§ 8. ნატრიუმი და კალიუმი

ცხოველთა ორგანიზმის ქსოვილებში, ჩვეულებრივად, ნატრიუმის რაოდენობა კალიუმზე მეტია. მცენარე კი, პირიქით. კალიუმს შეიცავს მეტი რაოდენობით, ვიდრე ნატრიუმს. როდესაც ცხოველი იკვებება მცენარეული საკვებით, ის ღებულობს კალიუმის მარილების მეტ რაოდენობას. ვიდრე ეს მისთვის საჭიროა, ნატრიუმის კი — პირიქით. კალიუმი ნატრიუმის ანტაგონისტს წარმოადგენს: ამისათვის ცხოველის ორგანიზმში ღარიბდება ნატრიუმით, თუ მას არ მიეაწოდეთ ნატრიუმი საკმელი მარილის სახით.

მაშინ როდესაც ცხოველთა ორგანიზმში კალიუმის მოთხოვნილება სხვადასხვა ქსოვილს დასაკმაყოფილებლად თანაბარი არ არის, ნატრიუმის იონები საჭიროა ყოველი უჯრედის ნორმალური აგზნებისათვის. ნატრიუმის იონები, როგორც ირკვევა, მეტი რაოდენობით წარმოდგენილია ყოველთვის უჯრედთაშორის სითხეში და არა თვით უჯრედში; კალიუმი კი პირიქით.

კალიუმის იონებით მდიდარია მცენარეულის განსაკუთრებით რანაწილები, სადაც ცხოველმოქმედება მეტი ინტენაივობით მიმდინარეობს. აქ კალიუმი წარმოდგენილია უჯრედის პროტოპლაზმაში.

საყურადღებოა ის ფაქტი, რომ პროტოპლაზმატიური ცილების ფიზიკუქიმიური მდგომარეობა, უჯრედის ფერმენტების აქტივობა გარკვეულ კავშირშია კალიუმის იონებთან. ნატრიუმისა და კალიუმის განაწილებას, ორვალენტოვან იონებთან მათ შეფარდებას გადამწყვეტი მნიშვნელობა ენიჭება პროტოპლაზმის სასიცოცხლო ფუნქციებში. გამორკვეულია, რომ კალიუმის და ნატრიუმის უჯრედშიგნითა და უჯრედის გარეთ არათანაბარი განაწილებით ძირითადად პირობადებულა პროტოპლაზმის აგზნებადობა და უჯრედის ბიოელექტრული მოვლენები.

§ 9. ქლორი, ფლორი და იოდი

ქლორი ორგანიზმში წარმოდგენილია იონების სახით. ექვია წვენიის გარდა, სადაც ის მარილის მყავაშია დაკავშირებული, დანარჩენ ბიოლოგიურ სითხეებში ქმნის მარილებს. ქლორის უმეტესი ნაწილი წარმოდგენილი არის ნატრიუმის ქლორიდის სახით. ქლორ-ზონით ყველაზე უფრო მდიდარია სისხლი, მას მოსდევს ფილტვები და თირკმლები, კუნთოვან ქსოვილში სისხლთან შედარებით ქლორის რაოდენობა ხუთჯერ ნაკლებია.

საკვებში ქლორის ბრომით შეცვლისას უკანასკნელი შეიძლება დაგროვდეს იმ ორგანოებში, სადაც ქლორი ბევრი რაოდენობით იყო წარმოდგენილი.

წორმალურ ორგანიზმში ბრომი უმნიშვნელო რაოდენობითაა. უკანასკნელ დროს გამოიჩინა, რომ ბრომი მონაწილეობას ღებულობს ერთ-ერთი უცნობი ორგანული ნაერთის შენებაში. ეს ნაერთი დაგროვილია ჰიპოფიზში, ამ ჯირკვლიდან სეკრეტის სახით გამოდის და შესაძლებელია მონაწილეობას ღებულობდეს იმ მექანიზმში, რომელიც ძილს იწვევს. ჰიპოფიზი შეიცავს ბრომის 12 მგ %-ს, სისხლი — 1—2 მგ %-ს. ფლუორი ცხოველთა ორგანიზმში უფრო მცირე რაოდენობით არის წარმოდგენილი, მხოლოდ ძვლებში და კბილებში მისი რაოდენობა 0,05—0,1 მგ %-ს აღწევს. მისი მნიშვნელობა სასიცოცხლო პროცესებში ჯერ კიდევ არ არის გამოკვლეული.

იოდი ცხოველთა ორგანიზმში გავრცელებულია, უმთავრესად, როგორც ორგანული ნაერთი. ის გვხვდება მცენარეთა და ცხოველთა ყველა უჯრედში. განსაკუთრებით დიდი მნიშვნელობა ენიჭება იოდს ცხოველთა ორგანიზმში, ვინაიდან ის მონაწილეობას ღებულობს ისეთი ნაერთის შენებაში, როგორც არის ჰორმონი თიროქსინი. ჰაერის მტვერი, წყალი და ნიადაგი ყოველთვის შეიცავს იოდის კვალს. ცხოველთა ორგანიზმში იოდს უმთავრესად საკვებიდან და წყლიდან ღებულობს. საინტერესოა ის გარემოება, რომ იოდი ის მინერალური ნაერთია, რომელიც პირველად აღმოაჩინეს ცოცხალ ბუნებაში, სახელდობრ, წყალმცენარეებში. ზოგიერთი ზღვის ცხოველის ორგანიზმში იოდის დიდ რაოდენობას შეიცავს.

იოდის მობილიზაცია ცხოველის ორგანიზმის მიერ წარმოებს ფარისებრ ჯირკვალში, სადაც მისი რაოდენობა აღწევს 9,76 მგ ჯირკვლის ერთ კილო წონაზე. ფარისებრ ჯირკვალში იოდი დაკავშირებულია ცილა თირეოგლობულინში. ეს ცილები შეიცავენ იოდის დაახლოებით 0,16 %-ს. უფრო მარტივი შენების არის დიიოდთირონინი და ჰორმონი თიროქსინი, სადაც იოდის რაოდენობა დაახლოებით 60 %-ს აღწევს.

თევზებში ფარისებრი ჯირკვალი წარმოადგენს მეორეხარისხოვანი დანიშნულების მქონე ორგანოს. ამის გამო იოდი გროვდება ღვიძლში, სადაც ის დაკავშირებულია ფოსფატიდებთან და არანაჯერ ცხიმოვან მჟავებთან. თევზის ზეთი შეიცავს იოდის მეტ რაოდენობას, ვიდრე ძუძუმწოვართა ცხიმში (3—7 მგ ზეთის 1 კგ-ზე).

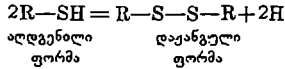
§ 10. გოგირდი

ელემენტურ გოგირდს, გოგირდის ბაქტერიების გარდა, სხვა ორგანიზმები არ შეიცავენ. გოგირდი წარმოდგენილია ან როგორც არაორგანული ნაერთი, ან დაკავშირებულია ორგანულ რადიკალთან. არაორგანული გოგირდი ცოცხალ ბუნებაში წარმოდგენილია ან როგორც სულფიდრილის ან, უმთავრესად, სულფატ-ანიონების სახით. ორგანული გოგირდი მონაწილეობას ღებულობს მრავალ ნაერთში. მათგან უმთავრესია: ლიმონის მჟავა, კოენზიმი A, მუკოიტინის მჟავა (მუცინებში), ქონდროიტინის მჟავა (ქონდროპროტეიდებში), ამინომჟავა ცისტეინი, ტრიპეპტიდი-გლუტათიონი, ჰორმონი—ინსულინი, ერგოთიონენი (თიოპსტიდინის ბეტაინი), მეთიონინი (თიო-ამინომჟავა), ტაურინი (ცისტეინის გარდაქმნის პროდუქტი).

ჩამოთვლილ ნაერთებში მონაწილეობას ღებულობს ან აღდგენილი გოგირდი სულფიდრილის ჯგუფების სახით, ანდა დაუანგული გოგირდი გოგირდ-მჟავა ნაშთის სახით.

გოგირდის დაუანგული ფორმა ორგანიზმში სულფიდრილის ჯგუფებიდან წარმოიშობა. დიდ ინტერესს წარმოადგენს აგრეთვე სულფიდრილის

ჯგუფის უაქტიუვითი გარდაქმნები, რომელთაც ძალიან დიდი მნიშვნელობა ენიჭებათ ორგანიზმში მიმდინარე ქანგვა-აღდგენით პროცესებში:

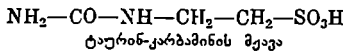


სულფჰიდრილის ჯგუფების დაქანგვისას თავისუფლდება აქტიური წყალბადი. ისეთი ნაერთები, როგორც არის ცისტინი, გლუტათიონი, კოენზიმი A და ლიპოის მჟავა, წარმოდგენენ წყალბადის დონატორებს (წყალბადის მიწვევს) მაშინ, როდესაც ისინი აღდგენილ ფორმაში იმყოფებიან, და აქცეპტორებს (წყალბადის მიმღებს), როდესაც დაქანგვულ ფორმაში გადადიან.

ალსანიშნაეია აგრეთვე ის გარემოება, რომ ლიპოის მჟავაში და აგრეთვე კოენზიმ A-ში წარმოდგენილია გოგირდის მკერძოვანი ცეცხლი ბმა. ფოსფორის მსგავსად გოგირდი უჯრედის ენერგეტიკულ ცვლაში მონაწილეობას უნდა ლებულობდეს.

აღდგენილი გოგირდი სულფჰიდრილის ჯგუფების სახით მონაწილეობას ლებულობს სხვადასხვა ცილოვანი ნივთიერების შენებაში. ცილოვანი ნივთიერებაში სულფჰიდრილის ჯგუფები დაკავშირებულია ამინომჟავა ცისტინში და მეთიონინში. ცისტინი დამახასიათებელია მთელი რიგი ფერმენტების აქტიური ცენტრისათვის. მცენარეულობაში არ არის ნაპოვნი ისეთი ცილა, რომლის შენებაში მონაწილეობას არ ლებულობდეს ერთ-ერთი ზემოხსენებული ამინომჟავა. ცხოველთა წარმოშობის ცილებში ცისტინი და ცისტეინი დიდი რაოდენობით (საშუალოდ 8—14%) წარმოდგენილია ცილა კერატინში. კერატინისაგან აშენებულია ეპიდერმისი, თმა, მატყლი, რქოვანი ნივთიერება და სხვ.

ცხოველთა ორგანიზმში გოგირდშემცველი ნაერთების ცვლის შედეგად შარდში გამოიყოფა გოგირდი სულფატების, გოგირდმჟავა ესთერ-ფენოლებისა და ორგანული გოგირდის სახით (ცისტინი და ტაურინი). ტაურინი შარდში კვებდება ტაურინ-კარბამინის მჟავას სახით:



მცირე რაოდენობით შარდში ნაპოვნი აგრეთვე როდანატები.

§ 11. რკინა

რკინა ყველა ორგანიზმისათვის აუცილებელ ბიოელემენტს წარმოადგენს. დიდი ზანია ცნობილია, რომ რკინის ნაკლებობისას მცენარეს უვითარდება ქლოროზი. წინათ ფიქრობდნენ, რომ ცხოველთა ორგანიზმში რკინა საჭიროა მხოლოდ ჰემოგლობინის შენებისათვის. ახლა დამტკიცებულად უნდა ჩაითვალოს მისი არსებობის აუცილებლობა ყველა უჯრედისათვის. რკინა იმ ფერმენტების მნიშვნელოვანი შემადგენელი ნაწილია, რომელიც ცნობილია ვ ა რ ბ უ რ ვ ი ს სუნთქვის ფერმენტების სახელწოდებით. სუნთქვის ფერმენტი წარმოადგენს სუნთქვის პროცესების კატალიზატორს ყველა უჯრედში, სადაც კი ქანგბადის მოხმარებას აქვს ადგილი.

ორგანიზმი რკინას შეიცავს სხვადასხვა ნაერთის სახით. ჰემოგლობინი გარდა სისხლში რკინა წარმოდგენილია ისეთ კომპლექსურ ნაერთში, რომელიც დიალიზის უნარს მოკლებულია. რკინის ტიპურ ორგანულ ნაერთს წარმოად-

გენს ჰემი. ჰემში რკინა კომპლექსური ნაერთის სახითაა დაკავშირებული პორფირინებთან და ასეთი ნაერთის სახით შედის უჯრედის შემადგენლობაში. ჰემში რკინა სამვალენტოვანია, მაშინ როდესაც ჰემოგლობინში ის ყოველთვის ორვალენტოვანია. ადამიანის ორგანიზმში შეიცავს 3,2 გ რკინას. აქედან 75% მოდის ჰემოგლობინზე და ოქსიჰემოგლობინზე, ხოლო დანარჩენი 25% სხვა ორგანული რკინის კომპლექსურ ნაერთებზე. უჯრედში რკინა დაკავშირებულია ისეთ კომპლექსში, რომელიც ცნობილია კეილინი ციტოქრომის სახელწოდებით. ციტოქრომი მონაწილეობას ღებულობს უჯრედში მიმდინარე ენჯივით პროცესებში. გამორკვეულია, რომ ფერმენტების კატალაზას და პეროქსიდაზას შენებაში მონაწილეობას ღებულობს რკინის შემცველი ჰემი.

ზემოთ ჩამოთვლილ რკინის აქტიურ ფორმათა გარდა უჯრედში წარმოდგენილია აგრეთვე რკინის დაკავშირების ისეთი კომპლექსები, რომელთაგან შენდება რკინის აქტიური ფორმები. ამგვარი ნაერთებით მდიდარია ელენთისა და ღვიძლის უჯრედები, სადაც შემდეგ სისხლის პიგმენტები იქმნება. რკინას შემცველ ამ ნაერთების ჯგუფს ეკუთვნის ფერიტინი, რომელიც მაღალმოლეკულური ცილების ჯგუფს ეკუთვნის. ის შეიცავს რკინას დაახლოებით 20%-ის რაოდენობით. ფერიტინი ასრულებს ნაწლავებში რკინის შეწოვის რეგულაციის როლს.

მცენარის ქლოროპლასტები შეიცავენ რკინის მნიშვნელოვან რაოდენობას. ის შხამები (HCN , H_2S , SO_2), რომლებიც რკინის კატალიზურ მოქმედებას აკავებენ, უარყოფით გავლენას ახდენენ აგრეთვე ნახშირბოდავად გაზის ასილიაციის პროცესზე.

§ 12. შიაროვალმონაბაი

მიკროელემენტების სახელწოდებით ცნობილია ისეთი ელემენტები, რომლებიც სულ მცირე რაოდენობითაა წარმოდგენილი ცხოველისა და მცენარის ორგანიზმში და რომელთა გარეშე ვერ ხერხდება მათი ნორმალური განვითარება. რადგან მიკროელემენტების ნაკლებობა ორგანიზმის დაავადებას იწვევს, ამიტომ დაავადებასთან დაკავშირებული საკითხები უკეთესად არის შესწავლილი.

რკინისმაგვარი დანიშნულება უჯრედში მინიჭებული აქვს აგრეთვე სპილენძს და მანგანუმს. სპილენძს, ისე როგორც რკინას, აქვს ორგვარი ფუნქცია; ის მონაწილეობას ღებულობს ზოგიერთი ცხოველის სისხლის პიგმენტის შენებაში და, მეორე მხრივ, წარმოადგენს ენჯივითი პროცესების კატალიზატორებას აქტიურ საწყისს.

სპილენძი, როგორც სისხლის პიგმენტის შენებაში მონაწილე, გვხვდება მხოლოდ ზოგიერთ უხერხემლო ცხოველში (მოლუსკებში). ამ ცხოველთა ქრომობროტეიდებს ეწოდება ჰემოციანინები. ჰემოციანინები წარმოადგენენ სპილენძის ცილასთან არამყარი დაკავშირების პროდუქტს. აღდგენილ ფორმაში ის უფერულია, ხოლო დაჟანგულში — ლურჯ ფერს ითვისებს. კომპლექსი, რომელიც სპილენძს შეიცავს, წარმოადგენს სპილენძის დაკავშირებას პოლიპეპტიდთან და არა ისეთ ნაერთთან, რომელიც აშენებულია პიროლის ბირთვებისაგან, როგორც ამას ადგილი აქვს ჰემოგლობინში.

სპილენძის შემცველი ფერმენტების ფუნქცია, რომელიც გამოიხატება ენჯივითი პროცესების კატალიზში, ჯერ კიდევ ბოლომდე შესწავლილი არ არის. სპილენძის კომპლექსური ნაერთები თავისი მოქმედების მხრივ განირჩევა რკინის ნაერთებისაგან.

პირველად სპილენძი აღმოჩენილი იყო უხერხემლო ცხოველებში, სადაც ის საგრძნობ რაოდენობას აღწევს, განსაკუთრებით ღვიძლში. ხერხემლიანი ცხოველები შეიცავენ სპილენძის მცირე რაოდენობას, სახელობრ, ერთ კილო ცოცხალ წონაზე მოდის სპილენძის 1¹⁰ მგ. სპილენძით შეღარებით მდიდარია ღვიძლი და უჭრედის ბირთვები. საკვებში სპილენძის სიმცირის დროს ნელდება ორგანიზმში ჰემოგლობინის სინთეზი; მაშასადამე, სპილენძს კავშირი უნდა ჰქონდეს რკინის კომპლექსური ნაერთების სინთეზთან. იგივე როლი უნდა ენიჭებოდეს სპილენძს ქლოროფილის სინთეზში. ღვიძლში აღმოჩენილია სპილენძის შემცველი ცილა — ჰეპატოქუპრინი.

მანგანუმს ბერტრანის მიხედვით დიდი როლი ენიჭება მცენარეულ უჭრედში, სადაც ის ეხმარება პროცესებში ღებულობს მონაწილეობას როგორც კატალიზატორი. ცხოველთა ორგანიზმში ის წარმოდგენილია ყველა უჭრედში. მისი კონცენტრაცია ქვათილში უდრის $3 \cdot 10^{-8}\%$ -ს. ცალკეულ ორგანოებში მისი რაოდენობა იშვიათად თუ იცვლება. მეტი რაოდენობით ის წარმოდგენილია თირკმელებსა და ღვიძლში. მანგანუმს, როგორც ირკვევა, გავლენა აქვს ზრდის პროცესებზე, სინხლის წარმოშობაზე, ჰიპოფიზისა და სქესობრივი ჯირკვლების ფუნქციებზე. მანგანუმით შესაძლებელია შეიცვალოს მაგნიუმის ფუნქცია გლოკოზის პროცესში.

ცინკი აგრეთვე აუცილებელ მიკროელემენტს წარმოადგენს ცხოველთა და მცენარეული ორგანიზმების ნორმალური განვითარებისათვის. როგორც ირკვევა, ცინკს გარკვეული კავშირი უნდა ჰქონდეს გოგირდშემცველი ნაერთების გარდაქმნასთან. როგორც უკვე აღნიშნული იყო, გოგირდშემცველი ნაერთები მონაწილეობას ღებულობენ ენჯევა-აღდგენით პროცესებში. აქედან გამომდინარე, ცინკის მონაწილეობა ნივთიერებათა ცვლაში გოგირდშემცველი ნაერთების გააქტივებით უნდა ისაზღვრებოდეს. ამ თვალსაზრისით განხილული უნდა იქნეს აგრეთვე ცინკის იონების დადებითი გავლენა კუჭის ქვედა ჯირკვლის ჰორმონის ინსულინის მოქმედებას გააქტივებაზე.

უკეთ არის შესწავლილი ცინკის დადებითი გავლენა ნახშირორჟანგის სინხლის პლანშიდან კატალიზურ განთავისუფლებაში. ერთორციტებში აღმოჩენილია სპეციფიკური ფერმენტის კარბონაქსიდრაზა, რომელიც ააქტივებს ნახშირორჟანგის გამოყოფას პლანში გახსნილი ნახშირის მჟავადან. ამ ფერმენტას შენებაში მონაწილეობს ცინკი.

კობალტი მონაწილეობას ღებულობს ანტიანემიური ფაქტორის — ვიტამინ B₁₂-ის შენებაში. მისი უქონლობა იწვევს ცხოველთა ანემიას, რასაც ადგილი აქვს ცხოველებში კობალტით ღარიბი საკვების მიღების გამო. ამ დაავადების აცილება შესაძლებელი ხდება, თუ კობალტის მარილს სასუქის სახით ნიადაგში შეიტანენ, ანდა უშუალოდ საკვებში მისცემენ.

ღარიშხანი წარმოადგენს თუ არა ბიოელემენტს, ჯერ საბოლოოდ არ არის გამორკვეული, მიუხედავად იმისა, რომ ის აღმოჩენილია ყველა ცხოველის ქსოვილში. ის ნააოვნია აგრეთვე, როგორც მუდმივი შემადგენელი ნაწილი, მცენარეებშიაც. რაც შეეხება ბორის გავრცელებას და დანიშნულებას მცენარეულ ორგანიზმში, ეს საკითხი უკეთ არის შესწავლილი. გამორკვეულია, რომ მცენარე ბორის დიდი რაოდენობით შეყვანისას იღუპება; მცირე რაოდენობა ხელს უწყობს ზრდის პროცესებს და ფესვების განვითარებას.

მოლიბდენის უაღრესად მცირე რაოდენობასაც კი მნიშვნელობა აქვს ატმოსფერული აზოტის მოხმარებაში — აზოტის ფიქსაციისას ბაქტერიების მიერ. ეს ელემენტი მონაწილეობს აგრეთვე ფერმენტ ქსანტინოქსიდაზის გააქტივებაში.

გამორკვეულია, რომ ბორის ზეგავლენით იცვლება პროტოპლაზმის მიერ წყლის დაჭერის უნარი და ძლიერდება კატიონების შეთვისება. გარკვეულ ცვლილებებს ადგილი აქვს აგრეთვე მცენარეულ ორგანიზმში აზოტისა და ნახშირწყლების ცვლის მხრივ. ბორის ნაკლებობის შემთხვევაში ადგილი აქვს მცენარეული უჯრედების მოცულობის გადიდებას. კატიონების, განსაკუთრებით კალციუმის იონის, განვლადობის შემცირების გამო კნინდება უჯრედის პარენქიმა და უჯრედი ნორმალურად ვერ ვითარდება.

უკანასკნელ დროს ყურადღებას იპყრობს სტრონციუმისა და ცეზიუმის იზოტოპები, რომელთა რაოდენობა ნიადაგში მატულობს ატომური აფეთქების შედეგად. მათი დაგროვება ცხოველთა ორგანიზმში წარმოებს მცენარეული საკვებიდან. სტრონციუმის რადიაქტიური იზოტოპი ხასიათდება ბეტა-ნაწილაკების გამოსხივებით, რომელიც იწვევს პათოლოგიურ ცვლილებებს ძვალში და ძვლის ტვინში. ცეზიუმის რადიაქტიური იზოტოპის გამა-გამოსხივება სწრაფად ვრცელდება ჰაერში და ნიადაგში ატომური აფეთქების შემდეგ და იწვევს ორგანიზმის მძიმე დაავადებას.

თ ა ვ ი მ ე ს ა მ ე

ლიპიდები

§ 1. საერთო დახასიათება და კლასიფიკაცია

ლიპიდების სახელწოდებით გაერთიანებულია ყველა ის ნაერთი, რომელიც იხსნება ორგანულ გამხსნელებში; როგორც არის: ეთილის ეთერი, პეტროლეუმის ეთერი, ბენზოლი, ტოლუოლი, ქლოროფორმი, ოთხქლორიანი ნახშირბადი, ქლორჩანაცვლებული ნახშირბად-წყალბადები: ეთილენ-დიქლორიდი $\text{CH}_2\text{Cl}-\text{CH}_2\text{Cl}$, ტეტრაქლორეთანი $\text{CHCl}_2-\text{CHCl}_2$, ტრიქლორეთანი $\text{CH}_2\text{Cl} \cdot \text{CHCl}_2$ და სხვ. მხედველობაში უნდა ვიქონიოთ, რომ ლიპიდებისათვის არ არსებობს სპეციფიკური გამხსნელი. ლიპიდებთან ერთად ხსნარში შეიძლება გადავიდეს ისეთი ნაერთებიც, რომლებსაც ლიპიდებთან არაერთგვაროვანი კავშირი არა აქვთ.

ქიმიური თვალსაზრისით ლიპიდები წარმოადგენენ რთულ ეთერებს (ესთერებს), სადაც ერთი კომპონენტი სპირტია, ხოლო მეორე — ცხიმოვანი მჟავა. მაგრამ არც ქიმიური განმარტება არის ზუსტი, ვინაიდან ორგანიზმში წარმოდგენილია ისეთი ნაერთები, რომლებიც, მართალია, ესთერებს წარმოადგენენ, მაგრამ ლიპიდებთან გენეზისური კავშირი არა აქვთ. მხედველობაშია აგრეთვე მისაღები ის, რომ ზოგიერთი ლიპიდის შენებაში მონაწილეობას ღებულობს არა მარტო სპირტი და ცხიმოვანი მჟავა, არამედ ფოსფორის მჟავა, აზოტოვანი ფუძე და შაქარი.

ლიპიდების გაერთიანება ერთ ჯგუფში არ ხერხდება აგრეთვე მათი ფიზიოლოგიური მოქმედების მიხედვით. ლიპიდების ჯგუფში წარმოდგენილია მთელი რიგი ისეთი ნაერთები, რომელთა დანიშნულება მკვლევანდება სულ სხვადასხვა ხასიათის პროცესში, და ამიტომ მათი დაკავშირება ერთ მთლიანში შეუძლებელი ხდება.

ნივთიერებათა აღნიშნული ჯგუფი ბუნებაში მრავალი სახით არის გაცეცელებული. შეუძლებელია წარმოვიდგინოთ ისეთი უჯრედი, რომლის შენებაში, მგეტი თუ ნაკლები რაოდენობით, მონაწილეობას არ ღებულობდეს ლიპიდების რამდენიმე წარმომადგენელი.

ლიპიდები ერთიპეორისაგან განსხვავდებიან მათი მოლეკულაში შემავალი კომპონენტებით. შენების მხრივ ლიპიდები შესაძლებელია დაიყოს შემდეგ ქვეჯგუფებად:

1) სააკუთრივ ცხიმები წარმოადგენენ სამატომიან სპირტის (გლიცერინის) ესთერს ცხიმოვან მჟავებთან.

2) ფოსფატიდები. გარდა გლიცერინის და ცხიმოვანი მჟავებისა, ფოსფატიდების შენებაში მონაწილეობას ღებულობს ფოსფორის მჟავა და

რომელიმე აზოტოვანი ფუძე. ზოგიერთ ფოსფატიდში, მაგალითად, სფინგო-
ლიპიდებში, გლიცერინი წარმოდგენილი არ არის.

3) ცერებროზიდები. ეს ნაერთები განსხვავდებიან ფოსფატიდებ-
საგან იმით, რომ მათ შენებაში მონაწილეობას არ ღებულობს ფოსფორის
მევა და გლიცერინის მაგივრად აქ წარმოდგენილია შაქარი.

4) სტერიდები და ცერიდები წარმოდგენენ მალალოლეკუ-
ლურ სპირტს, რომელიც უმეტეს შემთხვევაში, დაკავშირებულია უმაღლეს
ცხიმოვან მეავასთან.

ყველა ლიპიდისათვის დამახასიათებელია ის გარემოება, რომ წყალში
იინი არ იხსნებიან და ემულსიებს იძლევიან. საერთოა აგრეთვე ყველა ლიპი-
დისათვის ერთი კომპონენტი, სახელდობრ, მალალოლეკულური ცხიმოვანი
მევა. დანარჩენი შემადგენელი ნაწილები შესაძლებელია ყველა ლიპიდში არ
განშეორდეს.

§ 2. საბუთრივ ცხიმები

ცხიმი ეკუთვნის იმ რაულ ნაერთთა ჯგუფს, რომელთა ჰიდროლიზური
დაშლისას წარმოიშობა გლიცერინი და ცხიმოვანი მეავეები. სხვადასხვა წარ-
მოშობის ცხიმი ერთიეორისაგან განსხვავდება ცხიმოვანი მეავეების შემადგენ-
ლობით. მაშინ როდესაც მეორე კომპონენტი გლიცერინი ყველგან ერთი და
იგივეა.

ფიზიოლოგიური დანიშნულების მიხედვით ანსხვავებენ სამგვარ ცხიმს:
ცხიმოვან ნივთიერებათა პირველი ჯგუფი. ე. წ. სათადარიგო ცხიმი, გროვ-
დება ორგანიზმის გარკვეულ ნაწილებში (ცხოველებში — კანქვეშ, შინაგანი
ორგანოების ირგვლივ, მცენარეულობაში — თესლში და ნაყოფში). ამგვარი
ცხიმის ქიმიურ შემადგენლობაზე განსაზღვრული გავლენა აქვს კლიმატურ
ფაქტორებს და კვებას. დამტკიცებულია, მაგალითად, რომ ერთი და იგივე
სახის მცენარეულ თესლში გროვდება სხვადასხვა ქიმიური შემადგენლობის
ცხიმი იმისდა მიხედვით, თუ სად წარმოებდა მცენარის ვეგეტაცია. ჩრდი-
ლოეთში მცენარეულ თესლში გროვდება უფრო ნაჭერი, დაქანგვის მეტი
უნარის მქონე ცხიმი (ზეთის სახით).

კლიმატური ფაქტორების გავლენა ცხიმებზე მტკიცდება იმ ფაქტით, რომ
ტროპიკული ქვეყნებიდან ჩრდილოეთის განივებისაკენ მცენარეული და ცხო-
ველური წარმოშობის ცხიმში განსაზღვრულ ცვლილებებს აქვს ადგილი. ეს
ცვლილებები გამოიხატება იმაში, რომ ნაჭერი ცხიმოვანი მეავეების რაოდე-
ნობა კლებულობს არანაჭერი მეავეების ზარჯზე. ამასთანავე მეავეების არანაჭე-
რობის ხარისხი მატულობს. მატულობს აგრეთვე ნაჭერი ცხიმოვანი მეავეების
მოლეკულური წონა. ტროპიკული წარმოშობის ცხიმებში მეტი რაოდე-
ნობით არის წარმოდგენილი ისეთი ცხიმოვანი მეავეები, რომლებიც აშენებუ-
ლია ნახშირბადის 10 ან 12 ატომისაგან; ჩრდილოეთის განივებში სჭარბობს
ცხიმოვანი მეავეები, აშენებული უკვე 16 ან 18 ნახშირბადის ატომისაგან.

ყინულოვანი ოკეანის ფაუნაში გავრცელება აქვს ისეთ ცხიმოვან მეავეებს,
რომელთა მოლეკულა უფრო მეტ ნახშირბად-ატომებს შეიცავს და მათი არა-
ნაჭერობა მაქსიმუმს აღწევს.

ცხოველებს სათადარიგო ცხიმის (დეპო-ცხიმის) ქიმიურ შემადგენ-
ლობაზე დიდი გავლენა აქვს მიღებული ცხიმის შემადგენლობას. გამოკვეუ-
ლია, რომ ზოგიერთ შემთხვევაში ცხიმი ცხოველის ორგანიზმში გროვდება

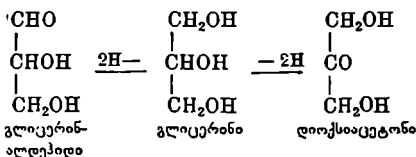
სრულიად უცვლელი, ნატურალური სახით. ძალს, რომელიც გამოკვეთილი იყო ცხვრის ქონით, კანქვეშ უგროვდებოდა ცხიმი, რომელიც ქიმიური შენებით უახლოვდებოდა ცხვრის ქონს. მეორე მხრივ, პრაქტიკიდან ცნობილია მრავალი ფაქტი, თუ რა დიდი გავლენა აქვს საკვების ცხიმს შინაურ ცხოველთა ქონის შემადგენლობაზე. მაგალითად, როდესაც ღორი იკვებება ისეთი საკვებით, სადაც დიდი რაოდენობით წარმოდგენილია თხევადი ახანაჯერი ზეთი, ის სათადარიგოდ აგროვებს ცხიმს, რომლის ღირებულება ტემპერატურა დაბალია.

სათადარიგო ცხიმი წარმოადგენს იმ მასალას, საიდანაც შენდება ორგანიზმისათვის უკვე დამახასიათებელი უჯრედის ცხიმი. ღვიძლისა და შინაგანი სეკრეციის ჭირკვლების ჰორმონების მეოხებით სათადარიგო ცხიმი გარდაიქმნება და ღებულობს იმ სპეციფიკურ შენებას, რომელიც დამახასიათებელია ცხოველისათვის. უჯრედის ცხიმის შემადგენლობა განსხვავდება არა მარტო სხვადასხვა ცხოველის წარმომადგენლებში, არამედ ის ერთნაირი არ არის ერთი და იმავე ცხოველის სხვადასხვა ქსოვილში. ცხიმის შემადგენლობა ამ მხრივ დამოკიდებულია უჯრედის დანიშნულებაზე და მის ფუნქციურ მდგომარეობაზე.

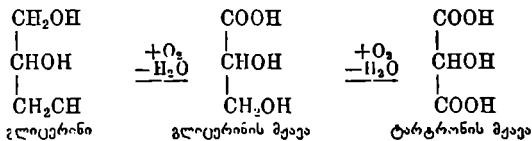
ცხიმოვან ნივთიერებათა შესაბამე ჯგუფს აკუთვნებენ იმ ცხიმს, რომელიც გროვდება ღვიძლში. ამ ცხიმის თავისებურება იმაში გამოიხატება, რომ ღვიძლის ცხოველშობქმედების შედეგად გროვდება არანაჯერი, გარდაქმნების უნარისმქონე, ლაბილური ცხიმი; ღვიძლი ამ შემთხვევაში წარმოადგენს ორგანოს, რომელიც ცხიმის ცვლის რეგულაციას აწარმოებს.

§ 2. ცხიმის შენადგენელი კომპონენტები

გ ლ ი ც ე რ ი ნ ი. გლიცერინი (გლიცეროლი) წარმოადგენს სამატომიან სპირტს, ორი პირველადი და ერთი მეორადი სპირტის ჯგუფით. პირველადი სპირტის ჯგუფის ფრთხილი დაქანგვისას მიიღება გლიცერინის ალდეჰიდი, ხოლო მეორადის დაქანგვისას — კეტონი დიოქსიაცეტონი:



პირველადი სპირტის ჯგუფის უფრო ენერგიული დაქანგვისას იმისდა მიხედვით, თუ რა დამქანგველი იყო ხმარებული და რა პირობებში წარმოებდა დაქანგვა, მიიღება:



ზემოთ მოტანილ გარდაქმნებს ის მნიშვნელობა ენიჭება, რომ მათ ადგილი აქვს, როგორც ამას ქვემოთ დავინახავთ, ნივთიერებათა უჯრედის შიგნითაც ცვლაში.

ც ზ ი მ ო ვ ა ნ ი მ ე ა ვ ე ბ ი. ცხიმებში გავრცელებულია თითქმის მხოლოდ ისეთი ცხიმოვანი მჟავები, რომლებიც აშენებულია წყვილი ნახშირბადის ატომებისაგან. ცვილებში და სტერიდებში კი, პირიქით, წარმოდგენილია ხშირად ცხიმოვანი მჟავები ნახშირბად-ატომების კენტი რიცხვით. ის ცხიმოვანი მჟავები, რომლებიც გავრცელებულია ცხიმებში, შეიძლება დაიყოს ორ ჯგუფად:

1) ნაწერი და 2) არანაწერი ც ზ ი მ ო ვ ა ნ ი მ ე ა ვ ე ბ ი. ნაწერი ცხიმოვანი მჟავების ჯგუფს ეკუთვნის:

სახელწოდება	ფორმულა	ღობის ტემპერატურა	გავრცელება
ერბოს მჟავა	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2 \cdot \text{COOH}$	-3,1°	რძის ცხიმში
კაპრონის "	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4 \cdot \text{COOH}$	-1,5°	რძის ცხიმში, პალმის ზეთში
კაპრილის	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6 \cdot \text{COOH}$	16,5°	იქვე
კაპრინის	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8 \cdot \text{COOH}$	31°	იქვე
ლაურინის	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10} \cdot \text{COOH}$	44°	იქვე
მირისტინის	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12} \cdot \text{COOH}$	58°	ტროპიკულ მცენარეთა ზეთში
პალმიტინის	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14} \cdot \text{COOH}$	62,6°	თითქმის ყველა ცხიმში
სტეარინის	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16} \cdot \text{COOH}$	72°	მრავალი სახის ცხიმში
არახისის "	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18} \cdot \text{COOH}$	77°	არახისში
ლიგნოცერინის "	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{22} \cdot \text{COOH}$	80,5°	სფინგომიელინების შენებაში
ცეროტინის	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{24} \cdot \text{COOH}$	78,5°	ცვილში, მატყლის ცხიმში
მელისინის	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{26} \cdot \text{COOH}$	91°	ცვილში

ო ქ ს ი-მ ე ა ვ ე ბ ი დ ა ნ აღსანიშნავია:

დიოქსისტერინის	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}(\text{CHOH})_2 \cdot \text{COOH}$	121-123°	აბუსალთინის ზეთში
ცერებრონის	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{21} \cdot \text{CHOH} \cdot \text{COOH}$	99-100°	ცერებროზიდებში

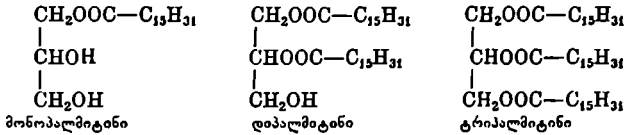
არანაწერი ც ზ ი მ ო ვ ა ნ ი მ ე ა ვ ე ბ ი დ ა ნ ცხიმების შენებაში მონაწილეობას ღებულობს:

ოლეინის მჟავა	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	14°	თითქმის ყველა სახის ცხიმში
ერუკის	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_{11}\text{COOH}$	34°	რაფისა და მღოგვის ზეთში
ლინოლის (სელის)	$\text{C}_{17}\text{H}_{31} \cdot \text{COOH}$	—	მცენარულ ზეთებში
ლინოლენის	$\text{C}_{17}\text{H}_{29} \cdot \text{COOH}$	—	

ზემოაღნიშნული მჟავებიდან ცხოველთა სათადარიგო ცხიმებისათვის დამახასიათებელია პალმიტინის, სტეარინისა და ოლეინის მჟავა; მცენარეული ზეთებისათვის კი უმთავრესად არანაწერი ცხიმოვანი მჟავები. უჯრედის ცხიმის შენებაში, როგორც ირკვევა, მონაწილეობას ღებულობს როგორც ნაწერი, ისე უმთავრესად არანაწერი და ოქსი-მჟავები.

§ 4. გლიცერიდები

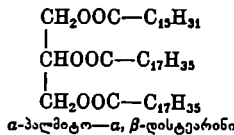
გლიცერიდების სახელწოდებას ატარებენ გლიცერინის ესთერები ცხიმოვან მჟავებთან; ვინაიდან გლიცერინი სამატომიან სპირტს წარმოადგენს, ამისათვის ცნობილია: მონოგლიცერიდი, დიგლიცერიდი და ტრიგლიცერიდი. იმისდა მიხედვით, თუ რამდენი ცხიმოვანი მჟავას ნაშთია ჩანაცვლებული გლიცერინში, შიილება:



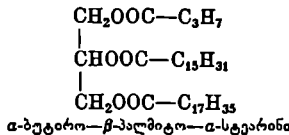
ბუნებრივი ცხიმები წარმოადგენენ ისეთი ტრიგლიცერიდების ნარევის, რომელთა შენებაში, უმეტეს შემთხვევაში, მონაწილეობას ღებულობს სხვადასხვა ცხიმოვანი მჟავა; ასეთ ტრიგლიცერიდს ეწოდება რთული ტრიგლიცერიდი. მონო-და დიგლიცერიდები ცხიმებში წარმოდგენილი არ არის. მარტივი ტრიგლიცერიდები ცხიმებში იშვიათ გამოწკლისს წარმოადგენენ.

ის ტრიგლიცერიდები, რომლებიც ბუნებრივ ცხიმებში გვხვდება, გამოყოფილია ცხიმის ფრაქციონირებით სხვადასხვა ტემპერატურაზე და სხვადასხვა გამხსნელით.

ამ გზით მიღებული ზოგიერთი ტრიგლიცერიდის სტრუქტურა გამოჩვენებულია. მაგალითად, ღორის ქონიდან გამოყოფილია:



რძის ცხიმის შემადგენლობაში ვხვდებით:



სხვადასხვა წარმოშობის ცხიმის გარკვევის სირთულე გამოწვეულია იმით, რომ ისინი წარმოადგენენ სხვადასხვა რთული ტრიგლიცერიდის ნარევის. ტრიგლიცერიდების ერთიმეორისაგან დაცილება, მათი მსგავსი თვისებების გამო, დიდი დაბრკოლებების გადალახვასთან არის დაკავშირებული და ამისათვის ცხიმის შესწავლა, მათი შემადგენელი ტრიგლიცერიდების დადგენის მხრივ, დამთავრებული არ არის.

უკანასკნელ დროს ქრომატოგრაფიის მეთოდის გამოყენებით შესაძლებელი გახდა ცხიმოვან მჟავათა შემადგენლობის დადგენა სხვადასხვა წარმოშობის ლიპიდებში.

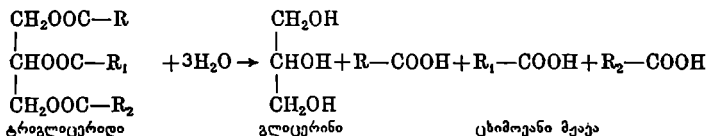
გლიცერიდების ფიზიკური თვისებები დამოკიდებულია შემადგენელ ცხიმოვან მჟავებზე; რაც უფრო მცირეა, მაგალითად, ცხიმოვანი

მეკვას ლღობის ტემპერატურა, მით უფრო დაბალ ტემპერატურაზე ლღება მისგან აშენებული ტრიგლიცერიდი. ლაურინის მეკვას ლღობის ტემპერატურა უღრის + 43°, ტრილაურინის + 40°, სტეარინის მეკვას + 72°, ტრისტეარინის + 71,5°, ოლეინის მეკვას + 14°, ტრიოლეინის — 4,5°. რაც უფრო მეტი რაოდენობით არის წარმოდგენილი ცხიმში დაბალმოლეკულური და არანაჯერი მეკვები, ლღობის ტემპერატურა მით უფრო მცირე ოდენობას აღწევს. ტრიგლიცერიდები კარგად იხსნება ორგანულ გამხსნელებში, როგორცაა: გოგირდნახშირბადი, ეთერი, ქლოროფორმი, ოთხქლორიანი ნახშირბადი, ბენზოლი და სხვ. ბუნებრივი ტრიგლიცერიდები წყალში არ იხსნება, მაგრამ ზოგიერთი ემულგატორის ზემოქმედებით (რომლებიც ზედაპირულად აქტიურ ნივთიერებებს წარმოადგენენ) იძლევიან ემულსიას წყალთან. ცხიმის ემულგატორების როლს ასრულებენ საპონინები, საპნები, ცილოვანი ნივთიერებანი და გუმები. რძეში, მაგალითად, ცხიმი ემულგირებულია ცილის საშუალებით.

§ 5. გლიცერიდების ფიზიკური და ქიმიური თვისებები

ქიმიური რეაქციებიდან გლიცერიდებისათვის დამახასიათებელია ესთერების ყველა რეაქცია. ამის გარდა, გლიცერიდებს შენარჩუნებული აქვთ ყველა ის თვისება, რომლითაც ხასიათდება მათში შემავალი ცხიმოვანი მეკვები.

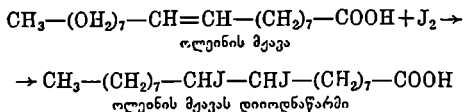
ცხიმები ის ფაქტები ა. ესთერების გასაჟენის რეაქცია იმაში მდგომარეობს, რომ ესთერი წყლის გავლენით, განსაზღვრულ პირობებში, ჰიდროლოზს განიცდის და დაიშლება შემადგენელ კომპონენტებად. ტრიგლიცერიდის დაშლის დროს წარმოიშობა გლიცერინი და ცხიმოვანი მეკვას სამი მოლეკულა:



ამ რეაქცია, როგორც ამას ქვემოთ დავინახავთ, დიდი მნიშვნელობა აქვს ორგანიზმში.

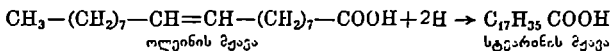
გასაჟენა შეიძლება: 1) წყლის მოქმედებით მაღალ ტემპერატურაზე, 2) ტუტეების მოქმედებით, 3) მეკვების მოქმედებით, 4) ბიოლოგიური კატალიზატორების — ფერმენტების მოქმედებით.

ჰალოიდების შეერთება. ცხიმზე ჰალოიდებით მოქმედებისას ჰალოიდი უერთდება ცხიმოვან მეკვას არანაჯერობის ადგილზე.



რაც უფრო არანაჯერია ცხიმოვანი მეკვა, მით უფრო მეტ რაოდენობა იოდას შეიერთებს ის. ამისათვის, რეაქციაში შესული იოდის რაოდენობით შესაძლებელი ხდება მსჯელობა ვიქონიით ცხიმის არანაჯერობის შესახებ.

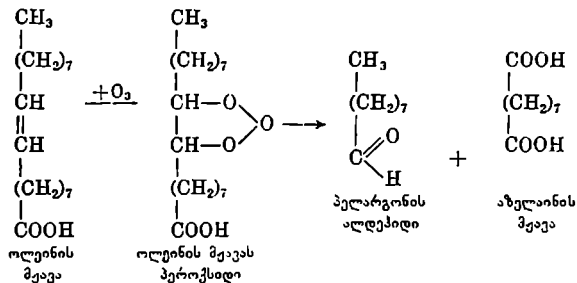
წყალბადის შეერთება კატალიზატორის თანდასწრებით (მაგალითად, ნიკელისა) ტრიგლიცერიდებს შეუძლიათ შეიერთონ წყალბადი იმ ორმაგი კავშირის ადგილზე, რომელიც წარმოდგენილია ცხიმში. მაგალითად:



ჰიდროგენიზაციის შედეგად მიიღება ნაჭერი ცხიმოვანი მჟავა, რომლის ლღობის ტემპერატურა უფრო მაღალია. ამ რეაქციას ხშირად მიმართავენ ტექნიკაში, როდესაც უნდათ თხევადი მცენარეული ზეთების გამყარება.

ჟანგბადის შეერთება განსაზღვრულ პირობებში არანაჯერ ცხიმოვან მჟავას შეუძლია შეიერთოს ჟანგბადი. ეს პროცესი წარმოებს სპეციფიკური კატალიზატორების თანდასწრებით და ქიმიურად აქტიური სხივების ზეგავლენით. ამის შედეგად ჰაერის ჟანგბადი გარდაიქმნება უფრო აქტიურ ოზონად, რომელიც აწარმოებს დაჟანგვის პროცესს.

მაგალითად, ჟანგბადის ზეგავლენით ოლეინის მჟავა შესაძლებელია დაიშალოს და მოგვეცეს:



ამ პროცესს ადგილი აქვს ცხიმის დამძაღებისას. დამძაღების პროცესს თან სდევს ალდეჰიდების წარმოშობა და ცხიმის მჟავიანობის გადიდება.

§ 6. ფოსფატიდაზი (ფოსფოლიაზი)

საერთო დახასიათება. ფოსფატიდების ჯგუფში, როგორც ეს ზემოთ იყო აღნიშნული, გაერთიანებულია ცხიმების მსგავსი ნივთიერებანი. ისინი ცხიმებისაგან განსხვავდებიან იმით, რომ მათ შენებაში მონაწილეობას ღებულობს ფოსფორის მჟავა, რომელიც, თავის მხრივ, დაკავშირებულია აზოტოვან ფუძესთან.

ფიზიკური თვისებების მიხედვით ფოსფატიდები ახლოს დგანან ცხიმებთან. ფოსფატიდები წყალში არ იხსნებიან და მხოლოდ ემულსიას იძლევიან: იხსნებიან ორგანულ გამხსნელებში. საჭიროა აღინიშნოს, რომ, ცხიმებისაგან განსხვავებით, ისინი ცივ აცეტონში არ იხსნებიან, რაზედაც დამყარებულია მათი გამოცალკევება.

ფოსფატიდები გავრცელებულია როგორც ცხოველთა, ისე მცენარეთა ორგანიზმებში. ფოსფატიდი ქარბად არის იმ ორგანოში, ქსოვილში ან უჯრედში, სადაც ნივთიერებათა გარდაქმნა მეტი ინტენსივობით მიმდინარეობს.

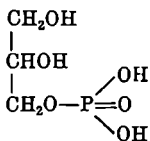
ფოსფატიდებს უჯრედში დიდი როლი ენიჭებათ. პირველ ყოვლისა, აღსანიშნავია მათი მონაწილეობა უჯრედის მემბრანების შენებაში, სადაც ისინი აქტიურ როლს ასრულებენ შერჩევით განვლადობაში. ფოსფატიდები ამავე

დროს წარმოდგენილი არიან მთელი რიგი ფერმენტების შემადგენლობაში. მათი ჩამოშორებისას ამ ფერმენტებს ეკარგებათ კატალიზური მოქმედების უნარი. ირკვევა აგრეთვე, რომ ცხიმოვან მკვებათა ტრანსპორტი და ბიოქიმიური გარდაქმნა გაადვილებულია ფოსფატიდების მოლეკულაში მათი დაკავშირების შემდეგ.

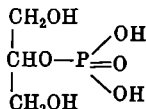
§ 7. ლეციტინები (ფოსფატიდილ-ჰოლინები)

ლეციტინი საკმაოდ გავრცელებული ნაერთია. ის წარმოდგენილია ცხოველთა და მცენარეთა ორგანიზმის ყოველ უჯრედში. განსაკუთრებით მდიდარია ლეციტინით ნერვული ქსოვილი, კვერცხის გული, საფუფრების უჯრედები და მცენარეულობიდან — სოიას თესლი. ლეციტინი უჯრედში, უმეტეს შემთხვევაში, დაკავშირებულია ცილასთან, რომელთანაც ქმნის რთულ კომპლექსს; მაგალითად, ცნობილია ლეციტ-ალბუმინები.

ლეციტინისათვის დამახასიათებელია ფოსფორის მკვება, რომელიც ლეციტინის მოლეკულაში დაკავშირებულია, ერთი მხრივ, გლიცერინთან და, მეორე მხრივ, ქოლინთან. ცნობილია ფოსფორის მკვებას გლიცერინთან დაკავშირების ორი პროდუქტი:



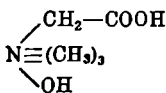
α-გლიცერინფოსფორის მკვება



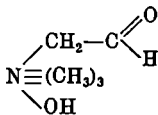
β-გლიცერინფოსფორის მკვება

გლიცერინფოსფორის მკვებას შენების მიხედვით არჩევენ α-და β-ლეციტინს. მეორე პირობა, რაზედაც არის დამყარებული ლეციტინების ურთიერთგანსხვავება, დამოკიდებულია იმ ორ მოლეკულა ცხიმოვან მკვებაზე, რომლებიც დაკავშირებულია გლიცერინში დარჩენილი ორი თავისუფალი ჰიდროქსილის საშუალებით. უმეტეს შემთხვევაში ლეციტინში მონაწილეობას ღებულობს, არანაჯერი მკვებებიდან, ოლეინისა და ლინოლის და ნაჯერიდან — პალმიტინისა და სტეარინის მკვებები.

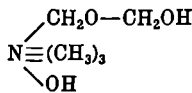
ქოლინი. აზოტოვანი ფუძე — ქოლინი, რომლითაც ლეციტინები განსხვავდებიან კვფალინებისაგან, ეკუთვნის მცენარეულ სამყაროში გავრცელებულ ბეტაინების ჯგუფს.



ბეტაინი

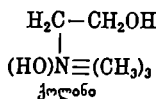
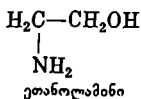
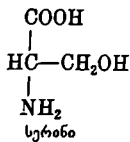


მუსკარინი

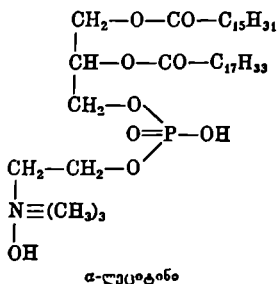


ქოლინი

ქიმიური თვალსაზრისით ქოლინი ტრიმეთილ-ოქსიეთილ-ამონიუმის ჰიდრატს წარმოადგენს. საინტერესოა მისი დამოკიდებულება ამინომკვება-სერინთან.

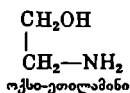


ლ ე ც ი ტ ი ნ ი ს შ ე ნ ე ბ ა. ლეციტინის (ფოსფატიდილქოლინის) შენება გარკვეულ იქნა ჰიდროლიზის შემდეგ მიღებული კომპონენტებით. ეს შენება დამტკიცებულია სინთეზითაც. როგორც ზემოთ აღნიშნული იყო α -და β -ლეციტინს ანსხვავებენ იმისდა მიხედვით, თუ რომელი სპირტის ჯგუფთან არის დაკავშირებული ფოსფორის მკაეა.

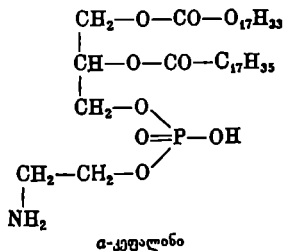


§ 8. კეფალინები (ფოსფატიდილ-ეთანოლ-ამინები)

კეფალინები ლეციტინების მსგავსი ნაერთებია, იმ განსხვავებით, რომ კეფალინებში ქოლინის ნაცვლად წარმოდგენილია სხვა აზოტოვანი ფუძე — ოქსიეთილამინი, კოლამინი ანუ ეთანოლამინი.



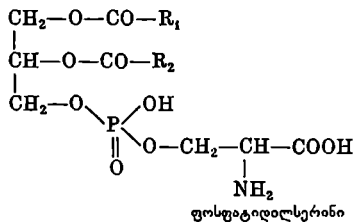
ოქსიეთილამინი (ეთანოლამინი) უფრო სუსტ ტუტეს წარმოადგენს, ვიდრე ქოლინი. აზოტოვანი მკაეას მოქმედებით ამინის ჯგუფი მას ადვილად სცილდება. კეფალინები (ლეციტინებთან ერთად) გავრცელებულია მცირე რაოდენობით ცხოველთა და მცენარეული ორგანიზმების თითქმის ყველა უჯრედში. განსაკუთრებით მდიდარია კეფალინებით ნერვული ქსოვილი. კეფალინების ურთიერთგანსხვავება დამოკიდებულია მათ მოლეკულაში შემავალ ცხიმოვან მკაეებზე. ნაჯერი მკაეებიდან ნაპოვანია სტეარინის მკაეა, ხოლო არანაჯერებიდან — ოლეინის, ლინოლისა და არაქიდონის მკაეები. α -და β -კეფალინებს არჩევენ იმისდა მიხედვით, თუ მისი მოლეკულის შენებაში რომელი გლიცერინ-ფოსფორის მკაეა მონაწილეობს.



კეთალინი (ფოსფატიდილ-ეთანოლამინი) წარმოადგენს თეთრი ფერის ფხვიერ მასას, რომელიც ადვილად იხსნება ორგანულ გამხსნელებში; ლეციტინისაგან იმით განსხვავდება, რომ ალკოჰოლში იხსნება. ჰიდროლიზს უფრო ადვილად განიცდის, ვიდრე ლეციტინი; მაგრამ სრული ჰიდროლიზის წარმოება უფრო მეტ დროს მოითხოვს.

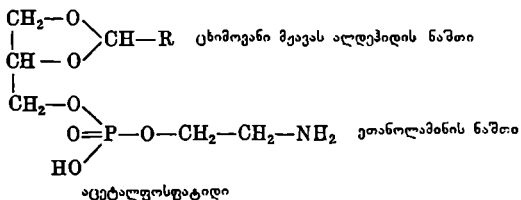
ჰაერზე კეთალინი, ისე როგორც საზოგადოდ ყოველი ფოსფატიდი, ადვილად გარდაიქმნება და იუნაგება; ამისათვის მისი შენახვა ჰაერით განსაკუთრებულ პირობებში — ბნელ ადგილას და უჰაეროდ.

კეთალინების ჭკუფს წინათ აკუთვნებდნენ აგრეთვე ფოსფატიდილ-სერინს, რომლის აზოტოვანი ფუძე ამინოჰეავა სერინია. ამის გამო ეს ფოსფოლიპიდი შეავას თვისებების მატარებელია.



§ 9. აცეტალფოსფატიდები (ალაზალუმენები)

აცეტალფოსფატიდები ანუ პლაზმოლოგენები წარმოადგენენ ლეციტინისა და კეთალინების ანალოგებს. განსხვავება იმით არის გამოწვეული, რომ აცეტალფოსფატიდებში ორი ცხიმოვანი შეავას ნაცვლად კავშირდება ერთი ცხიმოვანი შეავას ალდეჰიდი. აცეტალფოსფატიდის შენება ასეთი უნდა იყოს:



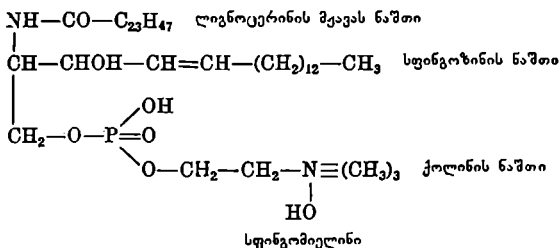
გავრცელება აქვს ისეთ აცეტალ-ფოსფატიდებს, სადაც მოლეკულის შენებაში მონაწილეობას დებულობს არა ერთი ცხიმოვანი შეავას ერთი ალდეჰიდი, არამედ ალდეჰიდის ორი ნაშთი.

აცეტალფოსფატიდები მეტი რაოდენობით გვხვდება ცხოველთა მოზარდ ქსოვილებში. ისინი ლაბილურ ნაერთებს წარმოადგენენ და გარდაქმნას ადვილად განიცდიან.

§ 10. სერინფოსფატიდები

სერინფოსფატიდები აღმოჩენილია ნერვულ ქსოვილში. ლეციტინისა და კეთალინისაგან იმით განსხვავდებიან, რომ აზოტოვანი ფუძის როლს აქ ამინოჰეავა სერინი ასრულებს. უნდა ვიფიქროთ, რომ ფოსფატიდების ამ სამ

სფინგოზინი არანაჭერ ამინოგლიკოლს წარმოადგენს. ცხიმოვანი მჟავებიდან სფინგომიელებში ნაპოვნია ნაჭერი სტეარინისა და ლიგნოცერინის მჟავა. ჰიდროლიზის პროდუქტების შესწავლა საშუალებას იძლევა სფინგო-პიელების მოლეკულის შენება შემდეგნაირად წარმოვიდგინოთ:



სფინგომიელინის შენებისათვის დამახასიათებელია ის გარემოება, რომ ცხიმოვანი მჟავა პეპტიდური ბმით დაკავშირებულია ამინთან და არა ჰიდროქსილთან, როგორც ამას დანარჩენ ფოსფატიდებში აქვს ადგილი.

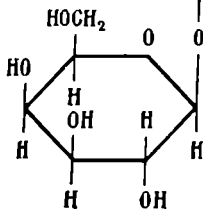
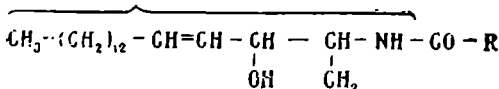
სფინგოზინი სფინგომიელინის მოლეკულაში, ერთი მხრივ, დაკავშირებულია ფოსფორის მჟავასთან და, მეორე მხრივ, ცხიმოვან მჟავასთან. ფოსფორის მჟავა კი დაკავშირებულია როგორც სფინგოზინთან, ისე ქოლინთან. გლიცერინი სფინგომიელებში წარმოდგენილი არ არის.

სფინგომიელები თავისი თვისებებით ემსგავსება ფოსფატიდებს და ცერებროზიდებს; ის თეთრი კრისტალური ნივთიერებაა, იხსნება ცივ ალკოჰოლში და არ იხსნება აცეტონში და ეთერში.

§ 18. ცერებროზიდები (სფინგოზინო-ჰეპაროგლუკოზიდები)

ცერებროზიდები გამოყოფილია აგრეთვე ტვინის ნივთიერებიდან. ტვინის გარდა, ეს ნაერთი მცირე ოდენობით წარმოდგენილია ცხოველთა სხვა უჯრედებშიც და იშვიათად მცენარეულობაში (სოკოებში). ცერებროზიდებისათვის დამახასიათებელია ის გარემოება, რომ მათ მოლეკულაში გლიცერინის ნაცვლად წარმოდგენილია ჰექსოზა, რაც უფლებას იძლევა ცერებროზიდები მივაკუთვნოთ გლუკოზიდებს (ჰეტერო-გლუკოზიდებს). ფოსფორის მჟავა ცერებროზიდების შენებაში მონაწილეობას არ ღებულობს.

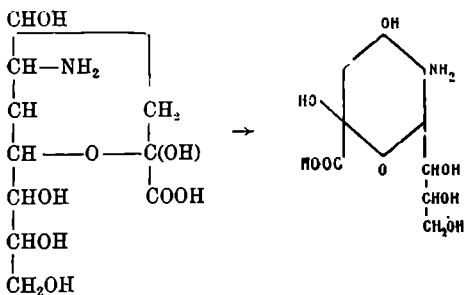
ცერებროზიდებიდან ამჟამად უკეთაა შესწავლილი ცერებრონი და კერაზინი, რომლებიც ერთიმეორისაგან ცხიმოვანი მჟავებით განსხვავდებიან. ჰიდროლიზის დროს მიიღება სფინგოზინი, გალაქტოზა და ცხიმოვანი მჟავა-ცერებრინის შენებაში მონაწილეობას ღებულობს ცერებრინის მჟავა და კერაზინში — ლიგნოცერინის მჟავა.



გალაქტოზა

როგორც მოტანილი ფორმულებიდან ჩანს, ცერებრინი დიდად არ განაზღვრება კერაზინისგან. ისინი ერთნაირი ფიზიკური და ქიმიური თვისებებით ხასიათდებიან. იხსნებიან ეთერში და ცივ ალკოჰოლში, აცეტონში და ბენზოლში. ტვინიდან გამოყოფილია აგრეთვე მრავალი სხვა მჟავასი ნაერთი, რომელთა დაწვრილებითაა შესწავლამ მკვლევარები იმ დასკვნამდე მიიყვანა, რომ ეს ნივთიერებანი უმეტეს შემთხვევაში წარმოადგენენ არა ქიმიურ ინდივიდუუმებს, არამედ ნარევეს. მაგალითად, პროტაგონი, რომლის სტრუქტურის დადგენაზე დიდი შრომა დაიხარჯა, წარმოადგენს სფინგომიელინის მიწარევეს ცერებროზიდთან.

ცერებროზიდები თავის ტვინში მონაწილეობას ღებულობენ მაღალმოლეკულური ნაერთების განგლიოზიდებისა და სტრანდინის შენებაში. ცერებროზიდების გარდა ამ რთული ნაერთების შენებისათვის დამახასიათებელია ნეირამინის მჟავა.



ნეირამინის მჟავა

ნეირამინის მჟავა წარმოადგენს მანოზამინის და პიროყურძნის მჟავას კონდენსაციის პროდუქტს.

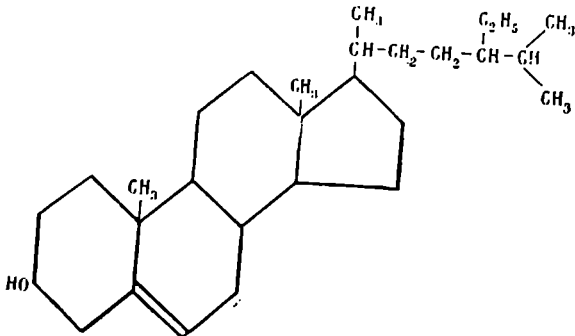
სტერიდები და ცერიდები წარმოადგენენ მაღალმოლეკულური სპირტების ესთერებს მაღალმოლეკულურ ცხიმოვან შეყვებთან. ეს ნაერთები ბუნებაში გავრცელებულია არა მარტო ესთერების, არამედ თავისუფალი სპირტების — სტერინების (სტეროლების) სახითაც. ისინი ყოველთვის თან ახლავს დანარჩენ ლიპიდებს. ფიზიკური და ზოგიერთი ქიმიური თვისებებით მსგავსებას იჩენენ დანარჩენ ლიპიდებთან, მაგრამ შენების მხრივ უკვე განსხვავდებიან ცხიმებისა და ფოსფატიდებისაგან. სპირტი სტეროლი წარმოადგენს რთული შენების მქონე, ციკლური ბირთვისაგან აშენებულ ნაერთს.

სტეროლების დანარჩენი ლიპიდებისაგან გამოცალკეებისათვის საჭიროა უქანასკნელის გასაპენა მწვავე ტუტის სპირტის ხსნარის საშუალებით. ქაღალღიზატს ემატება ეთერი და შემდეგ წყალი; ეთერში გადადის სტეროლები, ხოლო წყალი შეიცავს საპენებს. სუფთა პრეპარატების მისაღებად სტეროლების ესთერიფიკაცია და ფრაქციულ გამოხდას მიმართავენ.

თითქმის ყველა სტეროლი ქმნის ისეთ სისტემას, რომელიც აშენებულია ოთხი ბირთვისაგან. ბირთვებს შორის აუცილებლად არანაჯერიც არის. ამიტომ სტეროლები წარმოადგენს არომატულ, არანაჯერ, ერთატომიან სპირტებს. ყველა სტეროლის ქიმიური შენება ჯერ კიდევ ბოლომდე არ არის შესწავლილი. განსაკუთრებით ეს ითქმის მცენარეულ სტეროლებზე. მაგრამ ის, რაც დღესდღეობით მოპოვებულია, საშუალებას იძლევა ნათელი წარმოდგენა ვიქონიოთ მათ ურთიერთ ქიმიურ კავშირზე. საჭიროა აღინიშნოს, რომ სტეროლების გარდაქმნების შედეგად წარმოიშობა, ფიზიოლოგიური თვალსაზრისით, ისეთი აქტიური ნივთიერებები, როგორიც არის ვიტამინი D, სექსუალური ჰორმონები და კორტიკოსტერიდები.

მცენარეული სტეროლები შედარებით დიდი რაოდენობით მოპოვება მცენარეულ თესლში. სიბნელეში გაღვივებისას მათი რაოდენობა მატულობს. შედარებით კარგად არის შესწავლილი Physostigma-ს თესლიდან მიღებული სტეროლი — სტიგმასტეროლი, სოკოებიდან (მათრობელა) გამოყოფილია ერგოსტეროლი. უქანასკნელი ყოველთვის თან ახლავს ქოლესტეროლს ცხოველთა უჯრედში.

მცენარეულში გავრცელება აქვს აგრეთვე სიტოსტეროლს, რომელიც თაიისი შენებით ქოლესტეროლისაგან დიდად არ განსხვავდება.

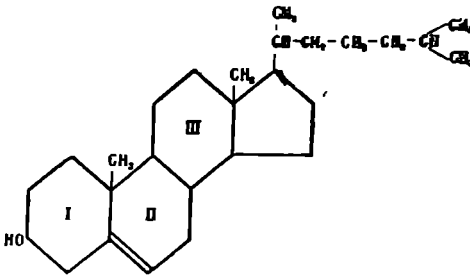


სტიგოსტეროლი

სტეროლებიდან ყველაზე უკეთ შესწავლილია ქოლესტერინი (ქოლესტეროლი). ეს ნაერთი მოიპოვება ცხოველთა ყოველ უჯრედში. ქოლესტეროლით განსაკუთრებით მდიდარია ტვინი, შემდეგ სისხლი, თირკმელები, ნაღვლის ქვები და სხვ. საინტერესოა აღინიშნოს, რომ იზო-ქოლესტეროლით მდიდარია ცხვრის ცხიმ-ოფლი, საიდანაც მზადდება ლანოლინი.

ქოლესტეროლი წარმოადგენს თეთრ კრისტალურ ნივთიერებას, რომელიც წყალში არ იხსნება. კარგად იხსნება ორგანულ გამხსნელებში. იხსნება აგრეთვე ცივ ალკოჰოლში, უკეთესად—გათბობისას. ეს ნაერთი ქიმიურ გარჯაქმნებს ადვილად არ ჯანცილს, მაგრამ ჰაერზე და სინათლეზე ფერსა და ლღობის ტექპერატურას იცვლის. ამასთანავე იცვლება ქიმიური თვისებებიც. ქოლესტეროლების ესაერები (სტერიდები) ჰიდროლიზურ დაშლას გაცილებით უფრო ძნელად განიცდიან, ვიდრე დანარჩენი ლიბიდები.

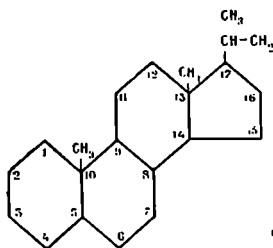
ქოლესტეროლის ქიმიური შენების დადგენისათვის მრავალი გამოკვლევა ჩატარებული. ამ მხრივ განსაკუთრებით დიდი ღვაწლი მიუძღვის ვინდელს. მის მიერ დამტკიცებულია ქოლესტერინის შემდეგი შენება:



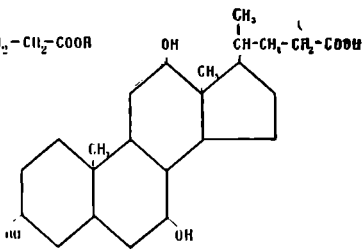
ქოლესტეროლი $C_{27}H_{46}O$

როგორც ზემოთ მოტანილი ფორმულიდან ჩანს, ქოლესტეროლი წარმოადგენს უმადლეს სპირტს ერთი არანაჯერი კავშირით. მისი სამი ბირთვი (I, II და III) წარმოადგენს ჰიდრირებულ ფენანტრენს. გვერდითი ჯაჭვი შეიცავს იზოპროპილის ნაშთებს. აღდგენისას ქოლესტერინში ისპობა არანაჯერი კავშირი, ის იერთებს ორ წყალბადს და გადადის ნაჯერ სპირტში — კოპროსტეროლში — $C_{27}H_{47}OH$. კოპროსტეროლი ნაპოვნია განავლის შემადგენლობაში.

ქოლესტეროლის ფორმულის დადგენა შესაძლებელი გახდა, როდესაც გაირკვა ქოლანის მეყავს ($C_{26}H_{44}COOH$) შენება. ეს ნაერთი განსხვავდება ქოლესტერინისაგან 3 ნახშირბადის ატომით; ის არ შეიცავს ორმაგ კავშირებს და გვერდითი ჯაჭვი შემოკლებული აქვს.



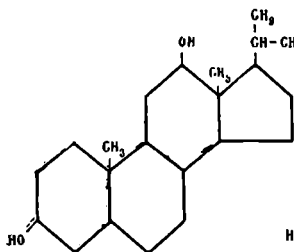
ქოლანის მჟავა



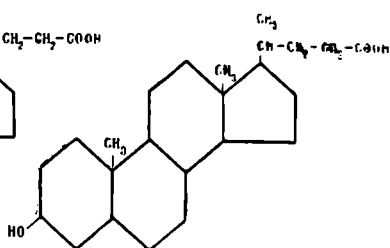
ქოლის მჟავა ანუ ტრიოქსიქოლანის მჟავა

ქოლანის მჟავასთან ახლო დგას ქოლის მჟავა. უკანასკნელი წარმოადგენს ქოლანის მჟავას, სადაც ჩანაცვლებულია სამი ჰიდროქსილის ჯგუფი. ქოლის მჟავა მოიპოვება ნალველში, სადაც ის წყვილდება, ან გლიკოქოლთან, ან ტაურინთან და წარმოშობს გლიკოქოლისა და ტაუროქოლის მჟავას.

ქოლის მჟავა წარმოადგენს 3,7,12 — ტრიოქსიქოლანის მჟავას. გარდა ქოლის მჟავასი ნალვლიდან გამოყოფილია აგრეთვე დეზოქსიქოლის მჟავა: ლიტოქოლის მჟავა.



დეზოქსიქოლის მჟავა



ლიტოქოლის მჟავა

საკვერცხები	0,2—1,1
ნალველი	0,06—0,16
ხარის სისხლი	0,19
ქონი ღორისა და ძროხის	0,10—0,32

ნალვლის მჟავების გენეზისი ქოლესტეროლისაგან ეპვს გარეშეა. ქოლის მჟავების სტრუქტურის გარკვევა ქოლესტეროლის ქიმიური შენების გამოცნობას ღიდი სამსახური გაუწია. ორგანიზმში ქოლის მჟავების დანიშნულება იმაში გამოიხატება, რომ ის ცხიმის მონელებას ხელს უწყობს და ფერმენტების ცხიმებზე მოქმედებას ააქტივებს. მათ უნარი აქვთ ცხიმმჟავები შეიერთონ და ისინი ხსნად ფორმაში გადაიყვანონ. იმავე როლს ასრულებენ ქოლის მჟავები, ანუ უკეთ რომ ვთქვათ, ტაუროქოლისა და გლიკოქოლის მჟავა, პროვიტამინ A-ს მიმართ. პროვიტამინი A (β-კაროტინი) თავისთავად წყალში ხსნადი ან არის. ის შეიწოვება ნაწლავების მიერ ქოლის მჟავების დახმარებით. ქოლის მჟავების ასეთ გავლენას ხსნიან იმით, რომ ისინი წყლის ზედაპირულ დაქიმულობას მნიშვნელოვნად ამცირებენ.

ტერიდები, ქიმიური განმარტებით, წარმოადგენენ სტერიდების მსგავს ნაერთებს, ე. ი. ესთერებს, რომელთა შენებაში მონაწილეობას ღებულობს ცხიმოვანი მჟავა და ერთატომიანი სპირტი — ცეროლი. უმეტეს შემთხვევაში სპირტი ღია ჯაჭვის მქონე ნაერთია. მცენარეული ცელი საფარ ქსოვილებში გროვდება და ცხიმების, მჟავების, ცეროლებისა და ნახშირწყალბადების ნარევის წარმოადგენს. ამისათვის ის ქიმიური ინდივიდუუმი არ არის.

უკეთ არის შესწავლილი ფუტკრის ცელი, რომელიც უმთავრესად ტერიდებისაგანაა აშენებული. ამ ცელის ტერიდების შენებაში მონაწილეობას ღებულობს მჟავები: პალმიტინის— $C_{15}H_{31}COOH$, ცეროტინის— $C_{26}H_{53}COOH$ და მელისინის $C_{30}H_{61}COOH$; ალკოპოლებიდან — ცერილის $C_{27}H_{55}OH$ და მირიცილის $C_{30}H_{61}OH$.

ტერიდების ჯგუფს უნდა მიეკუთვნოს აგრეთვე ვეშაპების (კაშალტების) სპერმაცეტი. ეს ნივთიერება მოიპოვება ვეშაპების თავის ქალაში დიდი რაოდენობით. ჰიდროლიზური დაშლისას იძლევა პალმიტინის მჟავას ($C_{15}H_{31}COOH$) და ცეტლის სპირტს ($C_{16}H_{33}OH$).

თ ა ვ ი მ ე ო თ ხ ე

ლიპიდების გარდაქმნები ორგანიზმში

§ 1. ცხიმების ფიზიოლოგიური დანიშნულება

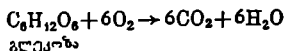
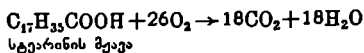
ორგანიზმში მიმდინარე სასიცოცხლო პროცესების შესრულებისათვის საჭიროა ენერგიის განსაზღვრული რაოდენობა. ორგანიზმში ამ ენერგიას სხვადასხვა საკვები ნივთიერების პოტენციური ენერგიის გარდაქმნით პოულობს. მაგალითად, მოზრდილი ადამიანი რვა საათის ფიზიკური მუშაობის დროს ხაზაჯავს 2500—5000 დიდ კალორიას, რაც მან საკვებ ნივთიერებათა პოტენციური ენერგიისაგან უნდა აინაზღაუროს.

საკვების შემადგენელი კომპონენტების კალორიანობის შედარება უპირატესობას ცხიმს ანიჭებს, როგორც ეს ქვემოთ მოტანილი რიცხვებიდან ჩანს:

1 კილო ნახშირწყლების სრული დაწვისას გამოიყოფა —	4.180 დიდი კალორია
1 კილო ცილოვანი ნივთიერების	" — 4.100 " "
1 კილო ცხიმოვანი ნივთიერების	" — 9.500 " "

ცხიმის დიდი კალორიანობა განმარტავს მის, როგორც სათადარიგო ნივთიერების როლს. ცხიმში გროვდება ორგანიზმში ზედმეტი კვების დროს და იხარჯება წიშნილობისას. მცენარეულ თესლში, როდესაც მასში მცენარის აღმოცენების პროცესი იწყება, ე. ი. ნივთიერებათა ენერგიული ცვლა წარმოებს, პირველ ყოვლისა, ცხიმში იხარჯება.

ცხიმს უფრო მეტი კალორიანობა, ვიდრე, მაგალითად ნახშირწყლებისა, გამოიწვევს განტოლებებიდან:



ცხიმოვანი მჟავა თავისთავად უფრო ნაკლებად დაქანგული ნაერთია, ვიდრე ნახშირწყალი; ამიტომ მისი დაქანგვისათვის საჭიროა მეტი ქანგბადი.

ამას დაემატება, თუ რომელი ნაერთი განიცდის დაქანგვას ორგანიზმში, შედეგობა ვინაიდან მოხმარებული ქანგბადის შეფარდებით გამოყოფილ ნახშირობრომთან. ამ შეფარდებას სუნთქვის კოეფიციენტი ეწოდება. გამოკვლეულია, რომ ცხიმის ორგანიზმში დაწვისას მოხმარებული ქანგბადის ერთი მოლეკლა თავისთავად 4,7 დიდ კალორიას, ხოლო ნახშირწყლებისა და ცილების დაწვისას შეესატყვისად — 5,05 და 4,5 დიდ კალორიას.

მშენებელი მცენარეულ ორგანიზმში ნახშირწყლები და ცილა უშუალოდ მონერალური ნაერთებიდან შენდება. ნახშირწყალი წარმოიშობა ჰაერის ნახშირბევა გაზისაგან და წყლისაგან, ხოლო ცილა კი ნიადაგში მყოფი ამონიაკისა და ნიტრატების მარილების შემწეობით. ამიტომ ცილა და ნახშირწყალი სინთეზის პირველადი მასალაა. რაც შეეხება ცხიმს. ის უმთავრესად ნახშირწყლების გარდაქმნის პროდუქტია და ამიტომ ის მეორადი მასალია საბელწოდებას ატარებს; ცილებისაგან ცხიმის წარმოშობა კი მხოლოდ ზოგიერთ შემთხვევაში წარმოებს და ცხიმის დაგროვებაში დიდ როლს არ ასრულებს.

მცენარეული ცხიმის მთავარ ზა, შესაძლებელია, ერთადერთ წყაროს ნახშირწყლები წარმოადგენენ. რთული ქიმიური რეაქციების წყალობით, რომელთა მსვლელობა ორგანიზმში სხვადასხვა ფერმენტზე დამოკიდებული ნახშირწყალი გარდაიქმნება ცხიმში. ეს პროცესი კარგად არის შესწავლილი ზეთოვანი მცენარეების თესვში, სადაც სათადარიგო ცხიმი გროვდება. ნაყოფის დამწიფების პროცესში ნახშირწყლების ცხიმებით თანდათანობით შეცვლა წარმოებს. ნახშირწყლების რაოდენობა კლებულობს, სამაგიეროდ მატულობს ცხიმი, რომელიც დამწიფების დამთავრებისას მაქსიმუმს აღწევს.

ცხიმის შესაქმნელად ნახშირწყლის გარდაქმნა ორი მიმართულებით უნდა წავიდეს: 1) გლიცერინისა და 2) ცხიმოვანი მჟავას წარმოშობის გზით. უკრდში გლიცერინს შექმნა ნახშირწყლებიდან. როგორც ამას ქვემოთ დავინახავთ, ადვილი წარმოადგენია: ხოლო რაც შეეხება ცხიმოვანი მჟავას სინთეზს, ეს უფრო რთულ პროცესს უნდა წარმოადგენდეს. მაღალმოლეკულური ცხიმოვანი მჟავას შექმნა მარტივცხიმოვანი მჟავების გართულების შედეგი უნდა იყოს.

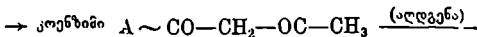
რადიკტიური ინდიკაციის მეთოდით დამტკიცდა, რომ ამ მიზნისათვის მძარმევა გამოიყენება. ცხოველს ეძლეოდა მძარმევა, რომლის მეთილის ჭკუთი შეიცავდა ნახშირბადის იზოტოპს — C^{13} , რომელიც შემდეგ აღმოჩენილი იქნა ცხიმოვან მჟავებში.

უქანსაკნელ დრომდე გაურკვეველი რჩებოდა, თუ რა გზით წარმოებს მარტივი მჟავებიდან მაღალმოლეკულური ცხიმოვანი მჟავას სინთეზი. საკითხი სპეციფიკური კოფერმენტის აღმოჩენის შემდეგ გადაიჭრა. ეს კოფერმენტი კოენზიმ A-ს წარმოადგენს. შემდეგში ჩვენ დაწვრილებით განვიხილავთ კოენზიმ A-ს შენებასა და მის ფუნქციას. აქ საყმარისია აღინიშნოს ის გარემოება, რომ კოენზიმი A შეიცავს აულფჰიდრილის ჭკუფს, რომლის საშუალებით ცხიმოვანი მჟავას კარბოქსილის ჭკუფის დაკავშირება ხერხდება. ასეთი დაკავშირების შედეგად ცხიმოვან მჟავას ქიმიური გარდაქმნის მეტი უნარი ენიჭება.

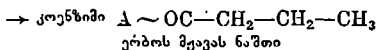
ნახშირწყლების გარდაქმნის შუალედი პროდუქტი, რომლითაც იწყება ცხიმოვანი მჟავას სინთეზი, არის მძარმევა. კოენზიმი A იკავშირება მძარმევას და იქმნება კოენზიმ A-აცეტილი:



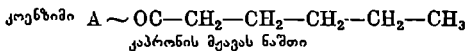
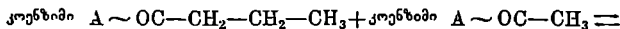
ამ სქემაში დიდი ენერჯის მქონე კავშირი აღნიშნულია ნიშნით \sim . სინთეზის შემდეგ ეტაპზე კოენზიმ A-აცეტილის ორი მოლეკულა კავშირდება და წარმოიშობა აცეტომძარმევა, რომლის ფერმენტული აღდგენა იძლევა ერბოს მჟავას:



აცეტომძარმევა

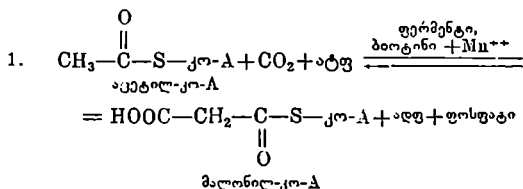


შემდეგში კონზიმი A ~ ერბოს მჟავა იკავშირებს კიდევ კონზიმ A ~ ძმარმჟავას და კონდენსაციის პროდუქტის აღდგენის შედეგად წარმოიშობა კონზიმი A ~ კაპრონის მჟავა.



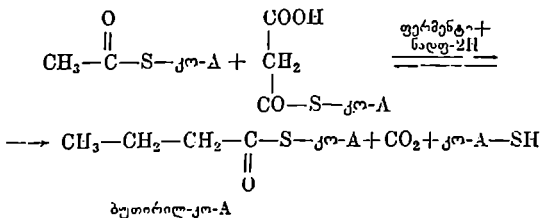
ამგვარად, ცხიმოვანი მჟავას სინთეზი დაკავშირებულია ძმარმჟავას ნაშთებსა კონდენსაციასთან. ეს არის მიზეზი იმ მოვლენის, რომ ბუნებრივი ცხიმოვანი მჟავები წყვილი ნახშირბადის ატომებს შეიცავს. საბოლოოდ კონზიმი A ~ ცხიმოვან მჟავა გლიცერინთან კავშირდება და სინთეზი გლიცერიდების წარმოშობით მთავრდება.

უკანასკნელ დროს მიღებული მონაცემების მიხედვით ცხიმოვანი მჟავას სინთეზისათვის კონზიმი A-ს გარდა საჭიროა შემდეგი კოფაქტორები: ადენოზინტრიფოსფატი (ატფ), CO₂, Mn⁺⁺, აღდგენილი ნიკოტინამიდ-ადენილ-დინუკლეოტიდ-ფოსფატი (ნადფ 2H) და ბიოტინი. რეაქცია ორ ეტაპად: მიმდინარეობს:



პირველ ეტაპზე ფერმენტი აქტილკარბოქსილაზა, რომლის კოფაქტორია ვიტამინი ბიოტინი და Mn⁺⁺, ააქტივებს CO₂-ის ჩართვას აქტილ-კო-A-ში, რის შედეგად იქმნება მალონილ-კო-A.

2. მეორე ეტაპზე წარმოებს მალონილ-კო-A კონდენსაცია აქტილ-კო-A-სთან, კოფაქტორის როლს ასრულებს აღდგენილი ნადფ. ერთდროულად მიმდინარეობს CO₂-ის გამოყოფა მალონილ-კო-A-დან ისე, რომ საერთო წაშლილი CO₂ არ ფიქსირდება სინთეზირებულ ცხიმოვან მჟავაში.



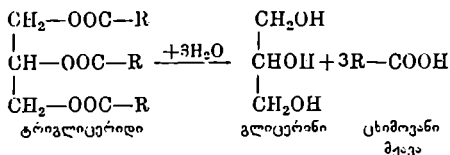
დაგროვილ ცხიმს მცენარის თესლი ან ნაყოფი ხარჯავს გალიცების დროს; აქ უკვე ეს პროცესი პირუკუ მიმდინარეობს. ცხიმი ლიპაზის ზემოქმედებით: ჯერ ჰიდროლიზურად დაიშლება, შემდეგ გლიცერინი და ცხიმოვანი მჟავა ან ისევე ნახშირწყლებში გარდაიქმნება, ან წვის პროცესებს მოხმარდება.

ცხოველს, ისე როგორც მცენარის ორგანიზმს, უნარი აქვს წარმოშვას ცხიმი ნახშირწყლებისაგან და ცილებისაგან. მრავალი ცლით დამტკიცებულია, რომ ცხოველს, როდესაც ის ისეთი რაციონით იკვებებოდა. სადაც ცხიმი წინასწარ მოშორებული იყო, ცხიმი მაინც უგროვდებოდა.

საკვები ცხიმის მოხელეობა, მისი ქიმიური დამუშავება ნაწლავებიდან იწყება. პირველ ყოვლისა, ცხიმი ღებულობს ემულსიის სახეს, რაც ცხიმზე ლიპაზის მოქმედებას აადვილებს. ლიპაზა მოიპოვება პანკრეასის წვენში, რომელიც წვრილ ნაწლავებში გადმოედინება. ლიპაზა ნაპოვნია აგრეთვე ნაწლავების წვენშიც; ის თავისი მოქმედებით პანკრეასის ლიპაზისაგან არ განსხვავდება.

წვრილ ნაწლავებში გადმოღის აგრეთვე ნაღველი, რომლის შემადგენლობაში მონაწილეობას ღებულობს ნაღვლის მჟავები.

ნაღვლის მჟავები (ტაუროქოლის, გლიკოქოლის, გლიკოდუზოქსიქოლის, ტაუროდუზოქსიქოლისა და სხვა მჟავები) ნაღველში წარმოდგენილია ტუტე მარილების სახით. ნაღვლის მჟავების მარილთა დანიშნულება იმაში გამოიხატება, რომ ისინი ზედაპირულად აქტიურ ნივთიერებათა ჭკუფს ეკუთვნიან და ხელს უწყობენ ცხიმების ემულგირებას. მეორე მხრივ, ისინი წარმოადგენენ ლიპაზის აქტივატორებს. გააქტივებული ლიპაზა შლის ცხიმს შემადგენელ კომპონენტებად:



მაშასადამე, ცხიმების შეთვისების აუცილებელ პირობას წარმოადგენს წინასწარ მათი ჰიდროლიზური დაშლა. გლიცერინი წყალში ხსნადია და მისი შეწოვა ნაწლავების მიერ ადვილი წარმოსადგენია; ხოლო, რაც შეეხება ცხიმოვან მჟავებს, მათი ნაწლავების კედლებში გასვლა გაადვილებულია, პირველ ყოვლისა, იმ გარემოებით, რომ ისინი უკვე მარილების სახითაა წარმოდგენილი. გარდა ამისა, ნაღველს ის დიდი მნიშვნელობა ენიჭება, რომ მისი გავლენით ცხიმოვანი მჟავების მარილების ხსნადობა მატულობს, რაც შეწოვის პროცესს აადვილებს.

შეთვისებული ცხიმი ნაწლავების კედლებიდან სისხლში და ლიმფაში გადადის. ლიმფაში უკვე პოულობენ არა ცხიმოვან მჟავებს, არამედ სრულ ტრიგლიცერიდებს (ე. ი. ნეიტრალურ ცხიმს).

ამ პროცესში დიდი როლი ენიჭება ფოსფატიდებს. როგორც ირკვევა, ნაწლავის კედლებში ადგილი აქვს ცხიმოვანი მჟავას ჩართვას ფოსფატიდში და ამ ნაერთის წარმოშობის გზით აქტივდება ცხიმის გადატანა ლიმფაში.

შეთვისებული ცხიმი ცხოველის სპეციალურ საწყობებში გროვდება სათადარიგო ცხიმის სახით. სათადარიგო ცხიმის შენებაზე და მათ თვისებებზე, როგორც ეს ზემოთ იყო ნახსენები, დიდი გავლენა აქვს მიღებული ცხიმის ქიმიურ თვისებებს. თუ საკვებში ცხიმი მღიღარია არანაჯერი მჟავებით, მაშინ ცხოველის ორგანიზმში დაგროვილი ცხიმი ლღობის დაბალი ტემპერატურის მქონეა.

ცხიმით კვებისას არასდროს ადგილი არა აქვს ისეთ მდგომარეობას, რომ

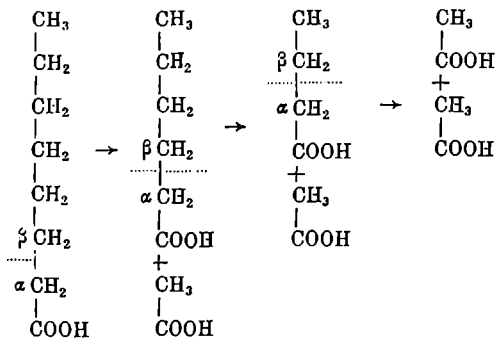
მთელი მიღებული ცხიმი ცხოველმა შეითვისოს. ცხიმის ნაწილი მოუნელებული რჩება და განავალში გადადის. ცხიმის მონელების ხარისხი, სხვათა შორის, დამოკიდებულია აგრეთვე ცხიმის ლლობის ტემპერატურაზე. ცხიმი მით უფრო კარგად მონელება, რაც უფრო უახლოვდება მისი ლლობის ტემპერატურა ცხოველს ტემპერატურას. ის ცხიმი, რომელიც ემულსიაში ადვილად გადადის, უფრო ადვილად მონელება, რადგან ლიპაზას მოქმედებისათვის უკეთესი პარობები იქმნება. ცხიმის ემულგირების უნარიანობა დამოკიდებულია არა მარტო ცხიმის ლლობის ტემპერატურაზე, არამედ მის შემადგენლობაში მონაწილე ტრიგლიცერიდების შენებაზე და აგრეთვე იმ კომპონენტებზე, რომლებიც საკვებში ცხიმთან ერთადაა წარმოდგენილი.

§ 4. ცხიმოვან ნივთიერებათა გარდაქმნა უჯრედში

როგორც ნახსენები იყო, უჯრედის ცხიმის სპეციფიკურობა იმაში გამიჩნდება, რომ ის, სათანადო ცხიმთან შედარებით, წარმოადგენს ლაბილურ, რეაქციის მეტი უნარის მქონე ნერთს. ცხიმის, როგორც ენერგეტიკული მასალის, გარდაქმნის უკანასკნელი პროდუქტებია ნახშირორჟანგი და წყალი. დაჯანგვის ეს პროდუქტები რთული ქიმიური რეაქციების შედეგად წარმოიშობა, რომლის მექანიზმის გაგება არის ბიოქიმიის მნიშვნელოვანი ამოცანა. ლეიძლი წარმოადგენს იმ ორგანოს, სადაც ცხიმი ინტენსიურ გარდაქმნას განიცდის.

ცხიმის დაშლის პირველი ეტაპი გამოიხატება მის ჰიდროლიზურ დაშლაში უჯრედის ლიპაზის შემწეობით. ლიპაზის მოქმედების შედეგად განთავისუფლებული გლიცერინი იმგვარ გარდაქმნებს განიცდის, რაც ნახშირწყლებისათვისაა დამახასიათებელი.

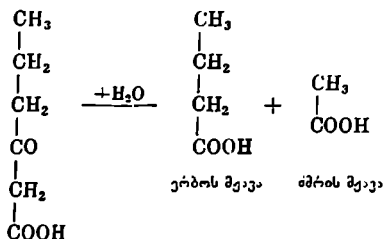
ცხიმოვანი მჟავა, რომელიც ცხიმის ჰიდროლიზური დაშლის დროს წარმოიშობა, თუკი ის ნაჯერი ცხიმოვანი მჟავების ჯგუფს ეკუთვნის, ისეთ ნერთს წარმოადგენს, რომლის ჯაჭვი ქიმიური გამძლეობით ხასიათდება. ჯაჭვის დასუსტება იმ მიმართულებით წარმოებს, რომ ჯაჭვში არანაჯერი კავშირები იქმნება; ამ პროცესს თან სდევს ცხიმოვანი მჟავას ჯაჭვის შემოკლება. ჯაჭვის შემოკლება ყოველთვის ორი ნახშირბად-ატომის ჩამოცილებით წარმოებს, დარჩენილი ნაშთი კი შესაფერის მჟავად იყვანება. ვინაიდან ამ შემთხვევაში ადგილი აქვს β-მდგომარეობაში მყოფი ნახშირბადის დაჯანგვას, ამ პროცესს ეწოდება ცხიმოვანი მჟავას β-დაჯანგვა. β-დაჯანგვის შედეგად ცხიმოვანი მჟავა თანდათან იყვანება და წარმოიშობა ძმარმჟავა.



ცხიმოვანი მჟავას β-დაჯანგვა

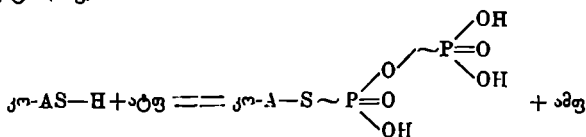
აღანიშნავია, რომ იმ ცხიმოვანი მჟავას დაენჯვისას, რომელიც აშენებულია ნახშირბადის ატომების წყვილი რიცხვისაგან შუალედი პროდუქტის სახით უნდა წარმოიშვას ერბოს მჟავა და, საბოლოოდ, ძმრის მჟავა: ხოლო ცხიმოვანი მჟავა, ნახშირბადის ატომთა კენტი რიცხვიდან აშენებული, საბოლოოდ იძლევა პიროუჟრძნის ან რომელიმე სხვა მჟავას, აშენებულს სამი ნახშირბადის ატომისაგან. ბუნებრივ ცხიმებში კი, როგორც აღნიშნული იყო, მონაწილეობას ღებულობს ცხიმოვანი მჟავები, წყვილი ნახშირბადის ატომისაგან აშენებული.

ექტომჟავა იერთებს წყალს და განიცდის პიდროლიზურ დაშლას, რის შემდეგ თავისუფლდება ძმრის მჟავა და ჯაქვი მოკლდება წყვილი ნახშირბად-ატომით:

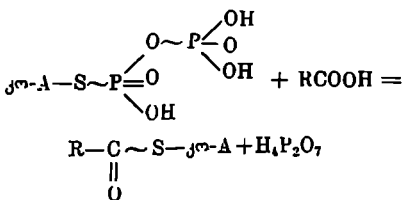


ცხიმოვანი მჟავას დეგრადაციაში დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ერთ-ერთ აქტივატორს — კოენზიმ A-ს. ცხიმოვანი მჟავას ქიმიური პოტენციალი აქტივატორთან დაკავშირების შედეგად დიდ ოდენობას აღწევს და ამიტომ მისი გარდაქმნა ადვილდება. კოენზიმი A შეიცავს სულფჰიდრილის (—SH) ჯგუფს, რომლითაც ის ცხიმოვან მჟავას ეკავშირება. რადგან დაკავშირების შედეგად წარმოიშობა დიდი ენერჯის მქონე ბმა (მაკროერგული ბმა), ამიტომ ცხიმოვან მჟავას რეაქციის უნარი ენიჭება და ის ადვილად კარგავს წყალბადს. განიცდის დეჰიდრირებას, ე. ი. დაენჯვას.

ცხიმოვანი მჟავას გააქტივებას კოენზიმ-A-თი წინ უსწრებს ეკანასკნელის ფოსფორილირება ატფ-ის საშუალებით. ამ რეაქციის შედეგად კოენზიმ-A-ში ჩინაცვლება ატფ-ს პიროფოსფატის ნაშთი და თავისუფლდება ადენოზინმონოფოსფატი (ამფ):

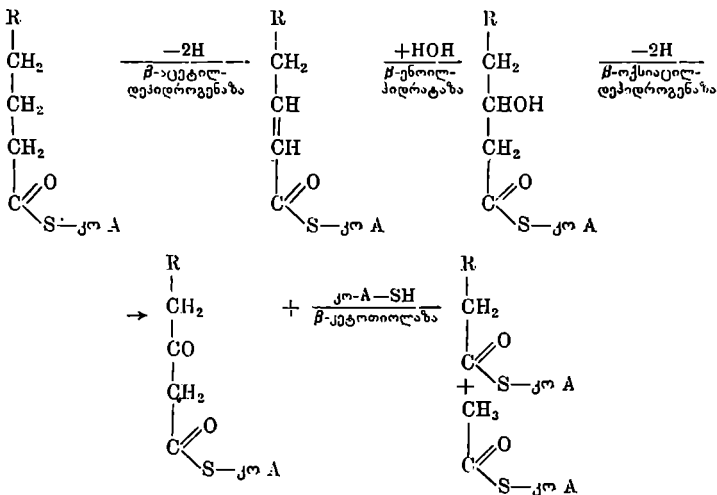


შემდეგ ეტაზე ფოსფორილირებული კო-A რეაგირებს ცხიმოვან მჟავასთან (R—COOH) და იქმნება კო-A-ს აცილ-თიონაწარმი და თავისუფლდება პიროფოსფატი



ფერმენტი, რომელიც ააქტივებს კო-A-ს დაკავშირებას ცხიმოვან მკეაესთან, ატარებს აცილ-კო-A-სინთეტაზის სახელწოდებას.

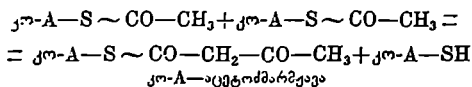
შემდეგ ეტაპზე კო-A-თი გააქტივებული ცხიმოვანი მკეაეს გარდაქმნა მიდის 4 ფერმენტის კატალიზური მოქმედებით: 1) აცილ-კოA-დეჰიდროგენაზა, რომელიც ფლავინის შემცველ ფერმენტს წარმოადგენს ააქტივებს ცხიმოვანი მკეაეს კატალიზურ დეჰიდრირებას, 2) β-ენოილკოჰირატაზა, რომლის კატალიზური მოქმედებისას არანაჯერ გააქტივებულ ცხიმოვან მკეაეს უკავშირდება წყლის მოლეკულა, 3) 3-ოქსიაცილ-კო-A-დეჰიდროგენაზა ააქტივებს ოქსამკეაეს დეჰიდრირებას და 4) აცილ-კო-A-აცეტილტრანსფერაზა ანთავისუფლებს მმარმკეაეს ნაშთს გააქტივებულ კეტომკეაესაგან კონზიმი A აცილ-ნაწარმის სახით: ზემოხსენებული შემდეგი სქემით შეიძლება გამოვხატოთ



ზემოაღნიშნულ რეაქციებში აცილ-კო-A-დეჰიდროგენაზას კოფაქტორი არის ფლავინადენინდინუკლეოტიდი (ფად, რომელიც აღდგენისას გადადის ფად.-2H-ში), ხოლო 3-ოქსიაცილ-დეჰიდროგენაზას — ნიკოტინამიდადენინდინუკლეოტიდი (ნად, რომელიც ნად-2H-ში გადადის).

ამგვარად, კონზიმი A-ში დაკავშირებული ცხიმოვანი მკეაე იძლევა კეტომკეაეს, რომელიც თავის მხრივ განიცდის თიოლიზს — დაშლას მეორე მოლეკულა კონზიმი A-ს სულფიდრილის ჯგუფის საშუალებით. რეაქციის შედეგად ცხიმოვანი მკეაეს ჯაჭვი მოკლდება, მას ჩამოშორდება ნახშირბადის წყვილი ატომი და თავისუფლდება მმრის მკეაეს ნაშთი, დაკავშირებული კონზიმი A-თან.

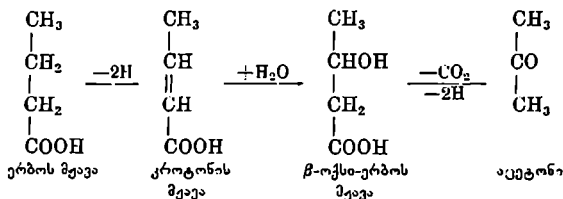
მმრის მკეაეს ნაშთი, რომელიც გააქტივებულია კონზიმი A-თი, მმრის მკეაეს მეორე მოლეკულასთან კონდენსირდება და აცეტომმარმკეაე წარმოაშობა. ამ ნაერთიდან იწყება გარდაქმნათა ის რიგი, რომელიც დამახასიათებელია ნახშირწყლებსათვის.



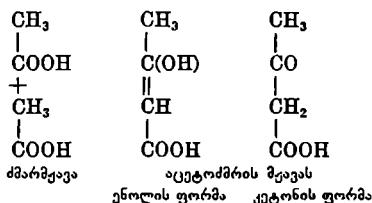
ცხიმოვანი მჟავას დაუანგვა რომ კეტო-მჟავების შუალედი პროდუქტების წარმოშობით მიმდინარეობს, მტკიცდება იმითაც, რომ ზოგიერთ პათოლოგიურ შემთხვევაში შარდში ისეთი ნაერთები გროვდება, რომელთა გენეზისი ცხიმოვან მჟავასთან ექვს არ იწვევს. კეტო-ნაერთებს დიდი რაოდენობით პოულობენ ადამიანის შარდში დიაბეტით დაავადებისას, როდესაც ორგანიზმს ნახშირწყლების მოხმარების უნარი დაქვეითებული აქვს. ამ შემთხვევაში შარდში გადადის ცხიმოვანი მჟავების არასრული დაუანგვის პროდუქტები, ვინაიდან ცხიმოვანი მჟავა ბოლომდე არ იწვის.

შარდში კეტო-და ოქსი-მჟავასთან ერთად ნაპოვია აგრეთვე აცეტონი; ნივთიერებათა ამ ჯგუფს ეწოდება აცეტონის სხეულები. მათ წარმოშობაში მონაწილეობას ლებულობს ცხიმოვანი მჟავა, წყვილი ნახშირბადის ატომებისაგან აშენებული; ეს დამტკიცებული იყო იზოლირებულ ლეიძლზე. დამამტკიცებელ საბუთს წარმოადგენს აგრეთვე ის ცდა, სადაც დიაბეტით დაავადებულს ბუნებრივი ცხიმის ნაცვლად ეძლეოდა ხელოვნური, რომელიც აშენებული იყო ისეთი ცხიმოვანი მჟავებისაგან, სადაც ნახშირბად-ატომთა რაოდენობა კენტ რიცხვს უდრიდა. ამგვარი სინთეზური ცხიმით კვებისას დიაბეტისის შარდში აცეტონის სხეულებს უკვე არ პოულობდნენ.

აცეტონის სხეულების წარმოშობა იმავე გზით უნდა მიმდინარეობდეს, როგორც ეს ჩვენ ზემოთ განვიხილეთ, სახელდობრ, დეჰიდრირების გზით.



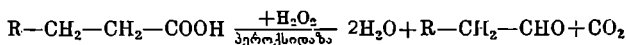
აცეტომარის მჟავა შეიძლება იმყოფებოდეს ორ ტაუტომერულ ფორმაში: ენოლისა და კეტო-ფორმაში.



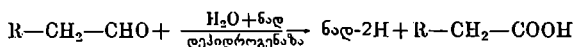
კეტო-ფორმა ადვილად გადადის აცეტონში, ენოლისა კი არა. შარდში ნაპოვია ბ-ოქსი ერბოს მჟავა, აცეტომარის მჟავა (კეტო და ენოლის ფორმა) და აცეტონი.

როგორც ირვევა, β-დაქანგვა წარმოადგენს ცხიმოვანი მჟავების გარდაქმნის მთავარ გზას. ყოველ შემთხვევაში, ნაჯერი ცხიმოვანი მჟავებისათვის. რაც შეეხება არანაჯერ ცხიმოვან მჟავებს, მათი გარდაქმნა შეიძლება ორი მიმართულებით წარიმართოს. ერთი მიმართულება ეს β-დაქანგვაა, ხოლო მეორე — პეროქსიდული დაქანგვა, როდესაც გააქტივებული ქანგბადი მიუერთდება არანაჯერი კავშირის ადგილზე. უკანასკნელ დროს აღმოჩენილია ფერმენტი ლიპოქსიდაზა, რომელიც არანაჯერი ცხიმოვანი მჟავების (ლინოლისა და ლინოლენის) დაქანგვას ააქტივებს.

ცხიმოვანი მჟავას β-დაქანგვის გარდა მცენარეთათვის დამახასიათებელია ცხიმოვანი მჟავას ჯაქვის შემოკლება α-დაქანგვის გზით. ამ რეაქციაში მონაწილეობას ღებულობს ორი ფერმენტული სისტემა. პირველი რეაქცია აქტივდება პეროქსიდაზით და მთავრდება ალდეჰიდისა და CO₂ წარმოშობით:



მეორე რეაქცია აქტივდება ალდეჰიდების დეჰიდროგენაზებით. აქ კოფერმენტის როლს ასრულებს ნად-ი.

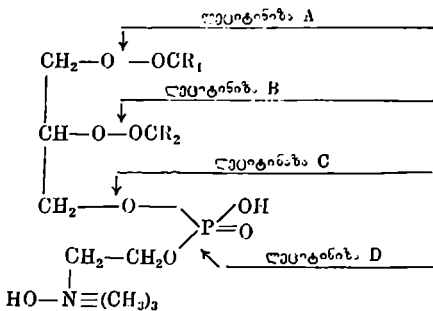


ზემოხსენებული ორი ფერმენტის კატალიზური მოქმედებით ცხიმოვანი მჟავას ჯაქვი თანდათანობით მოკლდება ერთი ნახშირბადის ჩამოცილებით.

ჯ. ფოსფატიდაზისა და სტერიდაზის გარდაქმნები

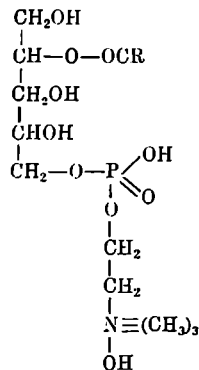
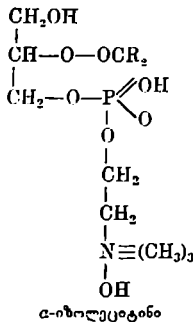
ფოსფატიდების გარდაქმნა მცენარეში ინტენსიურად წარმოებს თესლის გაღივების დროს. ფოსფოლიპაზას და მთელი რიგი სხვა ფერმენტების მონაწილეობით ფოსფატიდების რთული მოლეკულა დეგრადაციას განიცდის და სუალედი პროდუქტების სახით წარმოიშობა გლიცერინფოსფორის მჟავა და ფოსფორილირებული ქოლინი ან ეთანოლამინი. ჰიდროლიზური დაშლის საბოლოო პროდუქტები — გლიცერინი, ცხიმოვანი მჟავები, ფოსფორის მჟავა და აზოტოვანი ფუძე—შემდეგში მონაწილეობას ღებულობენ ნივთიერებათა სხვაგვარ ცვლაში.

არჩვენ ოთხი სახის ფოსფოლიპაზას: 1) ფოსფოლიპაზა A ააქტივებს პირველი ცხიმოვანი მჟავას ჩამოცილებას, რის შედეგად მიიღება α-ლიზოფოსფატიდი, 2) ფოსფოლიპაზა B ანთავისუფლებს მეორე ცხიმოვანი მჟავას α-ლიზოფოსფატიდისაგან გლიცერილფოსფორილქოლინს, 3) ფოსფოლიპაზა C მოქმედებს იმ ბმაზე, რომლითაც დიგლიცერიდი დაკავშირებულია ფოსფორის მჟავასთან. რეაქციის შედეგად მიიღება, ერთი მხრივ, დიგლიცერიდი, და მეორე მხრივ ფოსფორილირებული აზოტოვანი ფუძე და 4) ფოსფოლიპაზა D მოქმედებს იმ ბმაზე, რომლითაც ფოსფორის მჟავა დაკავშირებულია აზოტოვან ფუძესთან. შედეგად თავისუფლდება აზოტოვანი ფუძე და ფოსფატიდის მჟავა. ზემოხსენებული ფერმენტების მოქმედება მოცემულია ქვემოთ სქემის სახით ლეციტინის მოლეკულის დაშლის მაგალითზე:

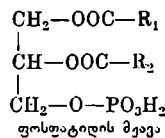
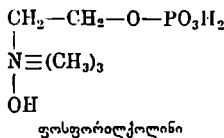


ლეციტინის ფერმენტული დაშლის სქემა

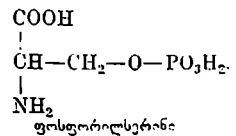
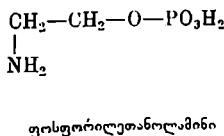
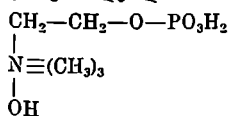
ლეციტინის დაშლის პროდუქტებია:



გლიცერილფოსფორილკოლინი



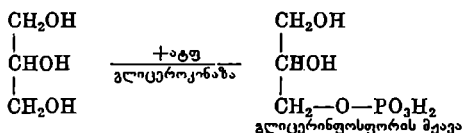
რაც შეეხება ფოსფატიდების სინთეზის საკითხს მცენარეებში, ის შესწავლილია ნაკლებად. უნდა ვივარაუდოთ, რომ სინთეზი აქ ცხოველის უჯრედს მსგავსად მიმდინარეობს. ფოსფატიდების სინთეზის წყაროდ ცხოველის უჯრედში (ტივინში და ლეიქში) მოიხმარება გლიცერინფოსფორის მჟავა და ფოსფორილირებული აზოტოვანი ფუძეები — ფოსფორილეთანოლამინი ან ფოსფორილკოლინი:



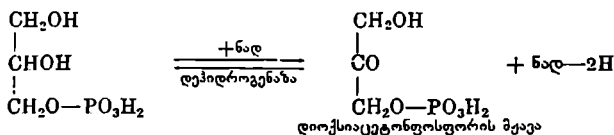
გარდამავალი საფეხურის სახით წარმოიშობა: გლიცეროლფოსფორილქოლინი და გლიცეროლფოსფორილეთანოლამინი. ამ შუალედ პროდუქტებს საბოლოოდ უკავშირდება გააქტივებული ცხიმოვანი მჟავები. ცხიმოვანი მჟავების გააქტივება კი კოენზიმი A-ს შემწეობით ხდება. ფოსფატიდების სინთეზის ეს გზა დამტკიცებულია ფერმენტულ მოდელებზე, სადაც სუბსტრატად აღებული იყო ნიშანდებული ნაერთები.

ფოსფორილიდების სინთეზს წინ უძღვის დიგლიცერიდის შექმნა; ეს ნაერთი საერთო წინამორბედი როგორც ცხიმების, ისე ფოსფორილიდებისათვის. ამ შემთხვევაში, თუ დიგლიცერიდში ჩაინაცვლა ცხიმოვანი მჟავა, წარმოიშობა ცხიმი. თუ ჩაინაცვლა ფოსფორილირებული აზოტოვანი ფუნქციონირება ფოსფატიდი. საინტერესოა აღინიშნოს, რომ მოლოდინის მიუხედავად, გლიცერინის უშუალო აცილრება კოენზიმ-A-გააქტივებული ცხიმოვანი მჟავათი არ მ-მდინარეობს.

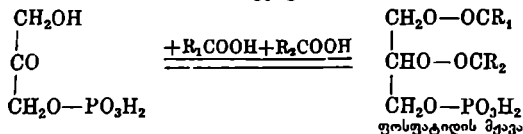
როგორც ირკვევა, ცხიმისა და ფოსფატიდების სინთეზის პირველი ეტაპი გლიცერინის ფოსფორილირებასთან არის დაკავშირებული. ამ რეაქციის გააქტივება წარმოებს გლიცერატიკინაზით და ატფ-ის კოფერმენტული მოქმედებით.



სინთეზის მეორე ეტაპზე გლიცერინფოსფორის მჟავა ნაღ-ის თანდასწრებით დეჰიდრირებას განიცდის და დიოქსიაცეტონფოსფატად გარდაიქმნება. ამ რეაქციას ააქტივებს გლიცერინფოსფატდეჰიდროგენაზა:



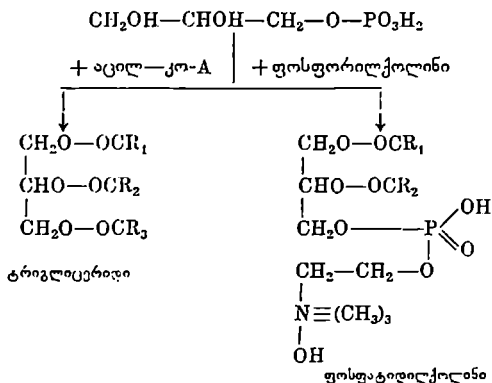
მესამე ეტაპზე კო-A-თი გააქტივებული ცხიმოვანი მჟავები ფერმენტ ფოსფოგლიცერინაცილზას კატალიზური მოქმედებით კავშირდება დიოქსიაცეტონფოსფატთან და მიიღება ფოსფატიდის მჟავა. ფოსფატიდის მჟავას ცხიმებისა და ფოსფორილიდების სინთეზში ცენტრალური ადგილი უჭირავს.



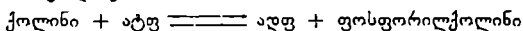
მეოთხე ეტაპზე ფოსფატიდის მჟავა ფოსფატიდატფოსფორატზას მოქმედებით კარგავს ფოსფატის ნაშეს და მიიღება დიგლიცერიდი.



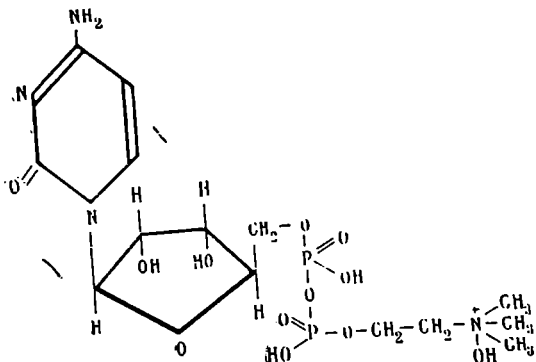
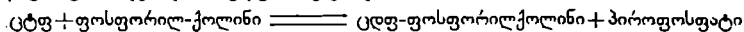
მეხუთე ეტაპზე დიგლიცერიდი ან აცილირებას განიცდის კო-A აცილას საშუალებით და იქმნება ტრიგლიცერიდი, ანდა რეაგირებს ფოსფორილირებულ აზოტოვან ფუძესთან და მიიღება ფოსფატიდი. პირველი რეაქცია აქტივდება დიგლიცერიდაცილტრანსფერაზით, ხოლო მეორე — შესაფერისი ტრანსფერაზით (ფოსფატიდილქოლინის შემთხვევაში ქოლინფოსფოტრანსფერაზით):



აზოტოვანი ფუძის გააქტივებისათვის საჭიროა მისი წინასწარი ფოსფორილირება. ამ რეაქციისათვის საჭიროა ფერმენტული სისტემა, რომელიც ატფ-დან ფოსფატის ნაშთს გადაიტანს აზოტოვან ფუძეზე. ქოლინის შემთხვევაში ეს ფერმენტი არის ქოლინკინაზა:

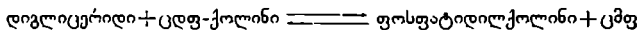


რეაქციის შემდეგ ფაზაში ფოსფორილქოლინი გადაიტანება დიგლიცერიდზე. მაგრამ წინასწარ საჭირო ხდება ფოსფორილქოლინის გააქტივება. ეს ხერხდება ციტიდინტრიფოსფატისა (ცტფ) და ფერმენტ ფოსფორილქოლინციტიდილ ტრანსფერაზას საშუალებით. რეაქციის შედეგად მიიღება ციტიდინდიფოსფორილქოლინი (ცდფ — ფ ქოლინი)

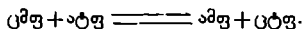


ციტიდინდიფოსფორილქოლინი

შემდეგ ფაზაში ცდფ-ქოლინი დაკავშირებული ფოსფორილქოლინი მოხმარება დიგლიცერიდთან ერთად ფოსფატიდილქოლინის სინთეზისათვის. ამ რეაქციას ააქტივებს ფერმენტი ფოსფორილქოლინგლიცერიდტრანსფერაზა:



ციტიდინტრიფოსფატის რეგულირება ხორციელდება ფერმენტ ტრანსფოსფორილაზას საშუალებით ატფ-ის ხარჯზე:



რაც შეეხება ფოსფატიდების მოლეკულაში შემავალ აზოტოვან ფუძეებს, ზოგიერთი მათგანის სინთეზი ცხოველს არ შეუძლია და უკანასკნელი ამ მხრივ დამოკიდებულია საკვებში მიცემულ მასალაზე. მაგალითად, როდესაც საკვებში წარმოდგენილი არ არის ქოლინი ანდა ნაერთი, რომელსაც შეუძლია თავისი მეთილის ჯგუფი გადასცეს ეთანოლამინს, ადგილი აქვს ღვიძლში ცხიმის ზედმეტი რაოდენობით დაგროვებას. ეს მოვლენა იმაზეა დამოკიდებული, რომ ცხიმის ტრანსპორტი ღვიძლიდან შესაძლებელი ხდება ფოსფატიდების საშუალებით. იმ შემთხვევაში, როდესაც ფოსფატიდების სინთეზი დაბრკოლებულია, მაგალითად, ქოლინის უქონლობის გამო, ცხიმი გამოუყენებლად ღვიძლში გროვდება.

მეთილის ჯგუფის ეთანოლამინზე გადაცემაში მონაწილეობას ლებულობს ვიტამინი B₁₂.

ჩვენს განკარგულებაში არის საბუთი ვიფიქროთ, რომ დანარჩენი გლიცეროფოსფატიდების სინთეზი ფოსფატიდილქოლინის მსგავსად მიმდინარეობს. მაგრამ არსებობს კიდევ მათი სინთეზის მეორე გზა. ეს გზა დაკავშირებულია ფოსფოლიპიდების მოლეკულაში აზოტოვანი ფუძეების ურთიერთგარდაქმნის შესაძლებლობასთან, სახელდობრ ფოსფატიდილსერინი \rightleftharpoons ფოსფატიდილეთანოლამინი \rightarrow ფოსფატიდილქოლინი.

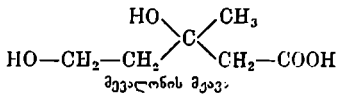
ზემოხსენებული მექანიზმით ფოსფატიდილსერინი უშუალო დეკარბოქსილირებას განიცდის, ხოლო ფოსფატიდილეთანოლამინის მეთილირებისას მიიღება ფოსფატიდილქოლინი.

დანარჩენი ფოსფატიდების სინთეზი (სფინგომიელინების, ფოსფატიდილ-ინოზიტიდების, აცეტალფოსფოლიპიდების) ხასიათდება თავისებურებით, მაგრამ ყველა შემთხვევაში ციტიდინტრიფოსფატს ენიჭება უნივერსალური მნიშვნელობა, როგორც ტრანსფერაზულ კოფერმენტს.

ფოსფატიდების მნიშვნელობის შესახებ ლაბარაკობს ის ფაქტი, რომ პროტოპლაზმაში წარმოდგენილი ლიპიდების უმეტესი ნაწილი ფოსფატიდებია.

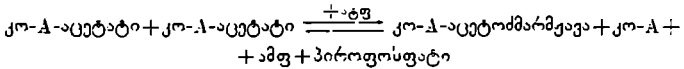
სტეროლების სინთეზისათვის ძმრის მქავეს ნაშთები მოიხმარება. ეს დამტკიცებული იყო ცდებით, სადაც ცხოველს ეძლეოდა ძმარმქავე, რომელიც ნიშანდებულ ნახშირბადას და წყალბადას შეიცავდა. გამოირკვა, რომ ნიშანდებული ძმარმქავეს ნაშთები ქოლესტერინში გადადის.

თუ რა გზით გარდაიქმნება ძმარმქავე სტეროლის ბირთვად. ჯერ საბოლოოდ გარკვეული არ არის, მაგრამ უკვე ცნობილია ამ გარდაქმნის ძირითადი გზები. პირველ ყოვლისა, გაირკვა, რომ სინთეზის ერთ-ერთი შუალედი პროდუქტი არის მევალონის მქავე და სქვალენი.

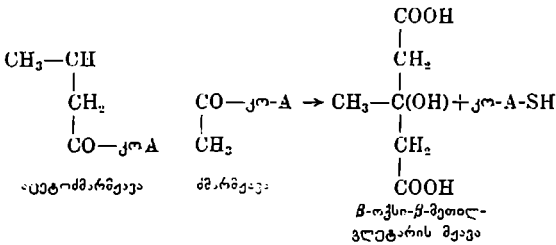


დიდი შრომა დაიხარჯა იმ ქიმიურ გარდაქმნათა დადგენისათვის, რომელნიც საფუძვლად უდევს ძმარმჟავადან მევალონის მჟავას სინთეზს. საცდელ ობიექტად აღებული იყო ღვიძლისა და ბაქტერიული პრეპარატები. კარგ ობიექტს ამ საკითხის შესწავლისათვის წარმოადგენენ მცენარეები, რომელნიც ხასიათდებიან იზოპრენის ნაერთების სინთეზის უნარით.

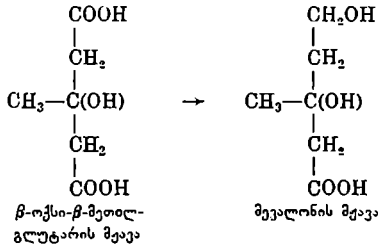
გაირკვა, რომ სინთეზის პირველი ეტაპი დაკავშირებულია გააქტივებული აცეტო-ძმრის მჟავას შექმნასთან:



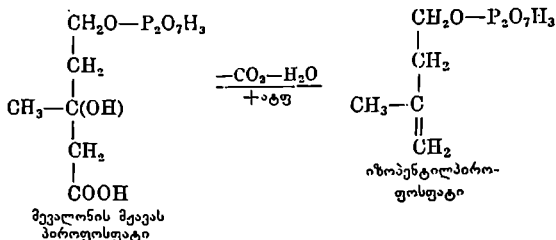
სინთეზის მეორე ეტაპზე გააქტივებული აცეტოძმარმჟავა რეაგირებს კიდევ ერთ მოლეკულა ძმარმჟავასთან და ჯერ კიდევ საბოლოოდ გაურკვეველი მექანიზმით კონდენსირდება β-ოქსი-β-მეთილგლუტარის მჟავად.



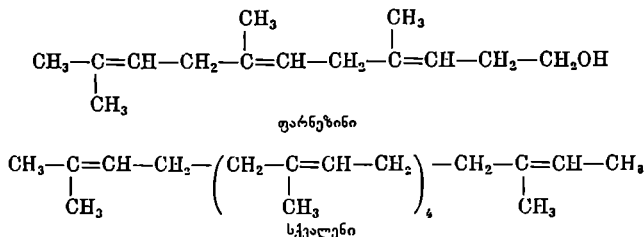
შემდეგ ეტაპზე β-ოქსი-β-მეთილგლუტარის მჟავა ნაღ-2H-ის თანდასწრებით განიცდის აღდგენას და α-კარბოქსილის ჯგუფი პირველად სპირტის ჯგუფად გარდაიქმნება და წარმოიშობა მევალონის მჟავა.



საფუერებისა და ღვიძლის ჰომოგენატები მევალონის მჟავადან წარმოშობენ სქვალენს. მევალონის მჟავადან იზოპენტლიპროფოსფატის სინთეზისათვის უპირველეს ყოვლისა საჭიროა ატფ-ი. ამ რეაქციის მსვლელობისას მევალონის მჟავას სცილდება კარბოქსილის ჯგუფი CO₂ სახით.



სამი მოლეკულა იზოპენტოლიპროფოსფატის კონდენსაციის შედეგად ჭერ-იქმნება ფარნეზინი, ხოლო უკანასკნელიდან სქვალენი:



სქვალენი პირველად გამოყოფილი იყო ზვიგენის ლეიძლის ცხიმიდან; ქიმიურად ის დეჰიდროტერპენს წარმოადგენს. საგულისხმოა, რომ ის აშენებულია იზოპრენის 6 ნაწილისაგან. სქვალენი განიცდის გარდაქმნათა მთელ რიგს, რაც დაკავშირებულია მის ციკლიზაციასა და კონდენსაციასთან და საბოლოოდ მიიღება ქოლესტერინი.

საჭიროა აქ აღინიშნოს, რომ ყველა ის ნაერთი, რომლის სტრუქტურული ერთეული არის იზოპრენი (სპირტი — ფიტოლი, კაროტინოიდები, კაუჩუკი, ვიტამინები A და K ტოკოფეროლი) იქმნება იმავე ქიმიური მექანიზმებით, როგორც სტეროლები.

§ 6. ნახშირწყალბოლისა და ცხიმების ურთიერთმიჯობიერი კავშირი

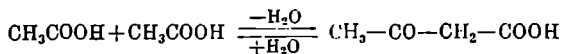
პრაქტიკიდან ცნობილია, რომ ცხოველებს, რომელთა რაციონში ცხიმები გამოკლებულია, უნარი აქვთ დააგროვონ სათაღარიგო ცხიმი. მიღებულია, რომ ეს ცხიმი ნახშირწყლებიდან იქმნება. ცნობილია აგრეთვე, რომ ცხიმი მცენარეში არ წარმოადგენს პირველადი სინთეზის პროდუქტს. იბადება კითხვა, თუ რა გზით მიმდინარეობს ცხიმის სინთეზი. ნახშირწყლების უშუალო გარდაქმნა ცხიმოვან მჟავაში ძნელი წარმოადგენია, ვინაიდან, ქიმიური შენების თვალსაზრისით, ისინი ნაერთების სხვადასხვა კლასს ეკუთვნიან. ამისათვის უნდა დავუშვათ, რომ ცხიმოვანი მჟავების შექმნა არის რთული ბიოქიმიური გარდაქმნების შედეგი.

მხედველობაში მისაღებია ის ფაქტი, რომ ზეთოვან მცენარეთა თესლის გაღივებისას და ლეიძლში ცხიმოვანი მჟავების გარდაქმნისას წარმოიშობა ისეთი ნაერთები, რომლებიც თავისი თვისებებით ნახშირწყლების ცვლის შუალედ პროდუქტებს ემსგავსებიან. მსგავსი ნაერთები შეიქმნება აგრეთვე ამინომჟა-

ვთა დეზამინირების შედეგად. ყველაფერი ეს იმის დამამტკიცებელია, რომ ნახშირწყლების, ცხიმებისა და ცილოვან ნივთიერებათა ბიოქიმიური კავშირი მყარდება მათი გარდაქმნის დროს წარმოშობილი შუალედი პროდუქტებით.

შუალედი პროდუქტი, რომელიც ნახშირწყლების ცვლას ცხიმების ცვლასთან აკავშირებს, არის ძმარმჟავა. ნახშირწყალი ცხიმოვან მჟავად გარდაიქმნება ძმარმჟავას საშუალებით, ე. ი. ნახშირწყლების გარდაქმნის დროს წარმოშობილი ძმარმჟავადან იწყება ცხიმოვანი მჟავას სინთეზი. მეორე მხრივ, როდესაც ცხიმოვანი მჟავა დეგრადაციას განიცდის, გარდამავალი საფეხურის სახით იქმნება ძმარმჟავა, რომლის ნახშირორჟანგად და წყლად საბოლოო დაჟანგვა წარიმართება იმავე გზით, როგორც ნახშირწყლების ცვლის დროს.

ღიაბეტით დაავადებისას ნახშირწყლების მოხმარება ორგანიზმის მიერ ვერ ხერხდება და გლუკოზა შარდში გადადის. ცხიმოვანი მჟავების დეგრადაცია კი კეტო-და ოქსიმჟავებამდე ამ დროს დაუბრკოლებლივ მიმდინარეობს. ამ ნაერთების გარდაქმნა იძლევა, როგორც ეს ჩვენ ზემოთ დავინახეთ, გააქტივებულ ძმარმჟავას. ეს ძმარმჟავა რომ დაიქანგოს, უნდა დაუკავშირდეს ნახშირწყლების გარდაქმნის შუალედ პროდუქტებს, სახელდობრ. მჟაენძმარმჟავას. ძმრის მჟავას დაკავშირება ნახშირწყლების ცვლის შუალედ პროდუქტებთან აუცილებელია. წინააღმდეგ შემთხვევაში ძმრის მჟავა დაუქანგავი უნდა დარჩეს. ძმრის მჟავას დაკავშირება ღიაბეტის დროს ვერ ხერხდება ნახშირწყლებთან ცვლის შეკავების გამო. ამიტომ გააქტივებული ძმარმჟავას ორი მოლეკულა ერთიმეორესთან კონდენსირდება და ორგანიზმში გროვდება აცეტოძმარმჟავა.



აცეტოძმარმჟავა

ამგვარად ირკვევა, რომ ცხიმებიდან აცეტონის სბეულების დაგროვება ღიაბეტის დროს არის ნახშირწყლების ცვლის შეკავების შედეგი.

ნახშირწყლებიდან და ცილებიდან ცხიმის შექმნა ორგანიზმში, როგორც ეს ზემოთ იყო თქმული, ადვილად წარმოებს. პირუკუ პროცესი — ცხიმებიდან ნახშირწყლების სინთეზი, როგორც ირკვევა, გაძნელებულია. ამის მიზეზი იმაში უნდა ვეძიოთ, რომ ძმრის მჟავადან პიროყურძნის მჟავას სინთეზი ორგანიზმში ვერ ხორციელდება. პიროყურძნის მჟავას შექმნა კი ნახშირწყლების სინთეზისათვის აუცილებელ პირობას წარმოადგენს.

თ ა ვ ი მ ე ხ უ თ ე

ნახშირწყლები

ნახშირწყლების სახელწოდებით გაერთიანებულია ისეთი ნივთიერებები, რომელთაც მცენარეთა სამეფოში განსაკუთრებული გავრცელება აქვთ და საერთოდ სასიცოცხლო პროცესებში უდიდეს როლს ასრულებენ.

ზოგიერთი მათგანი (სახამებელი, შაქრები, ინულინი და გლიკოგენი) საკვებ მასალას წარმოადგენს და ამ მიზნისათვის ორგანიზმი აგროვებს მათ როგორც ენერჯის წყაროს. დანარჩენ ნაწილს კი (როგორც მაგალითად, ცელულოზას), გარდა ამისა, მექანიკური ფუნქცია აქვს, შედის მცენარის უჯრედის კედლის შემადგენლობაში და მას გარეშე ზეგავლენებისაგან ფარავს.

ამ ორი ჯგუფისაგან განცალკევებით დგას ნახშირწყლების ის ჯგუფი, რომელიც ნახშირწყლების გარდაქმნის პროდუქტებს შეიცავს. ეს ჯგუფი ორგანიზმში სათადარიგო მასალის სახით არ გროვდება, მაგრამ სასიცოცხლო პროცესებში უმნიშვნელოვანეს როლს ასრულებს.

§ 1. ნახშირწყლების კლასიფიკაცია

ფიზიკურ თვისებათა მიხედვით, როგორც, მაგალითად, წყალში ხსნადობა, გემო და სხვ., ნახშირწყლები შეიძლება დაიყოს ორ ჯგუფად: შაქრები და არაშაქრები: დეტალური კლასიფიკაცია კი დამყარებულია მათ ქიმიურ შენებაზე. ამ კლასიფიკაციის პრინციპი დამყარებულია ნახშირწყლების რთული მოლეკულის შენებასა და მისი შემადგენელი ნაწილების ქიმიურ თვისებებზე. გამორკვეულია, რომ რთული ნახშირწყლების მოლეკულის ჰიდროლიზური დაშლის დროს წარმოიშობა მარტივი შაქრები, რომელთა შენებაში მონაწილეობას იღებს ხუთი ან ექვსი ნახშირბადის ატომი. ამ მარტივი შემადგენელი ნაწილების შექმნით მთავრდება რთული ნახშირწყლების ჰიდროლიზი.

მარტივ შაქრებს, რომელთა ჰიდროლიზი არ შეიძლება, მონოზები ანუ მონოსაქარიდები ეწოდება. ორი მონოზის დაკავშირებისას იქმნება დისაქარიდი, სამისას — ტრისაქარიდი და მრავალი მონოზის ნაშთის დაკავშირებისას — პოლისაქარიდი. ბუნებაში მონოზებიდან გავრცელება აქვთ პენტოზებსა და ჰექსოზებს. ქვემოთ მოტანილია ბუნებრივი ნახშირწყლების ცხრილი, საიდანაც შეიძლება მათ ურთიერთგანსხვავებაზე ზოგადი წარმოდგენა ვიქონიოთ.

შ ა ქ რ ე ბ ი:

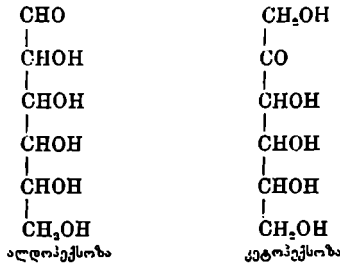
მონოსაქარიდები:	$\left\{ \begin{array}{l} \text{ფეტონი (C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2) \\ \text{აქონი (C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2) \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{არაბინოზა, ქსილოზა, რამნოზა,} \\ \text{ფუკოსა.} \end{array} \right.$
		$\left\{ \begin{array}{l} \text{მანოზა, გლუკოზა, ფრუქტოზა, გა-} \\ \text{ლაქტოზა.} \end{array} \right.$
დისაქარიდები (ქექსოზა + ჰექსოზა) (C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁)		$\left\{ \begin{array}{l} \text{საქაროზა, ფერანოზა, მალტოზა,} \\ \text{იზომალტოზა, ცელობიოზა, გენ-} \\ \text{ციბიოზა.} \\ \text{ტრეჰალოზა, ლაქტოზა, მელიბიოზა.} \end{array} \right.$
ტრისაქარიდები (ქექსოზა + დისაქარიდი) (C ₁₈ H ₃₂ O ₁₆)		$\left\{ \begin{array}{l} \text{რაფინოზა, მელიციტოზა.} \end{array} \right.$

ა რ ა შ ა ქ რ ე ბ ი:

ქექსონანები (C ₆ H ₁₀ O ₅) _n	$\left\{ \begin{array}{l} \text{სახამებელი, დექსტრინი, გლიკოგენი,} \\ \text{ინულინი, მანანები, გალაქტანები,} \\ \text{ცელულოზა, ჰემიცელულოზა,} \\ \text{ლაქტენინი.} \end{array} \right.$
	$\left\{ \begin{array}{l} \text{არამანები,} \\ \text{ქსილანები,} \\ \text{რამნანები.} \end{array} \right.$

§ 2. შაქრების შენება და იზომერია

ნახშირწყლების წარმომადგენელთა სიმრავლე მათი სტრუქტურული და სივრცითი იზომერიისაგან გამომდინარეობს; ამ მხრივ ბუნებას დანარჩენი ნივთიერების მიმართ ასეთი სიუხვე არ გამოუჩენია. შაქრების სტრუქტურული იზომერია, როგორც ცნობილია, გამომდინარეობს მათ მოლეკულაში მონაწილე ფუნქციონალურ ჯგუფთა შენების სხვაობისაგან. მაგალითად, გლუკოზაში მონაწილეობას დებულობს ერთი პირველადი, ოთხი მეორადი სპირტის ნაშთი და ალდო-ჯგუფი, ფრუქტოზაში—ორი პირველადი, სამი მეორადი სპირტის ნაშთი და კეტო-ჯგუფი. მიუხედავად იმისა, რომ ამ ორი შაქრის ემპირიული ფორმულა ერთი და იგივეა, მათი ქიმიური და ფიზიკური თვისებები სხვადასხვაა.

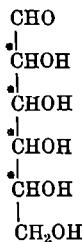


§ 3. ალდოპექსოზების სტერეოიზომერია

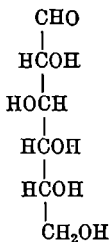
სივრცითი იზომერია დამოკიდებულია შაქრების მოლეკულაში შემაჯავლი ნახშირბადის ასიმეტრიულ ატომებზე. შაქარში შემაჯავლი ასიმეტრიული ნახშირბადის რიცხვი რამდენიმეს აღწევს, რის გამო იზომერთა რიცხვი მატუ-

ლობს. ვ ა ნ ტ-ჰ ო ფ ი ს კანონის თანახმად, სტერეოიზომერთა რიცხვი უდრის 2^n -ს, სადაც n ასიმეტრიული ნახშირბადის ატომთა რიცხვია.

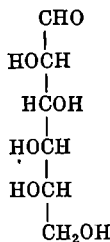
ალდოჰექსოზას ალდეჰიდური ფორმულის განხილვიდან ჩანს, რომ მის შენებაში მონაწილეობასღებულობს ოთხი ასიმეტრიული ნახშირბადის ატომი; მაშასადამე, უნდა არსებობდეს 16 ოპტიკურად აქტიური იზომერი ($2^4 = 16$).



ალდოჰექსოზის ალდეჰიდური ფორმულა



d (+) გლუკოზა



l (-) გლუკოზა

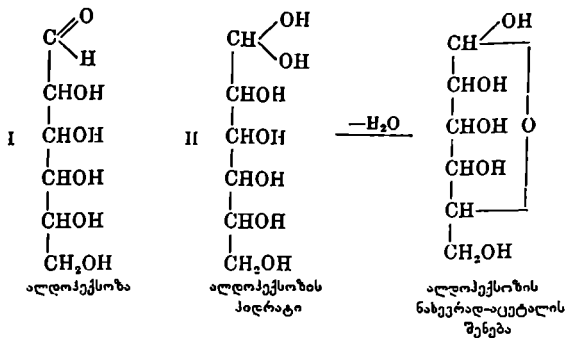
აღნიშნული 16 იზომერიდან ყოველი წყვილი (მაგალითად, მარცხენა და მარჯვენა გლუკოზა) ერთიმეორის სარკის გამახატულებას წარმოადგენს. ყოველი წყვილი ერთი და იგივე ქიმიური და ფიზიკური თვისებებით ხასიათდება, გარდა ოპტიკური აქტივობის ნიშნისა: პოლარიზებულ სხივს ერთი აბრუნებს მარცხნივ იმავე კუთხის ოდენობით, როგორც მეორე მარჯვნივ.

მიუხედავად იმისა, რომ მარჯვენა და მარცხენა გლუკოზა ერთიმეორისაგან ქიმიურად არაფრით განსხვავდება, მათი ბიოქიმიური გარდაქმნის უნარი სულ სხვადასხვაა. მარჯვენა გლუკოზა წარმოადგენს ნაერთს, რომელიც უჭრედის მიერ სხვადასხვა დანიშნულებისათვის მოიხმარება, მაშინ როდესაც მარცხენა მისთვის გამოუყენებელია. ამ მოვლენის მიზეზი იმაში მდგომარეობს, რომ უჭრედში ფერმენტების მოქმედება, პირველ ყოვლისა, დამოკიდებულია გარდასაქმნელ ნაერთში ჯგუფების სივრცეში განწყობაზე.

ალდოჰექსოზას შენებიდან გამომდინარეობს, რომ უნდა არსებობდეს იზომერების 8 წყვილი, სადაც ყოველ წყვილში ერთი იზომერი მეორისაგან განსხვავდება მხოლოდ ოპტიკური ნიშნით (მარჯვენა და მარცხენა გალაქტოზა, მარჯვენა და მარცხენა მანოზა და სხვ.). ყოველ წყვილს ერთი რაციმული შეესაბამება და ამისათვის იზომერების რიცხვი აღწევს $16 + 8 = 24$ -ს.

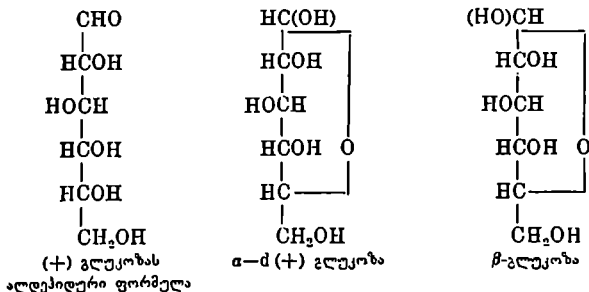
ამასთანავე აღსანიშნავია, რომ ერთი წყვილის წარმომადგენელი დანარჩენებისაგან განსხვავდება არა მარტო ოპტიკური ნიშნით (მინუსი ან პლუსი), არამედ ოპტიკური აქტივობითაც (რიცხობრივი სიდიდით) და ქიმიური, ფიზიკური და ბიოქიმიური თვისებებითაც (მაგალითად, d (+) გლუკოზა d (+) გალაქტოზასაგან).

ტ ო ლ ე ნ ს მ ა (1888 წ.) შენიშნა, რომ შაქრების ალდო-და კეტო-ჯგუფები თავიპუფალი ჯგუფების ფუნქციებს არ ატარებენ. მის მიერ წამოყენებულ იქნა მოსაზრება, რომ შაქრებს ციკლური შენება აქვთ.



ჰექსოზების ციკლური შენების გამო ასიმეტრიული ნახშირბადების რიცხვი უკვე ოთხი კი არ რჩება, არამედ ხუთს აღწევს: ამისათვის უნდა არსებობდეს მარცხენა გლუკოზას (და აგრეთვე დანარჩენი მონოზების) კიდევ ორი სტერეოიზომერი. მაშასადამე, ალდოჰექსოზების სტერეოიზომერთა რიცხვი ორჯერ მატულობს და აღწევს $2^5 = 32$ -ს. ალდო-ჰგუფის ნახშირბადის ატომს, მისი განსაკუთრებული თვისებების გამო, უწოდებენ გლუკოზიდურ ნახშირბადის ატომს, და მის ნაწარმებს — გლუკოზიდებს. ანახვევებენ α - და β -გლუკოზიდებს.

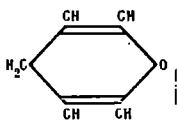
ალდოჰექსოზების შენებისაგან გამომდინარეობს იმ მოვლენის განმარტება, რომელსაც მუტაროტაცია ეწოდება. შემჩნეულია, რომ თითქმის ყოველი შაქარი ხსნარში გადაყვანისას პირვანდელ ოპტიკურ აქტივობას არ ინარჩუნებს. დროის განმავლობაში ის იცვლება და მუდმივ რიცხვს მხოლოდ რამდენიმე ხნის შემდეგ აღწევს. მაგალითად, გლუკოზა, რომელიც მიიღება β -მეთილ-გლუკოზიდან (β -გლუკოზა), დასაწყისში აჩვენებს ხვედრითი ბრუნვის $+19,8^\circ$ -ს, რამდენიმე ხნის შემდეგ ეს რიცხვი მატულობს $+52,2^\circ$ -მდე. მეორე მხრივ, α -გლუკოზას დასაწყისში ახასიათებს ხვედრითი ბრუნვა დაახლოებით $+113^\circ$, მაგრამ განსაზღვრული დროის შემდეგ ეს რიცხვი მცირდება იმ ოდენობამდე, რომელზედაც დავიდა β -გლუკოზას ხვედრითი ბრუნვა, ე. ი. $+52,2^\circ$ -მდე.



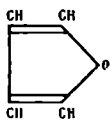
ვინაიდან ოპტიკური აქტივობა დამოკიდებულია შენებაზე, უნდა ვივულისხმოთ, რომ შაქრის ეს ორი ეპიმერული იზომერი ერთიმეორეში გადადის; მას შემდეგ, რაც მათ შორის ხსნარში წონასწორობა მყარდება, ოპტიკური აქტი-

ვობა განსაზღვრულ მუდმივ ოდენობას აღწევს. მუტაროტაცია არის მოვლენა, რომელიც შაქრების ციკლური შენების ცვლილებისაგან გამომდინარეობს.

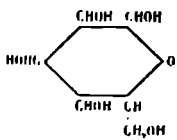
ჰ ა ე ო რ ა ი ს მიერ მიღებულია, რომ შაქრების შენება გამომდინარეობს პირანის ან ფურანის ბირთვისაგან.



პირანი

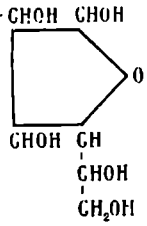


ფურანი

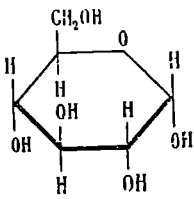


ჰექსოპირანოზა

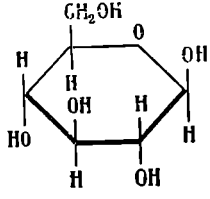
α- და β-გლუკოზების სტრუქტურული ფორმულა, გამოდინარე პირანის ბირთვისაგან, შემდეგნაირად გამოიხატება:



ჰექსოფურანოზა



α-d (+) გლუკოზა



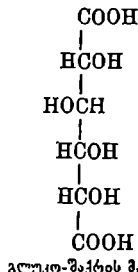
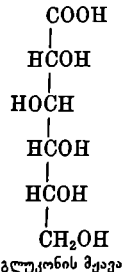
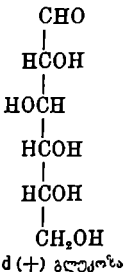
β-d (+) გლუკოზა

ზემოთ მოტანილი ექვსკუთხედეების წვეროები ნახშირბადის ატომებს წარმოადგენენ, ხოლო ერთი წვერო, რომელიც მეხუთე ნახშირბადის ატომს პირველთან აკავშირებს, წარმოადგენილია უანგბადით.

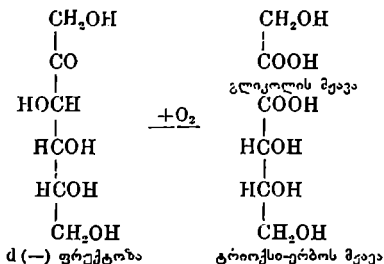
§ 4. მონოსაქარიდების კიბიური რეაქციები

მონოსაქარიდები წარმოადგენენ ნაერთებს, რომელთა შენებაში მონაწილეობას ღებულობენ კარბონილისა და სპირტის ჯგუფები. ეს ნაერთები (ოქსიალდეჰიდები და ოქსიკეტონები) ტაუტომერები არიან. ამის გამო, შაქრების ყველა კიბიური რეაქცია ამ თავისებური შენებიდან გამომდინარეობს.

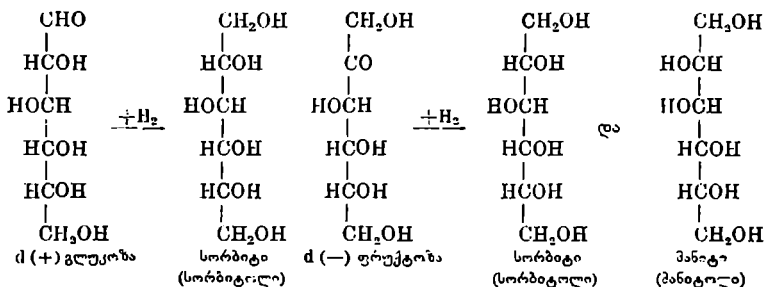
და ე ა ნ გ ვ ა. ალდოზები და კეტოზები კიბიური თვისებებით, საზოგადოდ, ერთმანეთისაგან დიდად არ განსხვავდებიან. განსხვავება უფრო მკვეთრად შელავნდება დაეანგვისას; ალდოზები დაეანგვისას ჭერ იძლევიან ერთფუძიანი ალდონის შექვას და შემდეგ ორფუძიანი შაქრის შექვას. მაგალითად, გლუკოზა:



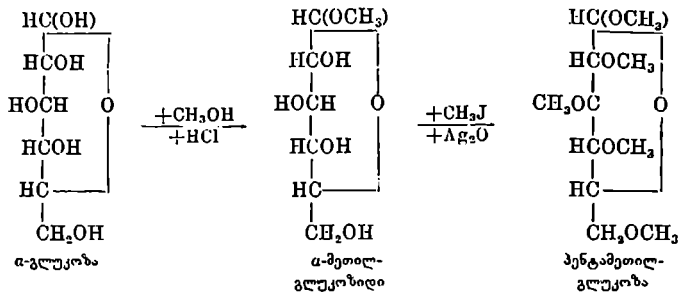
კეტოზები დაეანგვას უფრო ეწინააღმდეგებიან. შესაფერის პირობებში ჭკვი წყდება და წარმოიშობა ორი შევა. მაგალითად, ფრუქტოზას შემთხვევაში:



ა ღ დ გ ე ნ ა. ალდოზები და კეტოზები აღდგენისას იძლევიან შესაფერის სპირტებს:

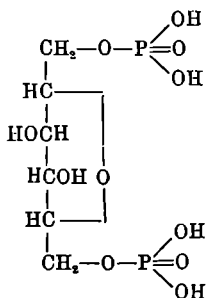


მონოსაკარიდების ეთერები. ზემოთ მოტანილი რეაქციები გამომდინარეობენ შაქრების შენებაში მონაწილე კარბონილის ჯგუფის თვისებებიდან. გარდა ამისა შაქრებს, როგორც მრავალატომიან სპირტებს, სპირტის ჯგუფის რეაქციებიც ახასიათებს. ამ რეაქციებში მკლავნდება კარბონილის ჯგუფის თავისებური შენება. როგორც ცნობილია, კარბონილის ჯგუფს მონოსაკარიდებში ნახევრად აცეტალის შენება აქვს. ამ აცეტალის ჰიდროქსილის თვისებები განსხვავდება შაქრის დანარჩენი ჰიდროქსილის თვისებებისაგან, რის გამოც კარბონილის ნახშირბადს ეწოდება გლუკოზიდური ნახშირბადი. გლუკოზიდური ჰიდროქსილი მარილის მქავით დამუშავებისას მეთილის სპირტის ხსნარში მეთილირდება, მაშინ როდესაც დანარჩენი ჰიდროქსილის მეთილირებისათვის საჭიროა მეთილ-იოდით და ვერცხლის უანგით უფრო ენერგიული დამუშავება. უკანასკნელ შემთხვევაში კარბონილის ჯგუფის აღდგენითი თვისებების აცილებისათვის საჭიროა გლუკოზიდური ჰიდროქსილი წინასწარ მეთილირებულ იქნეს.



ამ გზით ჰაეორსის მიერ დადგენილ იქნა სხვადასხვა მონოსაქარილის შენება და მათი სტრუქტურული განსხვავება.

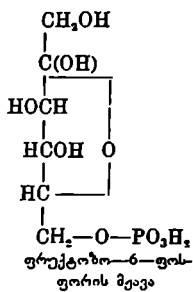
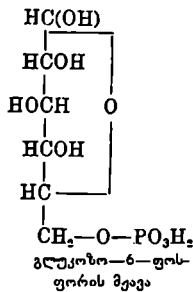
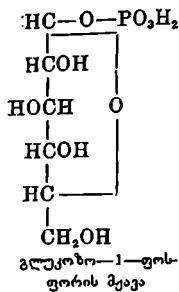
მონოსაქარიდების ესთერები. მონოსაქარიდების ესთერები ორგანულ მჟავებთან (მაგალითად, ძმრის მჟავასთან) მნიშვნელოვან ნაერთებს წარმოადგენენ მონოსაქარიდების სტრუქტურის დადგენის თვალსაზრისით. მეთრე მხრივ, დიდი ბიოლოგიური მნიშვნელობა აქვს ფოსფორის მჟავას ესთერებს. ისინი იქმნებიან უჯრედში და უკანასკნელ ხანში აკვლევების დიდ ინტერესს იპყრობენ, რადგან ნახშირწყლების ცვლა, როგორც ირკვევა, მხოლოდ ამგვარი ესთერიფიკაციის გზით მიემართება. ელექტროუარყოფითი ფოსფორის მჟავას შესვლა ნახშირწყლის მოლეკულაში, ადიდებს რა ნახშირწყლის მოლეკულის ლაბილობას, მას მეტი გარდაქმნის უნარს ანიჭებს. საინტერესოა აღინიშნოს, რომ ფოსფო-ტრიკლორფანგის მოქმედებისას ყველაზე ადვილად მიდის პირველადი სპირტის ნაშთის ესთერიფიკაცია და წარმოიშობა ე. წ. ფრუქტოზოდიფოსფორის მჟავა.



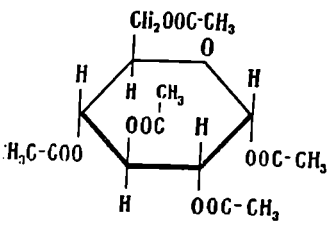
ფრუქტოზოდიფოსფორის მჟავა

გლუკოზა, ფრუქტოზა და მანოზა ბიოლოგიურ ექსპერიმენტში ერთსა და იმავე ფრუქტოზოდიფოსფორის მჟავას იძლევა.

ფრუქტოზოდიფოსფორის მჟავას გარდა დიდი ბიოქიმიური მნიშვნელობა აქვს გლუკოზო-1-ფოსფორის, გლუკოზო-6-ფოსფორისა და ფრუქტოზო-6-ფოსფორის მჟავებს.



ორგანულ სინთეზში განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს ნახშირწყლების აცეტილ-ნაწარმებს. აღსანიშნავია, რომ აცეტილირებულ შაქარში ის აცეტილ-ჩგუფი, რომელიც დაკავშირებულია გლუკოზიდურ ჰიდროქსილთან, ტუტათ ვასაპვნას უფრო ძნელად განიცდის, ვიდრე დანარჩენები.



პენტააცეტილპექსოზა

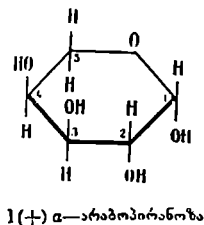
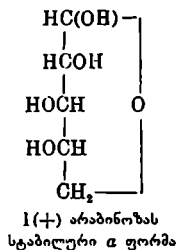
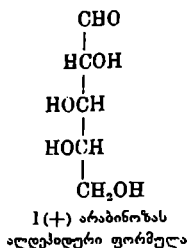
§ 6. მონოსაქარიდების ცალკე წარმომადგენლები

პ ე ნ ტ ო ზ ე ბ ა

ნახშირწყლებიდან ჩვენ აქ შევეხებით მხოლოდ იმ ნაერთებს, რომელთაც ბიოლოგიური მნიშვნელობა აქვთ. პენტოზები თავისუფალი სახით ბუნებაში გავრცელებული არაა. სამაგიეროდ მათი ანჰიდრიდებით — პენტოზანებით — მდიდარია მცენარეულობა. პენტოზები წარმოდგენილია აგრეთვე ნუკლეოპროტეიდებში და გლუკოზიდებში, თავისუფალი სახით გვხვდება აგრეთვე შარდში პენტოზურის დროს. ყველა ბუნებრივი პენტოზა ეკუთვნის ალდო-პენტოზებს.

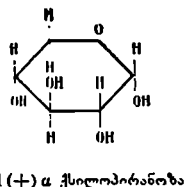
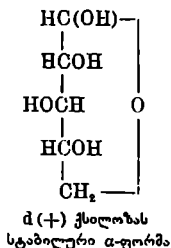
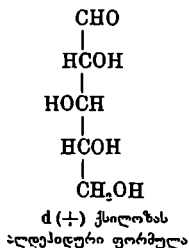
პენტოზები პენტოზანების (C₅H₈O₄)_n პილროლიზური დაშლის შედეგად მიიღება; ისინი წარმოდგენენ კრისტალური შენების მქონე ტკბილი გემოს ნაერთებს. განზავებულ მარილის მჟავასთან გაცხელებისას იძლევიან ფურ-ფუროლს.

1(+)
 ა რ ა ბ ი ნ ო ზ ა. პირველად ნაპოვნი იყო გუმი-არაბიკში, საიდანაც წარმოიშვა მისი სახელწოდება. ამ შაქრის ანჰიდრიდი არაბანი წარმოდგენს მცენარეული გუმის და წებოს (მაგალითად, ალუბლის) მთავარ შემადგენელ ნაწილს. არაბინოზას პრეპარატი მზადდება ამგვარი ნივთიერებისაგან. ბუნებრივი არაბინოზა იჩენს დადებით ოპტიკურ აქტივობას. კრისტალდება ნემსების ან პრიზმების სახით; ლლობის t=160°; [α]_D²⁰ = +105°.

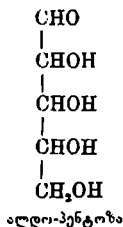


აღდგენისას არაბინოზა იძლევა ხუთატომიან სპირტს არაბიტს (არაბიტოლი).

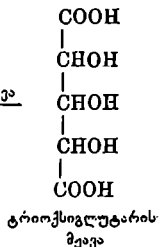
d(+)-ქსილოზა წარმოადგენს არაბინოზას სტერეოიზომერს. უმთავრესად გავრცელებულია პენტოზანი ქსილანის სახით ჩალაში. სიმინდის ფუჩეჩში მისი რაოდენობა აღწევს 20%-ს. ქსილანი დიდი რაოდენობით გვხვდება აგრეთვე მერქანში და საზოგადოდ მცენარის გახვევებულ ნაწილებში. ქსილოზა კრისტალდება ნემსების სახით და შედარებით ტკბილი გემო აქვს (ლერწმის შაქრის სიტკობს 40%). ამისათვის მას ხშირად ხის შაქარს უწოდებენ. პოლაროზაციის სიბრტყეს მარჯვნივ აბრუნებს, $[\alpha]_D^{20} = +19^\circ$.



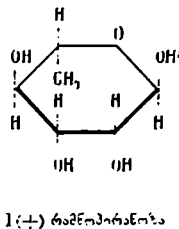
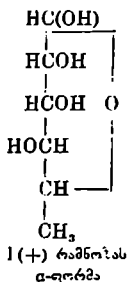
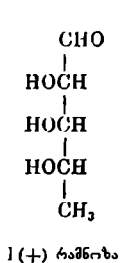
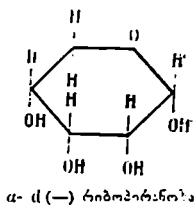
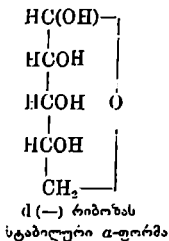
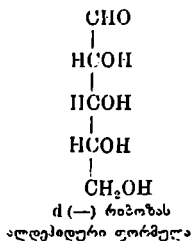
დაეანგვისას არაბინოზა და ქსილოზა სტერეოიზომერული ტრიოქსიგლუტარის შეეავს იძლევა:



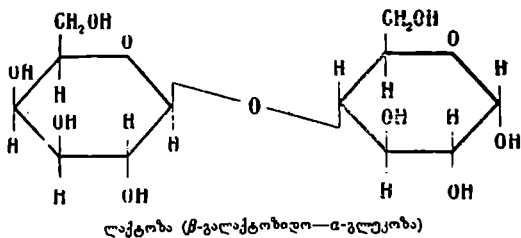
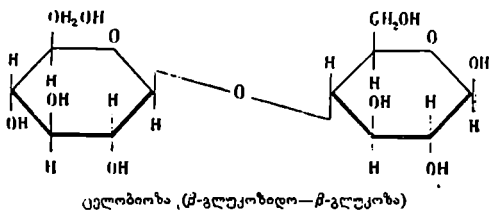
დაეანგვა



d(-)-რიბოზა მონაწილეობს ნუკლეინის შეეეების შენებაში. ის აღმოჩენილია ინოზინის, გუანილის და ადენილის შეეეებში.

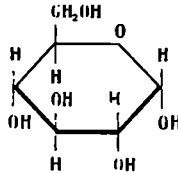
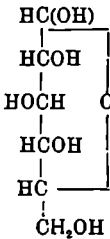


l (+) რამნოზა ყველაზე ცნობილი წარმომადგენელია მეთილენეტოზების ჯგუფებიდან. ის მონაწილეობს ღებულობს მრავალი მცენარეული გლუკოზიდის შენებაში, განსაკუთრებით ფლავონის შემცველ გლუკოზიდებში. რამნოზა მარილის შეყვასთან გამოხდის დროს იძლევა, თავისი შენების თანახმად მეთილ-ფურფუროლს.



ჰექსოზები ბუნებაში ყველაზე მეტად გავრცელებული მონასაქარიდებია. ზოგიერთი მათგანი: d(+) გლუკოზა, d(+) მანოზა, d(+) გალაქტოზა, d(-) ფრუქტოზა საკმაო რაოდენობით მოიპოვება თავისუფალ მდგომარეობაში; უფრო მეტი რაოდენობით ისინი მონაწილეობას ღებულობენ პოლისაქარიდების შენებაში. არსებობს აგრეთვე მთელი რიგი ნაერთები (ვლუკოზიდები), რომელთა მოლეკულაში ჰექსოზები წარმოდგენილია როგორც შემადგენელი კომპონენტები.

d(+) გლუკოზა. განსაკუთრებული ადგილი ჰექსოზებში და საზოგადოდ ნახშირწყლებში გლუკოზას უკავია (სხვანაირად მას დექსტროზა ან ყურძნის შაქარი ეწოდება). მისი მნიშვნელობა მხოლოდ მისი გავრცელებით არ განისაზღვრება. ის წარმოადგენს მთავარ ენერგეტიკულ მასალას და ამიტომ დიდი ბიოლოგიური მნიშვნელობა აქვს. თავისუფალი სახით მოიპოვება მცენარეთა ნაყოფში, კერძოდ ხილში და ცხოველთა ბიოლოგიურ სითხეებში (სისხლი, ლიმფა, ცერებროსპინალური სითხე, შარდი). ნორმალურ შარდში მისი რაოდენობა 0,1%-ს არ აღემატება; სხვადასხვა ცხოველის სისხლში მისი რაოდენობა 80—150 მგ %-ის ფარგლებში მერყეობს.

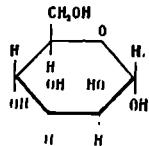
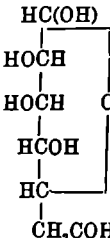


d(+) გლუკოპირანოზა

d(+) გლუკოზის სტაბილური α-ფორმა

ალდო-ჭგუფის დაეანგვისას გლუკოზა გლუკონის მჟავას იძლევა, ხოლო პირველადი სპირტის ჭგუფის დაეანგვისას—გლუკურონის მჟავას. ორივე ჭგუფის ერთდროული დაეანგვისას გლუკოზა შაქრის მჟავაში გადადის. აღდგენისას გლუკოზას ალდო-ჭგუფი გადადის პირველადი სპირტის ჭგუფში და ექვსატომიანი სპირტი სორბიტი (სორბიტოლი) წარმოიშობა.

d(+)მანოზა. თავისუფალ მდგომარეობაში მოიპოვება მხოლოდ მცენარეებში, ისიც იშვიათად (მაგალითად, ციტრუსების ნაყოფის ქერქში). სამაგიეროდ პოლისაქარიდის — მანანების (ჰემიციელულოზების) სახით ის მონაწილეობას ღებულობს მცენარეული უჯრედის კედლების შენებაში. მანოზას ქვის თხილის ნაქუქების მჟავეური ჰიდროლიზის საშუალებით ღებულობენ.

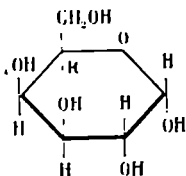
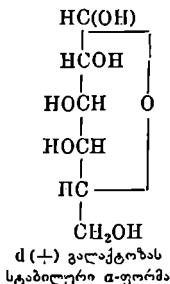


d(+) მანოპირანოზა

d(+) მანოზის სტაბილური α-ფორმა

d(+)
ნებს მარცხნივ; მუტაროტაციის შედეგად მიიღება მარჯვენა ბრუნვა. აღგენ-
სას მანოზა იძლევა ექვსატომიან სპირტს მანიტს (მანიტოლი); დაჟანგვისას
იძლევა ჯერ მანის მჟავას და შემდეგ ორფუძიანი მანოშაქრის მჟავას.

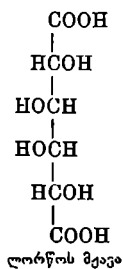
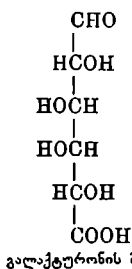
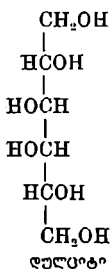
d(+)
ნელ კომპონენტს. მცენარეულობაში გავრცელებულია პოლისაქარიდების გა-
ლაქტანების სახით; მონაწილეობას ღებულობს ცერებროზიდების, ნუკლეინის
მჟავებისა და ქონდროპროტეიდების შენებაში. გალაქტოზას სუფთა პრეპარატი
რძის შაქრის ჰიდროლიზის საშუალებით მზადდება. პოლარიზებულ სხივს
აბრუნებს მარჯვნივ და იჩენს მუტაროტაციის თვისებას.



d(+)
α-გალაქტოპირანოზა

გალაქტოზასათვის დამახასიათებელია მისი მეთილფენილ-ჰიდრაზონი,
რომლის ლობის $t = 190^\circ$. დუდილის პროცესს გალაქტოზა (საფურის გავლე-
ნით) განიცდის უფრო ძნელად, ვიდრე გლუკოზა და მანოზა. ბუნებაში გავრცე-
ლებულია α- და β-გალაქტოზიდები. აღგენისას იძლევა სპირტს — დულციტს.

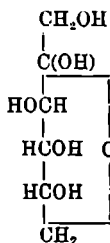
დაჟანგვის პროდუქტებიდან აღსანიშნავია გალაქტურონისა და ლორწოს
მჟავა. გალაქტურონის მჟავა მონაწილეობას ღებულობს პექტინების შენებაში.



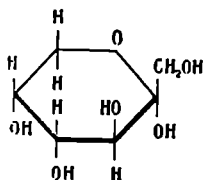
გლუკურონისა და გალაქტურონის მჟავები (ურონის მჟავები), როგორც
იჩვენება, მცენარეულობაში ფართოდაა გავრცელებული. მცენარეული უჯრე-
დის კედლის შემადგენლობაში, შემაერთებელ ფირფიტებში და უჯრედის წვეწმში
პოულობენ ურონის მჟავების საკმაო რაოდენობას.

d(-)
ეტო-ჰექსოზას წარმოადგენს. თავისუფალი სახით ის უმთავრესად მცენარე-
ულობის ნაყოფებში მოიპოვება. მონაწილეობას ღებულობს ლერწმის შაქრისა

და პოლისაქარიდ ინულინის შენებაში. მისი ქიმიურად სუფთა პრეპარატი ინულინის ჰიდროლიზის შემწეობით მზადდება. პოლარიზებულ სხივს აბრუნებს მარჯვნივ. ბიოქიმიურ გარდაქმნება, იან როგორც გლუკოზა, ადვილად განიცდის.

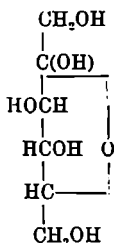


α (-) ფრუქტოზას
სტაბილური α-ფორმა

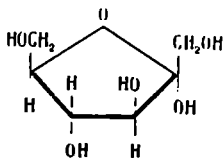


α (-) ფრუქტო-პირანოზა

ფრუქტოზა სხვა მონოსაქარიდებისაგან განსხვავდება იმით, რომ ბუნებაში გავრცელებულია მისი არასტაბილური ფორმა, მაშინ როდესაც დანარჩენი მონოსაქარიდების მხოლოდ სტაბილურ ფორმას აქვს გავრცელება. ფრუქტოზას არასტაბილური ფორმა წარმოდგენილია ლეზრწმის შექარში და ინულინში.



α (-) ფრუქტოზას
აოასტაბილური α-ფორმა



α-ფრუქტო-ფურანოზა

§ 7. დისაქარიდები (C₁₂H₂₂O₁₁) (დიფლავოზიდი)

დისაქარიდები წარმოადგენენ ისეთ ნახშირწყლებს, სადაც ორი მონოსაქარიდი ერთმანეთთან დაკავშირებულია ერთი მოლეკულა წყლის ჩამოშორებით. ბუნებაში გავრცელებული დისაქარიდები უმთავრესად ჰექსოზების კონდენსაციის პროდუქტებს წარმოადგენენ.

ორი ჰექსოზის ურთიერთდაკავშირება, წყლის გამოყოფით, შესაძლებელია წარმოებდეს:

1. ორი გლიკოზიდური ჰიდროქსილის საშუალებით,
2. გლუკოზიდური ჰიდროქსილისა და მონოსაქარიდის სპირტის ჰიდროქსილის საშუალებით,
3. სპირტის ორი ჰიდროქსილის საშუალებით.

უკანასკნელი მოვლენა ცოცხალ ბუნებაში არ გვხვდება. მონოსაქარიდების ნაშთები წყლის გამოყოფის შემდეგ ერთმანეთს ეანგზადის ხიდის საშუალებით უკავშირდება. იმ შემთხვევაში, როდესაც ორი მონოსაქარიდი გლუკოზი-

დური ჰიდროქსილებით, ე. ი. კარბონილის ჯგუფებით კავშირდება, დისაქარიუს დაკარგული აქვს ალდეჰიდებისა და კეტონების დამახასიათებელი რეაქციები; ამგვარი დაკავშირების ტიპს (ტრეპალოზას ტიპს) ლერწმის შაქარი მიეკუთვნება.

იმ შემთხვევაში, როდესაც წყლის წარმოშობაში მონაწილეობას ლებულობს ერთი მონოსაქარიდის გლუკოზიდური ჰიდროქსილი და მეორესი — სპირტის ჰიდროქსილი, დისაქარიდს შენარჩუნებული აქვს კარბონილის ჯგუფის რეაქციები (ფელინგის სითხის აღდგენა, ოზონებისა და ოქსიმების წარმოშობა და სხვ.). ამგვარი დაკავშირების ტიპს ეკუთვნის დისაქარიდი მალტოზა (მალტოზას ტიპი).

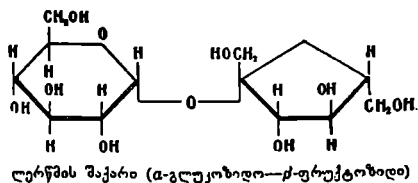
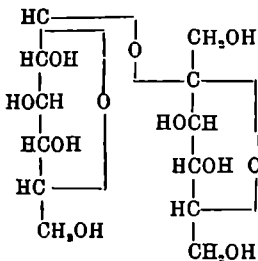
გარდა ზემოხსენებულისა, დისაქარიდების ურთიერთგარჩევა დამოკლებულია აგრეთვე იმაზე, თუ 1) მონოსაქარიდის რომელი ფორმა (α თუ β) და რომელი სპირტის ჰიდროქსილი მონაწილეობს წყლის შექმნაში და 2) უცვლელი დარჩა თუ არა ენგბადის ხილით ნახშირბად-ატომების დაკავშირება მონოსაქარიდის ჯაჭვში. მონოსაქარიდის α -ან β -ფორმის არსებობა დისაქარიდის მოლეკულაში შესაძლებელია გაირკვეს ფერმენტის მოქმედებით. იმ შემთხვევაში, როდესაც α -გლუკოზიდანა იჩენს მოქმედების უნარს, ეს α -გლუკოზიდის არსებობის დამამტკიცებელ საბუთს წარმოადგენს, და პირიქით.

ფერმენტების სისტემების ორი სახე არსებობს, რომლებიც დისაქარიდებზე სპეციფიკურად მოქმედებენ. იმ შემთხვევაში, როდესაც დისაქარიდში მონოსაქარიდის ერთი ნაწილი კავშირდება α -გლუკოზიდის სახით და მეორე მონოსაქარიდის გლუკოზიდური ჰიდროქსილი თავისუფალი რჩება, დისაქარიდის ჰიდროლიზური დაშლა შესაძლებელი ხდება α -გლუკოზიდაზების საშუალებით (საფუარების გლუკოზიდაზები). β -გლუკოზიდებზე ეს ფერმენტი ვერ მოქმედებს, სამაგიეროდ მათზე მოქმედებს β -გლუკოზიდაზების წარმომადგენელი ფერმენტი ემულანინი, რომელიც გავრცელებულია მცენარეულობაში (მაგალითად, მწარე ნუში).

ლერწმის შაქარი. ლერწმის შაქარს, ანუ საქაროზას, დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს როგორც საკვებ პროდუქტს. გავრცელებულია მცენარეულობაში, განსაკუთრებით მდიდარია შაქრის ლერწამი და შაქრის ჭარხალი, სადაც მისი რაოდენობა საშუალოდ 15% აღწევს. ჰიდროლიზის შედეგად იძლევა $d(+)$ გლუკოზას და $d(-)$ ფრუქტოზას. ვინაიდან ფრუქტოზას მარცხენა ბრუნვა სჭარბობს გლუკოზას მარჯვენა ბრუნვას, ჰიდროლიზის დამთავრებისას ლერწმის შაქრის მარჯვენა ბრუნვა იცვლება მარცხენაზე. ამგვარ დაშლას ეწოდება ინვერსია და მიღებულ პროდუქტს — ინვერტული შაქარი. ბუნებრივ ინვერტულ შაქარს წარმოადგენს თაფლი.

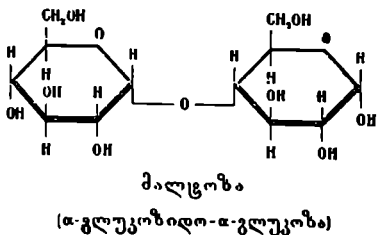
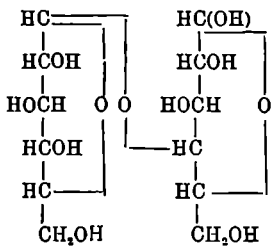
ლერწმის შაქარში მონაწილეობას ლებულობს $d(+)$ გლუკოზის α -ფორმა და არასტაბილური ფრუქტოზას β -ფორმა. როგორც ცნობილია, $d(+)$ გლუკოზაში პირველი კარბონილის ნახშირბადის ატომი დაკავშირებულია ენგბადის ხილით მეხუთე ნახშირბადის ატომთან, და არასტაბილურ ფრუქტოზაში კი მეორე (კარბონილის) ნახშირბადი — მეხუთესთან. თუ ამასთანავე მხედველობაში მივიღებთ, რომ ლერწმის შაქარში ორივე მონოსაქარიდის ნაშთების დაკავშირება გლუკოზიდური ჰიდროქსილების საშუალებით წარმოებს, მაშინ ადვილი წარმოსადგენია ლერწმის შაქრის შენება. მისი სახელწოდება რაციონა-

ლური ნომენკლატურის მიხედვით არის α -გლუკოპირანოზილ—(1,5)— β -ფრუქტოზიდი — (2,5).



ჰიდროლიზის შემდეგ ფრუქტოზას არასტაბილური ფორმა (ფრუქტო-ფუ-რანოზა) გადადის სტაბილურში (ფრუქტო-პირანოზაში).

მ ა ლ ტ ო ზ ა თავისუფალ მდგომარეობაში გავრცელებული არ არის. ის შიილება სახამებლისა და გლიკოგენის ფერმენტული ჰიდროლიზის დროს დიას-ტაზას (ამილაზას) მოქმედებით. მალტოზას ჰიდროლიზის შემდეგ წარმოიშობა გლუკოზას ორი მოლეკულა.

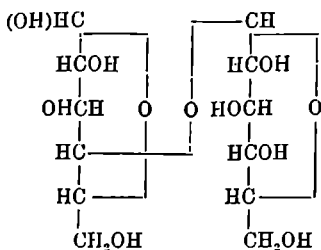


მტკიცდება, რომ ორი გლუკოზის ნაშთი მალტოზაში ისეთნაირად არის შეკავშირებული, რომ ერთი გლუკოზას გლუკოზიდური ჰიდროქსილი თავისუფალი რჩება. რაციონალური ნომენკლატურის მიხედვით მალტოზა არის α -გლუკოპირანოზილ—(1,5)—4- α -გლუკოპირანოზა—(1,5).

მალტოზაზე მოქმედებს α -გლუკოზიდაზა, რაც იმას ამტკიცებს, რომ მის შენებაში მონაწილეობას ღებულობს α -გლუკოზა.

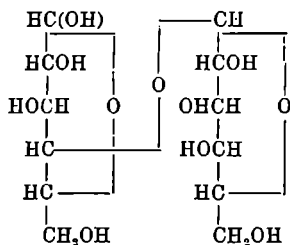
მალტოზა ადვილად განიცდის ჰიდროლიზს მეთავების ზემოქმედებით, მაგრამ უფრო ძნელად, ვიდრე ლერწმის შაქარი.

ც ე ლ ო ბ ი ო ზ ა. ამ დისაქარიდს იგივე ადვილი უჭირავს ცელულოზას ჰიდროლიზურ დაშლაში, რაც მალტოზას სახამებლის ჰიდროლიზის შემთხვევაში. ცელობიოზა აშენებულია ორი d(+)-გლუკოზისაგან. იგი მალტოზასაგან განსხვავდება იმით, რომ ამ დისაქარიდის შენებაში მონაწილეობას ღებულობს β -გლიკოზიდური კავშირი.



ცელობიოზა რაციონალური ნომენკლატურის მიხედვით არის β-გლუკო-პირანოზილ — (1,5) —4—გლუკოზა (1,5).

ლაქტოზა ანუ რძის შაქარი. მისი რაოდენობა რძეში 5% აღწევს. მის შენებაში მონაწილეობას ლებულობს d(+) გალაქტოზას β-ფორმა და α-გლუკოზა. ჰიდროლიზურ დაშლას მკავების მოქმედებით უფრო ძნელად განიცდის, ვიდრე მალტოზა. ლაქტოზაში გლუკოზას გლუკოზიდური ჰიდროქსილი თავისუფალი რჩება; ამის გამო ლაქტოზას ანახიათებს კარბონილის ჭკუფის რეაქციები (მაგალითად, ფელინგის სითხის აღდგენა).



რაციონალური ნომენკლატურის მიხედვით ლაქტოზა არის გალაქტოპირანოზილ (1,5) —4—α-გლუკოზა (1,5).

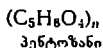
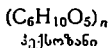
ბრომიანი წყლით დაეანგვიას ლაქტოზა იძლევა ლაქტობიონის მკავეს, რომლის ჰიდროლიზისას წარმოიშობა d(+) გალაქტოზა და d(+) გლუკონის მკავე. ეს რეაქცია მოწმობს იმას, რომ ლაქტოზაში გლუკოზას გლუკოზიდური ჰიდროქსილი თავისუფალია.

§ 8. პოლისაქარიდები (პოლიგლუკოზიდები)

პოლისაქარიდები ბუნებაში ფართოდაა გავრცელებული, განსაკუთრებით მცენარეულობაში. მათი ფიზიოლოგიური მნიშვნელობა იმაში გამოიხატება, რომ ისინი ორგანიზმისათვის ძირითად ენერგეტიკულ მასალას წარმოადგენენ. მცენარეთა ორგანიზმისათვის მათი მნიშვნელობა კიდევ უფრო დიდდება, რადგან ზოგიერთი მათგანი საყრდენი ნივთიერების როლს ასრულებს.

დიდი გამოყენებითი მნიშვნელობა აქვს პოლისაქარიდებს მრეწველობაში. საკმარისია გავიხსენოთ, რომ ბამბისა და სელის ქსოვილები, ქაღალდი და ზელოვნური აბრეშუმები წარმოადგენენ ან წმინდა ცელულოზას, ან ცელულოზის გარდაქმნის პროდუქტებს.

პოლისაქარიდების უმეტესი ნაწილი წყალში არ იხსნება და თუ გაიხსნა, მათ ნამდვილი ხსნარის თვისებები არა აქვთ. პოლისაქარიდები მიკროკრისტალური შენების მქონე ნივთიერებებს წარმოადგენენ; იძლევიან კოლოიდურ ხსნარებს. ჰიდროლიზური დაშლის შედეგად იძლევიან მონოსაქარიდებს. არჩევენ ორჯეარ პოლისაქარიდებს — პენტოზანებსა და ჰექსოზანებს. იმისდა მიხედვით, თუ რომელი მონოსაქარიდი (პენტოზა თუ ჰექსოზა) მონაწილეობს შენებაში. მათი ემპირიული ფორმულა იქნება:



ნიშანი n ნიშნავს მონოსაქარიდების ნაშთების რაოდენობას პოლისაქარიდების რთულ მოლეკულაში. როგორც ირკვევა, n საკმაოდ დიდ რიცხვს წარმოადგენს.

პოლისაქარიდების შენების გარკვევის დარგში უკანასკნელ დროს მიღებულია შესანიშნავი შედეგები. ამ მაღალმოლეკულური ნაერთების თვისებების შესაწავლად და მათი ნაწილაკების გეომეტრიული კონფიგურაციის დასადგენად დამუშავდა რენტგენოგრაფიისა და ელექტრონული მიკროსკოპიის სპეციალური მეთოდები. ამ მეთოდებს ის უპირატესობა ენიჭება, რომ შესაძლებელი ხდება პოლისაქარიდების შესწავლა დაზიანების აცილების პირობებში. ამას ფრიად დიდი მნიშვნელობა აქვს, რადგან მაღალმოლეკულური პოლისაქარიდი გამოყოფისას ღრმა ცვლილებებს განიცდის. თავისუფალი ფუნქციონალური ჯგუფების რაოდენობისა და მდებარეობის განსაზღვრისათვის გამოყენებული იყო აცტილირება და მეთილირება რბილ პირობებში.

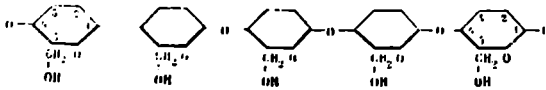
სახამებელი არის ნაწილობრივად გაზის ასიმილაციის საბოლოო პროდუქტი, რომელსაც მწვეანე მცენარეები აწარმოებენ. სახამებელი მცენარეში სათადარიგო ნივთიერების როლს ასრულებს და იხარჯება მოთხოვნილებისამებრ ენერგეტიკულ პროცესებზე. ის გროვდება ქლოროპლასტებში, ე. ი. პროტოპლაზმის იმ ნაწილში, რომელიც ქლოროფილს შეიცავს. აქ წარმოშობილი გლუკოზა მოხმარდება ან ენერგეტიკულ პროცესებს, ანდა ინახება სათადარიგოდ სპეციალურ საწყობებში. ასეთ საწყობებს მცენარეში წარმოადგენს, მაგალითად, თესლი, სადაც ზოგიერთ შემთხვევაში სახამებლის რაოდენობა აღწევს მშრალი ნივთიერების თითქმის 65—75%-ს.

სახამებელი გროვდება განსაზღვრული სიდიდის მქონე მარცვლების სახით. გარეშე შრეები, მარცვლის გარსი, ამილოპექტინს წარმოადგენს, შიგ მარცვალში კი მოთავსებულია ამილოზა. სახამებელი ცხელი წყლით დამუშავებისას იძლევა წებოს, რაც დამოკიდებულია ამილოპექტინზე. ამილოპექტინი წყალში არ იხსნება, მხოლოდ ფუჭდება, მაშინ როდესაც ამილოზა კოლოიდურ ხსნარს ქმნის. როდისაგან ამილოზა იღებება ლურჯად, ხოლო ამილოპექტინი იძლევა იისფერს. მამსადამე, სახამებელზე იოდის ფერადი რეაქცია ამილოზაზე ყოფილა დამოკიდებული. ამილოზას რაოდენობა ხორბლეულის სახამებელში ამილოპექტინზე 2—4-ჯერ ნაკლებია.

ამილოზა და ამილოპექტინი პოლიდისპერსული ნაერთებია. იმისდა მიხედვით, თუ რა იყო ამილოზას წყარო და როგორ დამზადდა პრეპარატი, გლუკოზის ნაშთების რაოდენობა ამილოზას მოლეკულაში მერყეობს 200—1000 ფრაგლებში. ამილოპექტინის მოლეკულაში გლუკოზის ნაშთების რაოდენობა გაცილებით მეტია — 2000—22000.

ზემოხსენებულადან გამომდინარე ნათელია, რომ არც ამილოზას და არც ამილოპექტინს გარკვეული მოლეკულური წონა არა აქვთ. საერთოდ მიღებული

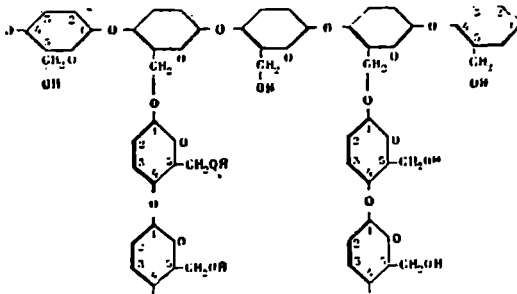
ლია, რომ ამილოზას მოლეკულური წონა 160.000 და მეტია, ხოლო ამილოპექტინისა კი აღწევს 400.000 და კიდევ მეტს.



ამილოზას ჯაჭვის შენება

რენტგენოგრაფიული ანალიზით ირკვევა, რომ ამილოზაში რამდენიმე ჯაჭვი სივრცეზე კონებად განეწყობა. ჯაჭვების ერთიმეორესთან დაკავშირება გარდღივარდმო წყალბადის ბმების საშუალებით ხერხდება.

რაც შეეხება ამილოპექტინს, მის ნაწილაკში ცალკეული ჯაჭვი, სადაც გლუკოზას ნაშთები ერთიმეორესთან დაკავშირებულია 1,4 ბმით, კიდევ დამატებით ურთიერთკავშირდება გლუკოზას ნაშთები 1,6 ბმით. ამ შემთხვევაში ჯაჭვება გარდღივარდმო კავშირდება ქიმიური ბმით და ბადისებური სტრუქტურა წარმოიშობა.



ამილოპექტინის ჯაჭვის შენება

ამგვარად. ამილოზა ქმნის ერთგანზომილებიან ძაფისებურ, ფიბრილარულ მოლეკულებს. ხოლო ამილოპექტინი — სამგანზომილებიან, დატოტვილი სტრუქტურის მქონე მოლეკულებს.

ამილოზასი და ამილოპექტინის ჰიდროლიზური დაშლის უკანასკნელი პროდუქტი α -გლუკოზაა. მაგრამ ვიდრე ეს პროდუქტი მიიღება, დაშლა გაივლის მთელ რიგ შუალედ პროდუქტებს. ჰიდროლიზური დაშლის პირველი პროდუქტი დექსტრინებია. დექსტრინების მთელ რიგ საფეხურებს ანსხვავებენ, რომლებიც ერთიმეორისაგან განირჩევიან ნაწილაკის შენების სირთულით, ხსნადობით. ფელინგის სათხეზე მოქმედებით და სხვ.

სახამებლის ფერმენტული ჰიდროლიზი იძლევა დისაქარიდ მალტოზას იმ შემთხვევაში, თუ ვიხმართ ფერმენტ დიასტაზას ან ამილოზას. ამ ფერმენტების მოქმედების უკანასკნელი პროდუქტი მალტოზაა. სრული ჰიდროლიზური დაშლისათვის საჭიროა კიდევ ერთი ფერმენტული სისტემა — მალტაზა, რომლის ზემოქმედების შედეგად ვღებულობთ გლუკოზას.

სახამებლის მეორე დამახასიათებელი ფერმენტული გარდაქმნა არის ფოსფოროლიზი. ფერმენტ ფოსფორილაზის ზემოქმედებით აქტივდება სახამებლის საფეხურებრივი დაშლა ფოსფორის მექავით, რის შედეგად საბოლოო პროდუქტი

ტის სახით წარმოიშობა გლუკოზო-1- ფოსფატი. ეს რეაქცია შექცევადია. შესაფერის პირობებში გლუკოზო-1-ფოსფატისაგან იქმნება სახამებელი.

გლიკოგენი წარმოადგენს ცხოველთა ორგანიზმების სათადარიგო ნახშირწყალს; ის შედარებით დიდი რაოდენობით გროვდება ღვიძლში, შემდეგ კუნთოვან ქსოვილში და ზოგიერთ სხვა ორგანოში. გლიკოგენი აგრეთვე საფუვრებისა და ბაქტერიების სათადარიგო ნახშირწყალია. გლიკოგენისათვის დამახასიათებელია კონცენტრირებული ტუტეების მიმართ გამძლეობა. იოდისაგან გლიკოგენი იღებება იისფრად ან ყავისფრად. ა-გლუკოზა გლიკოგენის პირობით დაშლის უკანასკნელი პროდუქტია. ეს პროცესი სავსებით ემსგავსება სახამებლის დაშლას, ე. ი. წარმოიშობა დექსტრინების საფეხურების მთელი რიგი. ამილზას მოქმედება აქვე მთავრდება მალტოზას წარმოშობით.

მრავალი საბუთი არსებობს ვიფიქროთ, რომ გლიკოგენი ამილოპექტინის მსგავსი ნაერთია. გლიკოგენის ნაწილაკში გლუკოზას ჯაჭვები ამილოპექტინთან შედარებით კიდევ უფრო მეტადაა დატოტვილი და მოლეკულური წონა რამდენიმე ასეულ ათასს და მილიონს აღწევს.

ინულინი წარმოადგენს ფრუქტოზას ანჰიდრიდის პოლიმერიზაციის პროდუქტს. ზოგიერთ მცენარეში ის სახამებლის როლს ასრულებს, როგორც მაგალითად გეორგინებში. ფიზიკური თვისებების მხრივ ის სახამებლისაგან განსხვავდება წყალში ადვილი ხსნადობით, აქვს მკაფიოდ გამოხატული კრისტალური შენება, რაც დამტკიცებულია რენტგენოგრაფიული ანალიზით.

ისე, როგორც სახამებელი და გლიკოგენი, ინულინი იძლევა კოლოიდურ ხსნარს. მთავარი განსხვავება დანარჩენი პოლისაქარიდებისაგან მდგომარეობს იმაში, რომ ინულინი ფრუქტოფურანოზას ნაშთებს შეიცავს. მცენარეში მისი პირობითი წარმოებს სპეციფიკური ფერმენტის ინულაზას საშუალებით.

საინტერესოა აღინიშნოს, რომ ზორბლეულის მარცვლის დამწიფების დასაწყისში ინულინი შეადგენს მშრალი ნივთიერების 30%-ს.

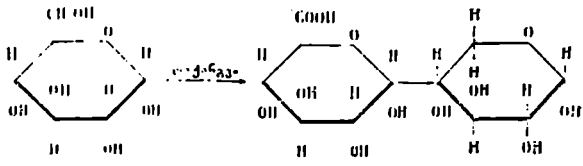
ფრუქტოფურანოზას ნაშთები ინულინის მოლეკულაში დაკავშირებულია ბმებით β-2,1.

ჰემიცელულოზები. ამ სახელწოდებით გაერთიანებულია სხვადასხვა პოლისაქარიდი; ქიმიური შენებისა და ფიზიოლოგიური დანიშნულების მხრივ სახამებელსა და ცელულოზას შორის საშუალო ადგილს იკავებს.

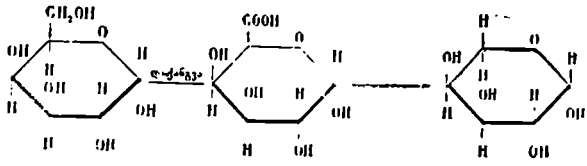
ეს ნაერთები ცელულოზასა და პენტოზანებთან ერთად მონაწილეობასღებულობს მცენარეთა უჯრედის კედლის შენებაში. მაგრამ მათი მნიშვნელობა მხოლოდ ამით არ ისაზღვრება. როგორც ირკვევა, ჰემიცელულოზები ასრულებს ამავე დროს სათადარიგო, ენერგეტიკული მასალის როლს. ჰემიცელულოზას ჯგუფში გაერთიანებულია ნაერთების მთელი რიგი. ამ ჯგუფს ეკუთვნის აგრეთვე პენტოზანებიც. ჰექსოზანებიდან მეტი გავრცელება აქვს მანანებსა და გალაქტანებს.

პენტოზანები წარმოადგენენ პენტოზების ანჰიდრიდებს. პენტოზანები გავრცელებულია ბუნებაში არაბანებისა და ქსილანების სახით. ქსილანით მდიდარია მერქანი და ჩალა. არაბანები უმთავრესად მოიპოვება მცენარეულ წებოში. ეს წებო გამოჟონავს კურკოვანი მცენარის დაზიანებული ადგილიდან და გროვდება კომპაქტური მასის სახით.

ჰემიცელულოზებისა და კერძოდ პენტოზანების წყაროდ მცენარეში უნდა წარმოვიდგინოთ გლუკოზა და გალაქტოზა. ქვემოთ მოტანილი ფორმულებიდან ირკვევა გლუკოზას გენეზისური კავშირი ქსილოზასთან, ხოლო გალაქტოზასი — არაბინოზასთან.



d (+) გალუკოზა d (+) გლუკურონის მჟავა d (+) ქსილოზა



d (+) გალაქტოზა d (+) გალაქტურონის მჟავა d (-) არაბინოზა

უმეტეს შემთხვევაში ჰემიცელულოზას ჰიდროლიზის შედეგად მიიღება არა ერთი შაქარი, არამედ ნარევი. ამიტომ ჰემიცელულოზები წარმოადგენენ კომპლექსურ პოლისაქარიდებს: გალაქტო-მანანებს, გალაქტო-არაბანებს, მანოზო-არაბანებს და სხვ.

ც ე ლ უ ლ ო ზ ა. ცელულოზა მცენარეული უჯრედის კედლის მთავარი შემადგენელი ნაწილია. ცელულოზას გარდა უჯრედის კედლის შემადგენლობაში მონაწილეობას ღებულობს დანართ ნივთიერებათა მთელი რიგი. ეს ნივთიერებანი გაერთიანებულია ინკრუსტების სახელწოდებით. სუფთა ცელულოზას წარმოადგენს ბამბა.

წყალში და ორგანულ გამხსნელებში ცელულოზა სრულიად არ იხსნება; სამაგიეროდ კარგად იხსნება სპილენძის ჰიდრატის ამონიაკურ ხსნარში (ეგრეთ უოდებულ შვეიცერიის რეაქტივში). ცელულოზაზე განზავებული მჟავები და ტუტეები ვერ მოქმედებენ. კონცენტრირებული მჟავების ზემოქმედებით (40% მარილისა და 72% გოგირდის მჟავა) ცელულოზა იძლევა ჰიდროლიზის საბოლოო პროდუქტის სახით β-გლუკოზას. ჰიდროლიზური დაშლა მიმდინარეობს საფეხურებით; დაშლის პირველ საფეხურს წარმოადგენს ამილოიდი. ამილოიდს იგივე ადგილი უჭირავს ცელულოზას მიმართ, რაც დექსტრინებს სახამებლის შემთხვევაში. ფრაქციული ჰიდროლიზის დროს ცელულოზასაგან მიიღება დისაქარიდი ცელობიოზა.

ცელულოზა ტიპურ მაღალმოლეკულურ ნერთს წარმოადგენს. იმისდა მიხედვით, თუ რომელი ობიექტიდან და როგორ იყო დამზადებული პრეპარატი, მოლეკულური წონა მერყეობს 200 000-დან 1 500 000-მდე. ნაწილაკის შენებაში მონაწილეობას ღებულობს 1500—10000 გლუკოზას ნაშთი. ცელულოზას სტრუქტურულ ელემენტად ითვლება ცელობიოზა. ეს დისაქარიდი ერთიმეორესთან გრძელი ჭაჭვის წარმოშობით კავშირდება. ცელულოზასათვის დამახასიათებელია მოლეკულის ფიბრილარული შენება. თითოეულ ფიბრილში ანუ მიცელაში რამდენიმე ჭაჭვი ლაგდება. მიცელაში ჭაჭვების ურთიერთკავშირი თავისუფალი ჰიდროქსილების წყალბადების საშუალებით ზორციელდება. წყალბადის ბმის ენერგია დიდ ოდენობას არ აღწევს, მაგრამ მხედველობაში

მისაღება ის გარემოება, რომ დაკავშირება წყალბადის მრავალი ხიდაკით წარმოებს და ამიტომ მიცელა ერთ მთლიან ერთეულს ქმნის, სადაც ჯაჭვება მკიდროდაა დაკავშირებული. ელექტრონული მიკროსკოპი საშუალებას იძლევა დაინახოთ მერქანში და ბოქვოში მიცელების განლაგება. ეს განლაგება გარკვეულ კანონზომიერებას ექვემდებარება. მერქანში მიცელები ბადისებურ სტრუქტურას ქმნიან, ხოლო ბოქვოში გაკიმულია გრძელი ღერძის მიმართულბით.

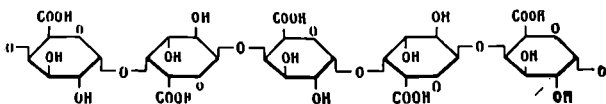
§ 8. ნახშირწყლის მონათესავე ნაერთები

ნივთიერებათა ამ ჯგუფში მოქცეულია ისეთი ნაერთები, რომლებიც გენიზისურად ნახშირწყლებთანაა დაკავშირებული. ეს ნაერთები თავისთავად ნახშირწყლებს არ წარმოადგენენ, რადგან მთავარი პირობა, რომლითაც ნახშირწყლები სხვა ნივთიერებებისაგან განსხვავდებიან, სახელდობრ, წყალბადის და ჟანგბადის 2:1 შეფარდება, აქ უკვე დარღვეულია. მაგრამ ამავე დროს მრავალი ქიმიური და ფიზიკური თვისება, მათი წარმოშობა და ბიოლოგიური დანიშნულება უფლებას გვაძლევს ისიხი ნახშირწყლებთან ერთად განვიხილოთ.

პ ე კ ტ ი ნ ი ს ნ ი ვ თ ი ე რ ე ბ ა ნ ი. პექტინის სახელწოდებითაა ცნობილი კოლოიდური თვისებების მქონე ნაერთი, რომელიც გავრცელებულია მცენარეულობაში. განსაკუთრებით მდიდარია პექტინით ზოგიერთი ნაყოფი (ვაშლი, ღომიანი, მსხალი, ატამი და სხვ.) და ძირნაყოფი (კარხალი, სტაფილო, ხახვი და სხვ.). პექტინი შექართან და ორგანული მჟავების ხსნართან გაცხელებისას იძლევა ჟელეს.

პექტინის ძირითად ნივთიერებად უნდა ჩაითვალოს პროტოპექტინი. პროტოპექტინი სპეციფიკური ფერმენტის მოქმედებით ან წყალთან გაცხელებისას გადადის ჰიდრატოპექტინში; ეს გარდაქმნა დამოკიდებულია პექტინის კავშირების მოსობაზე ცელულოზასთან და არაბანებთან. ჰიდრატოპექტინი უკვე კოლოიდურ ხსნარს იძლევა და, როგორც ირკვევა, წარმოადგენს პექტინის მჟავას ესთერს მეთილის სპირტთან.

სპეციფიკური ფერმენტის პექტაზას პექტინზე (ჰიდრატოპექტინზე) მოქმედებით თავისუფლდება მეთილის სპირტის ნაშთები და პექტინის მჟავა მიიღება. პექტინის მჟავას ჟელეს მოცემის უნარი უკვე არა აქვს. პექტინის მჟავა, ქიმიური თვალსაზრისით, პოლიგალაქტურონის მჟავას წარმოადგენს. მის შენებაში მონაწილეობას ღებულობს 150—200 გლუკურონის მჟავას ნაშთი.



პოლიგალაქტურონის მჟავა

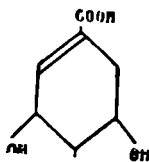
მეთილის სპირტის ნაშთები ჩაინაცვლება პოლიგალაქტურონი¹ მჟავას კარბოქსილის ჯგუფებში.

იმისდა მიხედვით, თუ რომელი ობიექტიდან მზადდება პექტინი, მისი შეზღვეულობა დიდად იცვლება. განსხვავება გაპირობებულია გალაქტურონის მჟავების რაოდენობით, მეთილის სპირტის ნაშთების რიცხვით და ჰემიციელოზასთან დამოკიდებულებით.

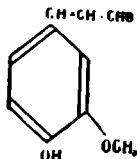
ჰემიცელულოზებთან და პექტინის ნივთიერებებთან ახლოს დგას მცენარეული გუმები და ლორწოები. ეს კავშირი შედგენილია იმით, რომ ამ ნაერთების ჰიდროლიზისას წარმოიშობა გალაქტოზა, არაბინოზა, ქსილოზა და ურონის მჟავები (გალაქტურონისა და გლუკურონის მჟავები).

ლიგნინი. ნორჩი მცენარის უჭრელის კედლები უპთავრესად ამუწებულია ცელულოზასაგან. გახევების პროცესში ცელულოზასთან ერთად მცირდება პექტინის ნივთიერების რაოდენობა და მერქანში, მთავარი დანართი ნივთიერების სახით, წარმოიშობა ჰემიცელულოზა და ლიგნინი. ლიგნინი ამუწებულია არომატული კომპონენტებისაგან.

ლიგნინის წყაროდ უნდა ჩაითვალოს შიკიმის მჟავა, რომელიც ერთდროულად მოიხმარება არომატულ ამინომჟავათა (ფენილალანინისა და თიროზინის) სინთეზისათვის.



შიკიმის მჟავა



კონიფერილის ალდეჰიდი

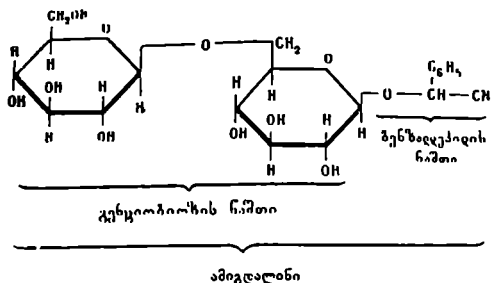
ქიმიური რეაგენტების მოქმედებით ლიგნინი უფრო ადვილად განიცდის გარდაქმნას, ვიდრე ცელულოზა; ბიოლოგიური აგენტების მოქმედებით კი — პირიქით. ბიოლოგიური აგენტების მიმართ ლიგნინის გამძლეობით აიხსნება ქვანახშირის დაგროვება გეოლოგიურ პერიოდებში.

ლიგნინი მაღალმოლეკულურ ნაერთთა ჯგუფს ეკუთვნის. მისი ნაწილაკის ძირითადი სტრუქტურული ელემენტი არის კონიფერილის ალდეჰიდი.

კონიფერილის ალდეჰიდის შენებაში მონაწილეობას ღებულობს პოლიფენოლი, სადაც ჩანაცვლებულია მეთილის სპირტის ნაშთები. ამ ალდეჰიდის რამდენიმე ათეულის კონდენსაციის შედეგად წარმოიშობა ლიგნინის რთული მოლეკულა.

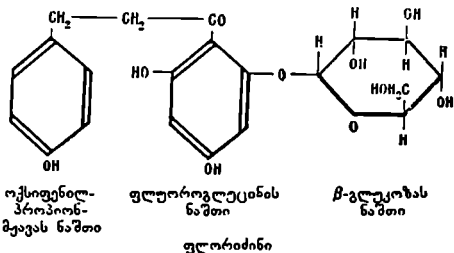
გლიკოზიდები (ჰეტეროგლიკოზიდები). როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, შიკიმში ალდეჰ-და კეტო-ჯგუფებს აქვთ ნახევრად აცეტალის შენება. კარბონილის ჯგუფის თავისებური შენების გამო მასში დაკავშირებულ ჰიდროქსილს ეწოდება გლუკოზიდური ჰიდროქსილი. ამ ჰიდროქსილის სივრცეში განწყობისა და მასთან დაკავშირებული ნაშთების მიხედვით არჩევენ α- და β-გლიკოზიდებს. ამგვარ ნაერთებს დისაქარიდების სახით ჩვენ უკვე გავიცანით. გლიკოზიდების სახელწოდებით ცნობილია ისეთი ნაერთები, სადაც გლუკოზა თავისი გლუკოზიდური ჰიდროქსილის საშუალებით დაკავშირებულია არომატულ ბირთვთან. ნივთიერებათა ამ ჯგუფს ჰეტეროგლიკოზიდი ეწოდება, ხოლო მასში შემავალ არანახშირწყლოვან ნაშთს — აგლიკონი.

ამიგდალინი მჟავური ჰიდროლიზის შედეგად იძლევა ორ მოლეკულა გლუკოზას, ბენზონის ალდეჰიდს და ციანწყალბადს; იგი წარმოადგენს β-გლუკოზიდს. მჟავას მსგავს მოქმედებას ამიგდალინზე იჩენს ფერმენტი ემულსინი. ამიგდალინი გავრცელებულია კურკოვან მცენარეთა ფოთოლში და ნაყოფის კურკაში. განსაკუთრებით მდიდარია ამიგდალინით მწარე ნუშის ნაყოფი.



ამიგდალინი წარმოადგენს დისაქარიდი გენციბიოზას გლიკოზიდს.

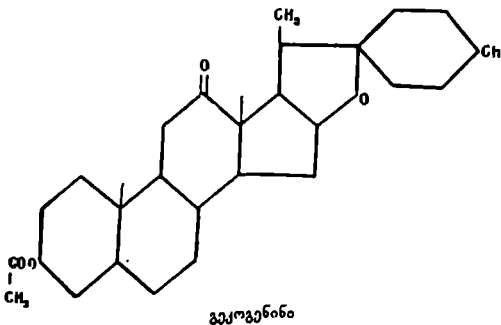
ფლორიდინი აშენებულია გლუკოზასა და ფლორეტინისაგან. ფლორეტინი წარმოადგენს ოქსიფენილპროპიონის შეყვას კონდენსაციის პროდუქტს ფლოროგლუცინთან.



ფლორიდინის ხსნარის შეყვანა ცხოველთა ორგანიზმში იწვევს გლუკოზურას (შარდში შაქრის გამოყოფას).

საპონინები რთული შენების ნაერთებია. ქიმიური შენების მიხედვით აგრეთვე გლუკოზიდებს ეკუთვნიან, სადაც შაქართან დაკავშირებულია ფენანტენა ბირთვი.

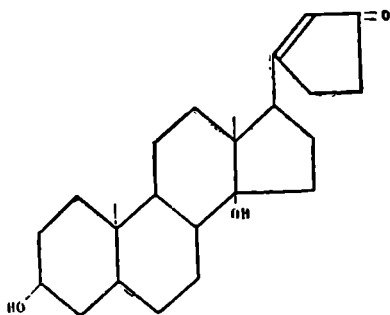
ამ ჯგუფში გაერთიანებულია ნაერთების მთელი რიგი, რომლებიც მძლავრ ტოქსიკურ მოქმედებას იჩენენ ცხოველის ორგანიზმზე. საპონინებიდან მეტი გაზოყენება პოვა გეკოგენინმა, რომელიც აღმოჩენილ იქნა ავაჯაში.



გეოგენინი თავისი შენებით უახლოვდება კორტიკოსტეროიდებს, ბაზელ-დობრ კორტიზონს.

საპონინების სახელწოდება მიენიქათ მათი ხსნარების აქაფების გამო ნჯღრევის დროს; ქოლესტერინის მოქმედებით ისინი არახსნადი ორმაგი ნაერთის წარმოშობის გამო ტოქსიკური მოქმედების უნარს კარგავენ. გლიკოზიდების ჯგუფს უნდა მივაკუთვნოთ აგრეთვე ანტოციანები, ფლავონები და მთელი რიგი სხვა ნაერთები.

გ უ ლ ი ს გ ლ ი კ ო ზ ი დ ე ბ ი ს სახელწოდებით ცნობილია ისეთი ჰეტეროგლიკოზიდები, რომელთაც მძლავრი მოქმედების უნარი ახასიათებს გულას კუნთზე. ეს ნაერთები დამახასიათებელია მცენარეთათვის (დიგიტოქსიგენინი), შავრამ ზოგაერთი მათგანი გვხვდება გომბეზოს ლორწოში. ამ ნაერთებში საპონინების მსგავსად აგლიკონის სახით წარმოდგენილია ფენანტრენის ბირთვის ღერიატები.



დიგიტოქსიგენინი

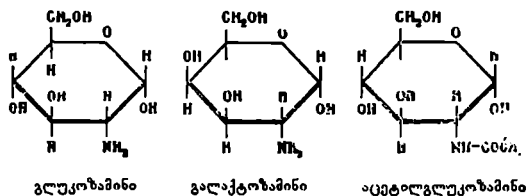
ამინოშაქრები წარმოდგენენ ჰექსოზების ღერიატს, სადაც მეორე ნახშირბადთან ჩანაცვლებულია ამინის ჯგუფი. ამინოშაქრებიდან მეტი გავრცელება აქვს გლუკოზამინს და გალაქტოზამინს (ქონდროზამინს). ეს ნაერთები უფრო დამახასიათებელია ცხოველთა ორგანიზმისათვის. მრავალ შემთხვევაში ისინი აცეტილირებას განიცდიან და ქმნიან აცეტილ-ღერიატებს (აცეტილგლუკოზამინი, აცეტილგალაქტოზამინი).

ამინოშაქრები მონაწილეობას ღებულობენ მთელი რიგი ნაერთების შენებაში (ქიტინი, გიალურონის მჟავა, ჰეპარინი, ქონდროიტინგოგირდის მჟავა, ნეიჩამინის მჟავა და ბაქტერიული პოლისაქარიდები).

შემეერთებელი ქსოვილის უჯრედის გარეშე სივრცე შეიცავს ე. წ. ბაზალურ ნივთიერებას, რომლის შემადგენლობაში ცილების გარდა მონაწილეობას ღებულობს მუკოპოლისაქარიდები. მუკოპოლისაქარიდების რაოდენობა ბაზალურ ნივთიერებაში აღწევს 5%-ს. მათ შორის უფრო მეტი რაოდენობით წარმოდგენილია გიალურონისა და ქონდროიტინგოგირდის მჟავა.

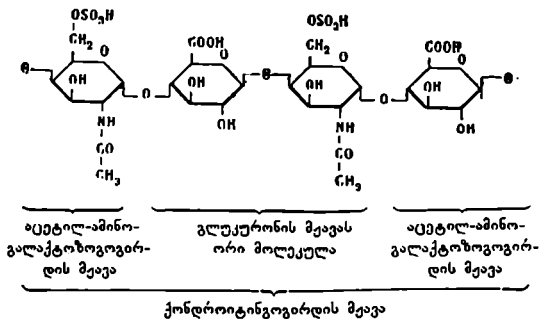
ქ ი ტ ი ნ ი ფართოდ არის გავრცელებული ბუნებაში. მისგან აშენებულია რიგი უხერხემლო ცხოველთა გარე გარსი, მაგალითად, მწერების, კიბობების

და სოკოების. ქიტინის შენებაში მონაწილეობას ღებულობს აცეტილგლუკოზა-
მინის ნაშთები, რომელიც ერთმანეთს უკავშირდებიან 1,4 გლუკოზიდური
ბმებით. ამ ნაშთების ჩაოდენობა მოლეკულაში რამდენიმე ასეულს აღწევს.



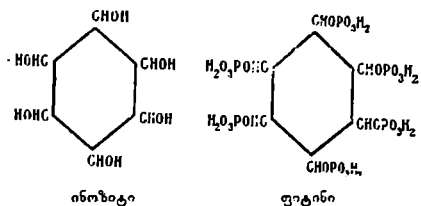
გ ი ა ლ უ რ ი ს მ ე ა ე ა. აცეტილგლუკოზამინი გლუკორონის მეყავას-
თან ერთად წარმოადგენს მუკოპოლისაქარიდის — გიალურონის მეყავას სტრუქ-
ტურულ ელემენტს. გიალურონის მეყავას საშუალებით ხდება ცხოველთა შემა-
ერთებელ ქსოვილთა სისტემების ურთიერთშეკავშირება. ინვაზიურ ბაქტერი-
ებში, ფუტკრისა და გველის შხამში წარმოდგენილია ფერმენტი გიალურონი-
დაზა, რომელიც ჰიდროლიზურად შლის მუკოპოლისაქარიდს და ეს ხელს უწყობს
შხამის ქსოვილში შესვლას.

აცეტილგლუკოზამინი და აცეტილქონდროზამინი მონაწილეობას ღებულო-
ბენ მუკოიტინ-და ქონდროიტინგოგირდის მეყავას შენებაში. გიალურონის მე-
ყავას მსგავსად მუკოიტინ-და ქონდროიტინგოგირდის მეყავა მაღალმოლეკულური
ნაერთებია. მონაწილეობას ღებულობენ რთული ცილების — მუცინებისა და
მუკოიდების შენებაში. აცეტილამინოშაქრების გარდა მუკოიტინ-და ქონდრო-
იტინგოგირდის მეყავაში წარმოდგენილია გლუკორონისა და გოგირდის მეყავა.



ჰ ე პ ა რ ი ნ ი გავრცელებული ნაერთია ცხოველთა ორგანიზმში. შედარკ-
ბით დიდი რაოდენობით წარმოდგენილია ღვიძლში. ჰეპარინის ბიოლოგიური
დანიშნულება იმაში გამოიხატება, რომ ის სისხლის შეღებებას აკავებს ტრომ-
ბოკინაზას შებოჭვის გამო. ჰეპარინი იხმარება როგორც სტაბილიზატორი
სისხლის გადასხმის დროს და აგრეთვე როგორც ტრომბოზების ამცილებელი.
ჰეპარინი შეიცავს მუკოიტინგოგირდის მეყავას. მის შენებაში მონაწილე-
ობას ღებულობს: გლუკოზამინი, გლუკორონისა და გოგირდის მეყავა. ასეთი
ნაერთები უკანასკნელ დროს აღმოჩენილია ზღვის წყალმცენარეებშიაც.

ინოზიტო (ინოზიტოლი). ფიტინი. ინოზიტის ემპირიული ფორ-
 მულა — $C_6H_{12}O_6$ — ჰექსოზების მსგავსია, მაგრამ ჰექსოზებისგან განსხვავდება
 სტრუქტურით; ის წარმოადგენს ციკლური შენების მქონე ექვსატომიან სპირტს.



ინოზიტი შედარებით დიდი რაოდენობით მოიპოვება მცენარეულ თესლში და კუნთოვან ქსოვილში. მცენარეში ინოზიტი დაკავშირებულია ექვს მოლეკულა ფოსფორის მჟავასთან. ეს ნაერთი, ფიტინის სახელწოდებით ცნობილი, წარმოადგენს ორგანული ფოსფორით ყველაზე უფრო მდიდარ ნივთიერებას. ფერმენტ ფიტაზას მოქმედებით ფიტინი განიცდის ჰიდროლიზურ დაშლას: თავისუფლდება ფოსფორის მჟავა და ინოზიტი. საინტერესოა აღინიშნოს, რომ მცენარეულ თესლში ფოსფორის მჟავა უმთავრესად ფიტინშია დაკავშირებული.

ინოზიტი და მისი ფოსფორის ესთერები ვიტამინებისა და ზრდის სტიმულატორების როლს ასრულებენ. დი-და ტრიფოსფორმჟავას ესთერის სახით ინოზიტი მონაწილეობას ღებულობს ფოსფოინოზიტიდების შენებაში.

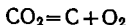
ნახშირწყლების ცვლა

როგორც აღნიშნული იყო, ნახშირწყლები გამოიყენება ორგანიზმის მიერ, უმთავრესად. როგორც ენერგეტიკული მასალა. ამასთანავე, ნახშირწყლები წარმოადგენენ წყაროს მრავალი სხვა ნაერთის შექმნისათვის. გარდა ამისა, მცენარეულ ორგანიზმში ნახშირწყლები ასრულებენ მექანიკურ ფუნქციას. მცენარეებსა და ცხოველებს შორის ნახშირწყლების ცვლის მხრივ დიდი განსხვავებაა. მცენარეში ერთდროულად მიმდინარეობს ორი საწინააღმდეგო პროცესი: ნახშირწყლების შექმნა არაორგანული ნაერთებიდან და მათი როგორც ენერგეტიკული მასალის მოხმარება

ნახშირწყლების სინთეზის უნარი ატმოსფერული ნახშირორჟანგიდან ცხოველებს არა აქვთ. მეორე განსხვავება მდგომარეობს იმაში, რომ მცენარეთა ორგანიზმებში წარმოდგენილია ნახშირწყლების მრავალი სახე, მაშინ როდესაც ცხოველთა ორგანიზმში ასეთი ღირებულება ადგილი არა აქვს.

§ 1. ნახშირწყლების შექმნა მყვან მცენარის მიერ

ნახშირწყლების შექმნის პროცესი მცენარეში გამოიხატება იმაში, რომ ჰაერიდან მცენარე ითვისებს ნახშირორჟანგს. ადგილი აქვს ვითომდა CO₂-ის დაშლას:



ამ განტოლების მიხედვით მიმდინარეობს ფოტოსინთეზის შეჯამებული რეაქცია. ფოტოსინთეზის დროს წარმოებს ნახშირბადის ორჟანგიდან ნახშირწყლების სინთეზი, რისთვისაც საჭიროა ენერჯის დიდი რაოდენობა. მცენარე ამ ენერჯიას ღებულობს მზის სხივების სახით.

მწვანე მცენარის იმ სისტემას, რომელიც ხელს უწყობს სხივიდან ენერჯის პოტენციალურ ენერჯიაში გარდაქმნას, წარმოადგენს მწვანე პიგმენტები: a და b ქლოროფილები. ეს პიგმენტები ასრულებენ ისეთი აპარატის როლს, რომელსაც აქვს სხივის ენერჯის ფიქსაციის უნარი. ქლოროფილი სხივის შთანთქმისას გარდაქმნის სხივურ ენერჯიას ორგანული ნაერთის პოტენციალურ ენერჯიაში. ქლოროფილი ამ შემთხვევაში წარმოადგენს სხივური ენერჯის სენსიბილიზატორს. საჭიროა აღინიშნოს, რომ ქლოროფილის შემოხსენებული უნარი მქდავდება მხოლოდ ცოცხალ უჯრედში.

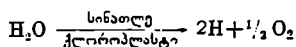
ქლოროფილი მწვანე მცენარეში წარმოდგენილია ქლოროპლასტებში. ქლოროპლასტები ქლოროფილის გარდა სხვა ფერმენტებსაც შეიცავენ. ქლოროპლასტებში ქლოროფილი თანაბრად არ არის განაწილებული. ის დაგროვი-

ლია პროტოპლაზმის გრანულებში. დიდი მუშაობა იყო ჩატარებული იმის გამოსარკვევად, თუ როგორ კავშირდება ქლოროფილი გრანულებში ცილა-მზიდველთან. მაგრამ ეს საკითხი ჯერ კიდევ ღიად რჩება. ჰემოგლობინისაგან განსხვავებით, სადაც ერთ ჰემზე მოდის ცილის ერთი მოლეკულა, ქლოროფილთან დაკავშირებული ცილის რაოდენობა საკმაოდ დიდ ფარგლებში მერყეობს. გრანულები ქლოროფილისა და ცილის გარდა შეიცავს ლიპიდებს, მინერალურ ნივთიერებებს და კაროტინოიდებს.

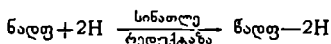
ცილასთან დაკავშირების შედეგად ქლოროფილს ფოტოსინთეზის ცილის უნარი ენიჭება. კ. ტიმირიაზევის მიერ დამტკიცებულია, რომ სხივის შთანთქმის შემდეგ ქლოროფილი ქიმიურად გარდაიქმნება.

რეგოლუციური მნიშვნელობა ფოტოსინთეზის ბიოქიმიკაში ჰქონდა ბლეკმანის შითითებას, რომ ფოტოსინთეზში გაერთიანებულია ორგვარი გარდაქმნა. ერთი რიგი გარდაქმნების მსვლელობა უშუალოდ დაკავშირებულია მზის სხივურ ენერჯიის შთანთქმასთან, ე. წ. სინათლის რეაქცია, ხოლო მეორე რიგის რეაქციები არ საჭიროებს სხივურ ენერჯიას და მიმდინარეობს განათების გარეშე, ე. წ. სიბნელის რეაქცია. სინათლის რეაქცია გაპირობებულია მზის სხივური ენერჯიის გარდაქმნით ქიმიურში, რომლის დროს წარმოიშობა მაკროერგული ნაერთები. მომდევნო სიბნელის რეაქციებში გამოიყენება ზემოთ აღნიშნული „სინთეზის ენერჯია“ ჩვეულებრივი სინთეზური პროცესებისათვის.

ფოტოსინთეზის სინათლის პირველადი რეაქცია არის წყლის ფოტოლიზა, რომელიც ექსპერიმენტულად ნაჩვენებია იყო ქლოროპლასტებში პილის მიერ. ამ რეაქციის მსვლელობის დროს თავისუფლდება აქტიური წყალბადი, რომელიც აღადგენს კოფაქტორს. სადაც აკუმულირდება სხივური ენერჯია. უნდა ვიფიქროთ, რომ ეს ნაერთი არის ნადფ



ფერმენტი, რომელიც ააქტივებს წყალბადის გადატანას ნადფ-ზე, ატარებს პირდინწყლოტიდრედუქტაზას სახელწოდებას.

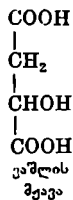
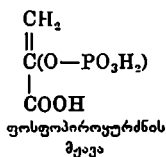
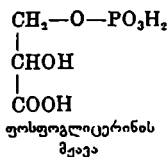


სინათლის რეაქციების შემდეგ ეტაპზე მიმდინარეობს ე. წ. ფოტოსინთეზური ფოსფორილირება, რომლის საბოლოო პროდუქტი იგივეა, რაც ენჯიოთო ფოსფორილირების, ე. ი. ატფ. ამგვარად ირკვევა, რომ სინათლის რეაქცია, რომელიც უშუალოდ ფოტოსინთეზთან არის დაკავშირებული, გამოიყენება მაკროერგული ნაერთის, ატფ-ის წარმოშობისათვის.

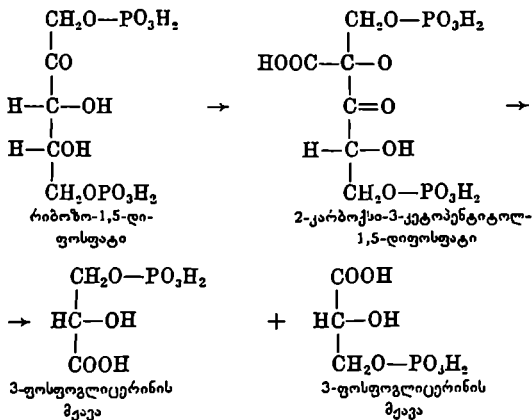
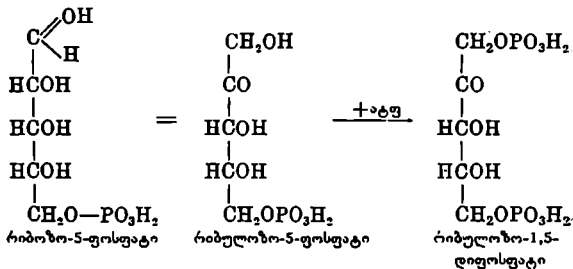
სიბნელის რეაქციის მსვლელობა გაპირობებულია სინათლის რეაქციის დროს სინთეზირებული ატფ-ით. ამ დროს შთანთქმდება CO₂ და წარმოიქმნება ისეთი ნაერთი, რომელიც უკვე მომდევნო რეაქციებში აღდგენას განიცდის. ეს შედეგი მიღებული იყო ცდებით, სადაც ნიშანდებული ნახშირორჟანგი იხმარებოდა.

ცდებში ერთჯერადოვან მწვანე წყალმცენარეებზე ატმოსფერო შეიცავდა ნახშირორჟანგს, რომლის ნახშირბადი წარმოადგენდა რადიოაქტიურ იზოტოპს — C¹⁴. რათა აცილებული ყოფილიყო მეორადი რეაქციები, ცდების ხანგრძლიობა მხოლოდ რამდენიმე სექუნდს უდრიდა. გამოიჩინა, რომ საცდელი ობიექტის

ხუთი სეკუნდით გაშუქებისას, ნიშანდებული ნახშირორჟანგის 87% გადასული იყო ფოსფოგლიცერინის, 10% — ფოსფოპიროუქრძის, ხოლო 3% — ვაშლის მჟავაში.



ფოსფოპიროუქრძისა და ვაშლის მჟავა იქმნება ფოსფოგლიცერინის მჟავას გარდაქმნის მომდევნო რეაქციებში. უნდა ვიგულისხმოთ, რომ ნიშანდებული ნახშირორჟანგი დაკავშირდა რაღაც ნაერთში, რომლის სწრაფმა გარდაქმნამ მოგვცა ფოსფოგლიცერინის მჟავა. კალვინმა აღმოაჩინა, რომ, უპირველეს ყოვლისა, CO₂ უერთდება რიბულოზო-1,5-დიფოსფატს, შემდეგ კი მიღებული ნაერთი განიცდის გარდაქმნას ორ მოლეკულა 3-ფოსფოგლიცერინის მჟავად.



ფოსფოგლიცერინის მჟავა წარმოადგენს ნახშირწყლების გარდაქმნის ერთ-ერთ შუალედ პროდუქტს. ამ ნაერთიდან აღვილი წარმოსადგენია ტრიოზებს

შექმნა. ტრიოზების პოლიმერიზაცია კი ფერმენტ ალდოლაზის მოქმედებით საბოლოოდ გლუკოზას იძლევა.

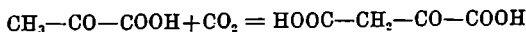
ამგვარად, ფოტოსინთეზის ქიმიური მექანიზმი დღეისათვის შემდეგნაირად გვეხატება:

კლოროფილი მონაწილეობას ღებულობს ორგვარ რეაქციაში: 1) მისი მეოხებით ხდება სხივური ენერჯის შთანთქმა, რაც იწვევს ფოტოქიმიურ რეაქციას და 2) ია მონაწილეობას ღებულობს ქანგვა-აღდგენით რეაქციებში.

§ 2. კემოსინთეზი

ორგანული ნივთიერება დედამიწაზე ძირითადად ფოტოსინთეზის საშუალებით იქმნება. ფოტოსინთეზისათვის გამოიყენება მზის სხივური ენერჯია. ორგანული ნივთიერების შექმნის მეორე წყარო არის ქემოსინთეზი. აქაც ორგანულ ნივთიერებათა სინთეზისათვის აგრეთვე ნახშირორქანგი მოიხმარება. მაგრამ ნახშირორქანგის აღდგენა წარმოებს არა სხივური ენერჯის, არამედ ზხვადასხვა ნივთიერების დაჯანგვის ენერჯის საშუალებით. ამგვარად, ქემოსინთეზის დროს გამოიყენება უშუალოდ არაორგანული ნახშირორქანგი და არაორგანიზმების მიერ დამზადებული ორგანული ნაერთები. ასეთ ორგანიზმებს ეწოდება ავტოტროფული ორგანიზმები. ამ ჯგუფს ეკუთვნის მწვანე მცენარეებიც.

ავტოტროფული ორგანიზმებიდან განსხვავდება ჰეტეროტროფული ორგანიზმები, რომელთა არსებობა დამოკიდებულია სხვა ორგანიზმების მიერ დამზადებულ ორგანულ ნაერთებზე. ჰეტეროტროფული ორგანიზმების ჯგუფს ეკუთვნიან ცხოველები და ის უმდაბლესი ორგანიზმები, რომლებიც ცოცხალი სამყაროს ორგანული ნარჩენებით იკვებებიან. საინტერესოა აღინიშნოს, რომ ჰეტეროტროფებში აღმოჩენილია ნახშირორქანგის დაკავშირების უნარი კეტო-მეავენების საშუალებით. ეს პროცესი მიმდინარეობს ფერმენტ დეკარბოქსილაზის უკუქცევითი მოქმედების შედეგად.



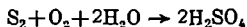
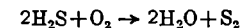
პროპიონის მჟავა

მეფენმარმჟავა

ამ გზით ხერხდება ჰეტეროტროფულ ორგანიზმებში ნახშირბადის ჯაქვის გაგრძელება. აქედან ის დასკვნა უნდა გამოვიტანოთ, რომ ნახშირორქანგის შეთვისების უნარი არ არის ავტოტროფული ორგანიზმების ისეთი ნიშანი, რომელიც მათ ჰეტეროტროფებისაგან განასხვავებს. განსხვავება გამოიხატება ჯერ ერთი, ნახშირორქანგის შეთვისებულ რაოდენობაზე და, მეორე, იმ დამოკიდებულებაში, რომელსაც ისინი იჩენენ საკვების მიმართ. ავტოტროფებს შეუძლიათ აწარმოონ ყველა ორგანული ნაერთის სინთეზი წყლისა და ნახშირორქანგისაგან. ჰეტეროტროფები კი საჭიროებენ წინასწარ გამზადებულ ორგანულ ნაერთებს.

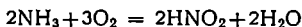
ცნობილია მიკროორგანიზმების მთელი რიგი, რომლებიც ორგანული ნაერთების სინთეზს აწარმოებენ იმ ქიმიური ენერჯის საშუალებით, რომელიც თავისუფლდება ჯინის, აზოტის, წყალბადის, მანგანუმის, გოგირდ-წყალბადის, ამონიაკისა და აზოტოვანი მჟავას დაჯანგვისას. ეს პროცესი აღმოჩენილია გამოჩენილი რუსი მეცნიერის ს. ვინოგრადოვის მიერ.

იმ წყალსაცავების გასუფთავების საქმეში, სადაც გროვდება გოგირდ-წყალბადი. დიდი მნიშვნელობა ენიჭება გოგირდის ბაქტერიებს, რომელთაც შეუძლიათ ორგანული ნაერთების სინთეზის წარმოება გოგირდწყალბადისა და გოგირდის დაჯანგვის დროს განთავისუფლებული ენერჯით.



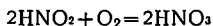
ეს რეაქცია დიდი მასშტაბით მიმდინარეობს შავ ზღვაში, სადაც 200 მეტრის სიღრმის ქვევით გოგირდწყალბადია დაგროვილი.

ენერგეტიკული თვალსაზრისით უპირატესობა ენიჭება ამონიაკის დაქანგვას ვინოგრადოვის მიერ აღმოჩენილი ბაქტერიის Nitrosomonas მიერ.



ერთ გრამ-მოლეკულა ამონიაკის დაქანგვისას გამოიყოფა 158 დიდი კალორია.

აზოტოვანი მყავას შემდგომ დაქანგვას აწარმოებს Nitrobacter. ეს პროცესი შემდეგი განტოლების მიხედვით მიმდინარეობს:

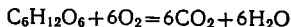


ერთი გრამ-მოლეკულა აზოტოვანი მყავას დაქანგვისას გამოიყოფა მხოლოდ 43,2 დიდი კალორია.

ნიტროფიკაციის ბაქტერიები წარმოადგენენ სპეციალიზებულ ორგანიზმებს. თუ საკვები არე ორგანულ ნერთებს შეიცავს, მათი გამრავლება წყდება.

§ 5. სუნთქვის პროცესი

ნახშირწყალი აერობულ ორგანიზმებში იწვის ნახშირმჟავა გაზამდე და წყლამდე. ამ პროცესისათვის საჭირო ქანგბადს ორგანიზმი პოულობს ჰაერიდან. იმ შემთხვევაში, როდესაც ორგანიზმში იწვის ნახშირწყალი, გამოყოფილი ნახშირორჟანგის მოცულობის შეფარდება შთანთქმულ ქანგბადის მოცულობასთან უდრის ერთს, თანახმად განტოლებისა:



ამ შეფარდებას ეწოდება სუნთქვის კოეფიციენტი. ჩვეულებრივად სუნთქვის კოეფიციენტი ერთზე ნაკლებია, რადგან ორგანიზმში გარდა ნახშირწყლებისა იწვის სხვა ნერთებიც (ცხიმი და ცილა). იმ შემთხვევაში, თუ წვა მიმდინარეობს ცილოვან ნივთიერებათა ხარჯზე, მაშინ სუნთქვის კოეფიციენტი უდრის

$\frac{[\text{CO}_2]}{[\text{O}_2]} = 0,781$. რადგან ცილები თავისთავად ნაკლებად დაქანგული ნერთებია, მათ დასაქანგავად, ნახშირწყლებთან შედარებით, საჭიროა მეტი ქანგბადი.

იგივე ითქმის ცხიმებზე. ისინი კიდევ უფრო ნაკლებად დაქანგული ნერთებია; ამისათვის ორგანიზმში მათი წვის დროს სუნთქვის კოეფიციენტი კიდევ უფრო

ნაკლებ რიცხვს იძლევა, სახელდობრ შეფარდება $\frac{[\text{CO}_2]}{[\text{O}_2]} = 0,71$.

სუნთქვა რომ დაქანგვას წარმოადგენს, ეს ცნობილია უკვე ლ ა ვ უ ა ზ ი ე ს დროიდან. მასვე ეკუთვნის ნივთიერებათა ცვლის ძირითადი კანონების დადგენა. მან გამოარკვია, რომ მიღებულ საკვებსა, წარმოებულ მუშაობასა და გაზთა ცვლას შორის არსებობს განსაზღვრული დამოკიდებულება. ნივთიერებათა ცვლის ოდენობის შესახებ ჩვენ შეგვიძლია ვიმსჯელოთ შთანთქმული ქანგბადისა და გამოყოფილი ნახშირორჟანგის სიდიდეების მიხედვით. სუნთქვის კოეფიციენტის დადგენა კი საშუალებას გვაძლევს გავარკვიოთ, თუ რომელი ნერთ-

თი იწვის ორგანიზმში. ზემოხსენებულ საკითხზე ჩატარებულმა მუშაობამ ნათელყო, რომ სუნთქვის მთავარი ენერგეტიკული მასალა არის ნახშირწყალი.

ნივთიერებათა ცვლა ორგანიზმში წარმოდგენილია გაზთა ცვლის გარეშე. მაგრამ მხედველობაში უნდა ვიქონიოთ, რომ ნივთიერებათა ცვლა არის რთული პროცესი; ამიტომ გამოყოფილი ნახშირმჟავა გაზი ერთგვარ წარმოდგენას გვაძლევს ცვლის მხოლოდ საბოლოო შედეგის შესახებ.

§ 4. სუნთქვის ენერგეტიკა

ნახშირწყლების წვა წარმოადგენს ეგზოთერმულ რეაქციას, რომლის ენერგეტიკული ეფექტიანობა შეიძლება განისაზღვროს გამოყოფილი სითბოს რაოდენობით. გასულ საუკუნეში წარმოებული ცდებით ის დასკვნა იყო გამოტანილი, რომ ნახშირწყლის დაწვისას კალორიმეტრში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა ზუსტად უდრის სითბოს იმ რაოდენობას, რომელსაც იმავე რაოდენობა ნახშირწყალი გამოყოფს ცოცხალ ორგანიზმში. მაგრამ, როდესაც ეს შედარება ხდება, მხედველობაში მისაღებია ცოცხალი სისტემის ერთი თვისება, რომელსაც ჩვენ სხვა სისტემებში ვერ ვპოულობთ. ერთი და იგივე არ არის. თუ რა გზით და რომელი საკიროებისათვის თავისუფლდება ნახშირწყლების პოტენციალური ენერჯია. ცოცხალ ორგანიზმში ნახშირწყლების პოტენციალური ენერჯიის უდიდესი ნაწილი სითბოს გამოყოფის გარეშე უშუალოდ იხარჯება იმ მექანიზმებზე, რომელთა საშუალებით ხდება სასიცოცხლო პროცესის ამქმედება. მექანიზმი, რომელსაც მოქმედებაში მოყავს სასიცოცხლო პროცესი, არის მაკროერგული ფოსფორის ნაერთების გარდაქმნა. ამ ნაერთების საშუალებით მიმდინარეობს ოსმოსური მუშაობა, უკუქცევადი რეაქციების წონასწორობის შეცვლა, ქანგვა-აღდგენით სისტემებში საკირო პოტენციალის დაქვარა და მთელი რიგი სხვა გარდაქმნები, სადაც კი მოთხოვნილებაა ენერჯიაზე. მხოლოდ ასეთი მექანიზმების ამუშავების შემდეგ ნახშირწყლების პოტენციალური ენერჯია საბოლოოდ გამოიყოფა სითბოს სახით.

ნახშირწყლების ენერგეტიკული ეფექტიანობის გაანგარიშებისას მხედველობაში უნდა მივიღოთ ის გარემოება, რომ ნახშირწყლების თერმული ეფექტი არ უდრის ენერჯიის იმ რაოდენობას, რომელიც მულმივი ტემპერატურის დაცვის პირობებში შესაძლებელია მოხმარდეს მუშაობას. როდესაც ნახშირწყალი აერობულ გარდაქმნას განიცდის, ე. ი. როდესაც ის ნახშირორჟანგამდე და წყლამდე იწვის, განსხვავება ნახშირწყლების თერმულ ეფექტსა და მათ ხარჯზე მიღებული მუშაობის ოდენობას შორის არ აღწევს მნიშვნელოვან სიდიდეს. მაგრამ ნახშირწყლების ანაერობულ პირობებში გარდაქმნის დროს განთავისუფლებული ენერჯიის რაოდენობის აღრიცხვა თერმული ეფექტის მიხედვით შეუძლებელი ხდება.

როგორც უკვე ნახსენები იყო, სისტემის ენერგეტიკული ეფექტიანობის გამოანგარიშებამ უნდა იწარმოოს თავისუფალი ენერჯიის რაოდენობის ცვლილებით. თუ ΔS -ით აღვნიშნეთ დაკავშირებული ენერჯიის ცვლილება, ΔH -ით ენტალპიის რაოდენობის ცვლილება, ხოლო T -თი რეაქციის აბსოლუტური ტემპერატურა, მაშინ თავისუფალი ენერჯიის ΔG მატება ან შემცირება ასეთი დამოკიდებულებით გამოიხატება:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S.$$

იმისდა მიხედვით, თუ როგორ იცვლება დაკავშირებული ენერჯია — $T\Delta S$, სისტემის თავისუფალი ენერჯია ან უდრის ენტალპიის ცვლილებას, ან მეტი;

ანდა ნაკლები იქნება. ნახშირწყლების აერობული გარდაქმნის დროს სისტემის დაკავშირებული ენერგია უმნიშვნელო რაოდენობით იცვლება და ამიტომ ΔG ოითქმის ემთხვევა ΔH -ს. სხვა შემთხვევებში კი სისტემაში თავისუფალი ენერჯის ცვლილება არ უდრის მის ΔH -ს.

მხედველობაშია მისაღები აგრეთვე ერთი გარემოება. საკვების ფიზიოლოგიური კალორიანობა ყოველთვის არ უდრის იმ სითბოს რაოდენობას, რომელსაც საკვები თავისუფლებს კალორიმეტრში.

ფიზიოლოგიური კალორიანობის სახით იგულისხმება საკვების იმ კალორიების რაოდენობა, რომლებიც ორგანიზმში გამოიყოფა. ორგანიზმის მიერ შეთხვეული საკვები (მაგალითად, ცილოვანი ნივთიერება) ბოლომდე არ იწვია, წარმოიშობა ნაერთები, რომელთაც კიდევ აქვს წვის უნარი. ამისათვის საკვების პირველ კალორიანობას უნდა გამოაყლდეს ამ ნაერთების კალორიანობა, რათა წარმოადგენა ვიქონიოთ საკვების ფიზიოლოგიური კალორიანობის შესახებ. ვინაიდან არასრული წვის პროდუქტები ორგანიზმიდან გამოდის, ამიტომ, როდესაც უნდათ გამოარკვიონ რომელიმე საკვები რაციონის ფიზიოლოგიური კალორიანობა, ჭერ განსაზღვრავენ კალორიმეტრიულ ყუშმარაში რაციონის სრულ კალორიანობას და მას გამოაყლდენ შარდში და განავალში გადასულ ნივთიერებათა კალორიანობას.

რ უ ბ ე რ მ ა, მიიღო რა მხედველობაში, რომ ცხოველის მიერ განთავისუფლებული სითბოს ხარჯვის განსაზღვრა შესაძლებელია, თუ მხედველობაში მივიღეთ ის კალორიანობა, რომელიც რჩება: 1) საკვების მოუნელებელ ნაშთში, 2) ექსკრემენტებში და აგრეთვე 3) ის სითბო, რომელსაც კარგავს ცხოველი ზედაპირის საშუალებით. დაადგინა ფიზიოლოგიური კალორიანობის შემდეგი კოეფიციენტები:

1 გ ცილა თავისუფლებს	4,1	დიდ კალორიას
1 გ ცხიმი	—	9,0 "
1 გ ნახშირწყალი	—	4,1

ამასთანავე გამოირკვა, რომ 100 გ ცხიმი იძლევა იმდენსავე კალორიას, რასაც იძლევა 232 გ სახამებელი და 243 გ ცილა. საკვებ ნივთიერებათა ურთიერთკალორიულ დამოკიდებულებას ეწოდა იზოკალიმის კანონი.

საკვების ფიზიოლოგიური კალორიანობის განსაზღვრა შესაძლებელია არაპირდაპირი გზით. ცნობილია, რომ სახამებლის 1 გ დაქანვისას იძლევა 0,829 ლიტრ ნახშირორჟანგს, ცხიმის 1 გ—1,427 ლიტრს, ხოლო ცილის 1 გ—0,782 ლიტრ ნახშირორჟანგს. მეორე მხრივ, გამოანგარიშებულია, რომ სახამებლის კალორიული ეკვივალენტი, როდესაც ნახშირორჟანგის 1 ლიტრი თავისუფლდება, უდრის 5,05 დიდ კალორიას, ცხიმის—6,63, ცილის—5,68 დიდ კალორიას. ითქვანსწარ განსაზღვრულია საკვების ქიმიური შემადგენლობა, ორგანიზმის მიერ გამოყოფილი ნახშირორჟანგის აღრიცხვით შესაძლებელი ხდება საკვების ფიზიოლოგიური კალორიანობის განსაზღვრა.

რ უ ბ ე რ მ ა პირველმა გამოიყენა რესპირაციული კამერა, სადაც ის თავსებდა საცდელ ცხოველს. მას შესაძლებლობა მიეცა შეესწავლა ცხოველში როგორც ნივთიერებათა, ისე გაზთა ცვლა. მიღებულ იქნა შედეგები, რომლებიც ექვს არ იწვევენ იმ დებულებაში, რომ ცხოველის ორგანიზმში ექვემდებარება ენერჯის მარადისობის კანონს. მაშასადამე, პოტენციალური ენერგია, რომელიც მიიღება ორგანიზმის მიერ საკვების სახით, ზუსტად ეთანაბრება ორგანიზმში განთავისუფლებულ ენერჯიას.

ნახშირწყლების ურთიერთგარდაქმნა მიმდინარეობს მონოსაქარიდების დონეზე და აქტივდება სხვადასხვა ფერმენტებით. ამ პროცესში დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ფოსფორირებული ნაწარმების შექმნას, რაც მოითხოვს ატ-ს. რეაქცია აქტივდება კინაზების კატალიზური მოქმედებით.

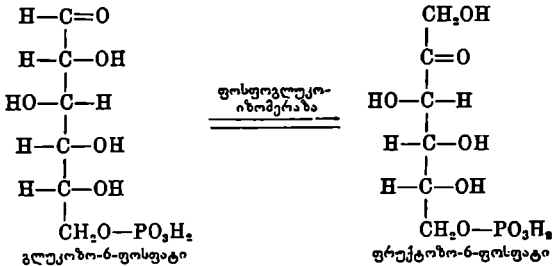
ფოსფორირებულ მონოსაქარიდებში ფოსფატის ნაშთის ადგილმდებარეობა იცვლება საკუროების მიხედვით. ამ რეაქციის გააქტივება წარმოებს მუტაზების საშუალებით, მაგალითად:

1 ფაზა: გლუკოზო-6-ფოსფატი + ფერმენტი — ფ \rightleftharpoons გლუკოზო-1,6-დიფოსფატი + ფერმენტი

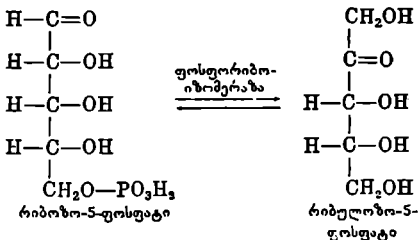
2 ფაზა: გლუკოზო-1,6-დიფოსფატი + ფერმენტი \rightleftharpoons გლუკოზო-1-ფოსფატი + ფერმენტი — ფ

მსგავსი მუტაზური გარდაქმნა აღმოჩენილია გალაქტოზო-6-ფოსფატისათვის, მანოზო-6-ფოსფატისათვის, რიბოზო-1-ფოსფატისათვის. უკანასკნელ შემთხვევაში იქმნება რიბოზო-5-ფოსფატი. ყველა შემთხვევაში შუალედი პროდუქტის სახით წარმოიშობა შაქრის დიფოსფატი.

აღდოშაქრების გარდაქმნა კეტოშაქრებად, და პირიქით, აქტივდება იზომერაზების საშუალებით. ამ ფერმენტების ტიპური წარმომადგენელი არის ფოსფოგლუკოიზომერაზა, რომელიც ააქტივებს გლუკოზო-6-ფოსფატის გარდაქმნას ფრუქტოზო-6-ფოსფატად.



დიდი მნიშვნელობა აქვს იმ ფერმენტის მოქმედებას, რომელიც ფოტოსინთეზის დროს ააქტივებს რიბოზო-5-ფოსფატის გარდაქმნას რიბულოზო-5 ფოსფატად.

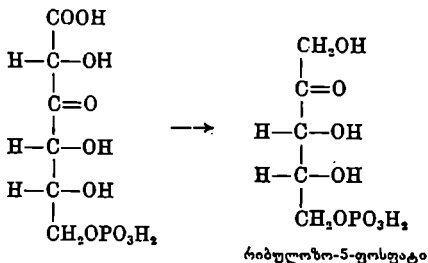
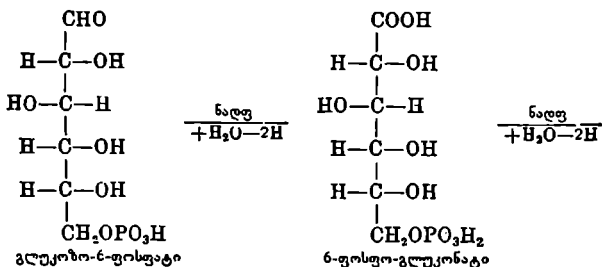


მსგავს გარდაქმნას აწარმოებს ფერმენტი ტრიოზოფოსფატ-იზომერაზა, რომლითაც აქტივდება დიოქსიაცეტონ-ფოსფატის უკუქცევადი გარდაქმნა გლი-

ცერინალდეჰიდ-ფოსფატი. ეს რეაქცია ნახშირწყლების ანაერობული გარდაქმნის დროს მიმდინარეობს.

აღლოლაზა აწარმოებს შაქრების აღლოლურ კონდენსაციას. ამ რეაქციის კლასიკურ მაგალითს წარმოადგენს 1,6 ფრუქტოზო-დიფოსფატის დაშლა ორ ტრიოზად.

გლუკოზო-6-ფოსფატის გარდაქმნა, რომელიც მთავრდება რიბულოზო-5-ფოსფატის წარმოშობით, არის ნახშირწყლების პენტოზური მიმართულებით დაშლის საწყისი ეტაპი. გარდაქმნა იწყება გლუკოზო-6-ფოსფატის დაეანგვიით და მთავრდება მისგან წარმოშობილ 6-ფოსფოგლუკონატის დეკარბოქსილირებით:



შაქრების ეპიმერული გარდაქმნა დაკავშირებულია, ერთი მხრივ, ეპიმერაზებისა და, მეორე მხრივ, ურიდინტრიფოსფატის მოქმედებასთან. ურიდინტრიფოსფატი ის ნუკლეოტიდია, რომელიც ამ რეაქციაში ასრულებს კოფერმენტის როლს. მისი გლუკოზასთან დაკავშირების შედეგად წარმოიშობა ნაერთი, რომელიც იძლევა მომდევნო რეაქციაში ეპიმერიზაციის პროდუქტს—გალაქტოზას.

1 ფაზა: ურტფ + გლუკოზო-1-ფოსფატი $\xrightarrow{\text{ურდფ-პიროფოსფორილაზა}}$ ურდფ-გლუკოზა + პიროფოსფატი

2 ფაზა: ურდფ-გლუკოზა $\xrightarrow{\text{ეპიმერაზა}}$ ურდფ-გალაქტოზა

ზემოხსენებული გარდაქმნის მსგავსად მიმდინარეობს ქსილოზას ეპიმერიზაცია არაბინოზად და გლუკურონის შეავის — გალაქტურონის შეავად.

ურტფ ამავე დროს კოფერმენტულ როლს ასრულებს მთელ რიგ სხვა გარდაქმნებში, როგორც არის, მაგალითად, ფოსფატის ნაშთის გადატანა გალაქტოზიდან გლუკოზაზე, ურონის შეავების დეკარბოქსილირება, რის შედეგად მიიღება პენტოზები და სხვ.

თ ა ვ ი მ ე შ ვ ი დ ა

ნახშირწყლების უჯრადფიზიონთა ცვლა

ზემოთ აღნიშნული იყო, რომ ნახშირწყლების გარდაქმნის უკანასკნელი პროდუქტი ორგანიზმში ნახშირმჟავა და წყალია. ეს პროცესი აერთიანებს მრავალ ბიოქიმიურ გარდაქმნას, რომელთა მსვლელობაში მონაწილეობას ლებულობს სხვადასხვა სპეციფიკური დანიშნულების ნაერთი.

გამოირკვა, რომ ნახშირწყლების გარდაქმნა უჯრედში ორგვარად მიმდინარეობს. ნახშირწყლების იმ გარდაქმნებს, რომელთა მსვლელობა არ არის დამოკიდებული მოლეკულური ქანგბადის მოხმარებაზე, ეწოდება ანაერობულ პროცესს. აერობული პროცესი კი დაკავშირებულია ქანგბადის მოხმარებასთან. ორივე პროცესის მსვლელობისას, პირველ ყოვლისა, იხარჯება ნახშირწყლები, როგორც პოტენციალური ენერჯის წყარო. ნახშირწყლების ანაერობული და აერობული გარდაქმნები ერთმანეთთან მკიდროდაა დაკავშირებული. აერობულ პროცესს თან ახლავს ყოველთვის ნახშირწყლების ანაერობული გარდაქმნები.

§ 1. ანაერობული და აერობული პროცესები ანაერობული თვალსაზრისით

ნახშირწყლების მოხმარება მიკროორგანიზმებში ხშირად მთავრდება ისეთი ნაერთების წარმოშობით, რომელთაც წვის უნარი ჯერ კიდევ აქვს. ეს პროცესი მიმდინარეობს ქანგბადის მოხმარების გარეშე. უმაღლეს ორგანიზმებში წარმოდგენილია ისეთი მექანიზმები, რომელთა დახმარებით ნახშირწყლები ბოლომდე მოიხმარება. ნახშირწყალი უკანასკნელ შემთხვევაში იხარჯება სუნთქვაზე და მისი შესრულებისათვის ქანგბადის მიწოდება აუცილებელია. საერთოდ, ნახშირწყლების აერობული გარდაქმნა სუნთქვის საფუძველს წარმოადგენს.

სუნთქვა დაკავშირებულია ორგანულ ნივთიერებათა დიდი რაოდენობით ხარჯვასთან. ნახშირწყლების გარდა ენერგეტიკული მასალის დანიშნულება შეიძლება შეასრულოს ცხიმოვანმა და ცილოვანმა ნივთიერებებმა, მაგრამ ამ შემთხვევაშიც მათი გარდაქმნა საბოლოოდ იმავე გზებით მიმდინარეობს, როგორც ნახშირწყლების. ამჟამად დამტკიცებულად უნდა ჩაითვალოს ის გარემოება, რომ ცილებისა და ცხიმების მოხმარება უჯრედის ენერგეტიკული საჭიროებისათვის მიმდინარეობს მათი გარდაქმნის დროს წარმოშობილი ისეთი ნაერთებიდან, რომლებიც ნახშირწყლების ცვლის პროდუქტების მსგავსია.

ანაერობული პროცესი განსხვავდება აერობულისაგან იმით, რომ ანაერობული პროცესის მსვლელობის დროს უჯრედი ენერჯიას ლებულობს იმ რეაქციებისაგან, რომელთა მსვლელობის დროს ქანგბადი არ მოიხმარება. ენერჯიის მოპოვების ამგვარი საშუალება წარმოდგენილია დუღილის გამოშვებულ მიკროორგანიზმებში.

დუღილის პროცესები შესწავლილია გამოჩენილი ფრანგი ქიმიკოსის პასტერის მიერ. პასტერის ზიტყვით: „დუღილი — სიცოცხლეა უქანგბადოდ“.

მართლაც, დუდილის გამომწვევი მიკროორგანიზმები არ საჭიროებს ჰაერის ეანგბადს. ენერგიას ეს მიკროორგანიზმები დაშლის პროცესებიდან ლებულობენ და არა წვის რეაქციებიდან.

ერთი გრამ-მოლეკულა გლუკოზას თბიური ეფექტი, როდესაც ის იწვის კალორიმეტრში, 674 დიდ კალორიას უდრის. ამ რეაქციის დროს დაკავშირებული ენერგიის რაოდენობის შემცირება (TAS) 12 დიდ კალორიას აღწევს. აქედან გამომდინარეობს, რომ თავისუფალი ენერგიის ცვლილება (ΔG), რომლის გამოყენება შეიძლება, უდრის 686 დიდ კალორიას, ე. ი. როდესაც ორგანიზმში ერთი გრამ-მოლეკულა გლუკოზა იწვის, თავისუფლდება 686 დიდი კალორია. გამორკვეულია, რომ ცხოველს შეუძლია გამოიყენოს სასიცოცხლო პროცესებზე ქიმიურ ნაერთში დაგროვილი ენერგიის არა ნაკლებ 70%-ისა. მრავალ შემთხვევაში აერობული პროცესების მარგი ქმედების კოეფიციენტი კიდევ უფრო დიდ რიცხვს აღწევს.

ახლა განვიხილოთ დუდილის პროცესის ენერგეტიკა. რძის მჟავა დუდილის დროს გლუკოზას ერთი მოლეკულა იძლევა რძის მჟავას ორ მოლეკულას და პროცესი ამით მთავრდება. ორი გრამ-მოლეკულა რძის მჟავას დაწვისას თავისუფალი ენერგიის ცვლილება (ΔG) უდრის 650 დიდ კალორიას. რადგან გრამ-მოლეკულა გლუკოზას სრული დაწვისას თავისუფალი ენერგიის ცვლილება უდრის 686 დიდ კალორიას, ამიტომ განსხვავება $686 - 650 = 36$ დიდი კალორია არის თავისუფალი ენერგიის ის ცვლილება, რომელიც რძის მჟავა დუდილზე მოდის. მაშასადამე, დუდილის დროს რომ მივიღოთ ენერგიის იგივე რაოდენობა, რაც განთავისუფლდებოდა შაქრის სრული დაწვის დროს, საჭიროა შაქრის 20-ჯერ უფრო მეტი რაოდენობა გარდაიქმნას.

მხედველობაში მისაღებია ის გარემოებაც, რომ დუდილის დროს განთავისუფლებული 36 დიდი კალორია მთლიანად კი არ მოიხმარება უჯრედის ენერგეტიკულ საჭიროებაზე, არამედ მხოლოდ 16 დიდი კალორია, დანარჩენი 20 დიდი კალორია იფანტება სითბოს სახით. მარგი ქმედების კოეფიციენტი ამ შემთხვევაში მხოლოდ 44%-ს აღწევს.

ეს რიცხვი გაცილებით უფრო ნაკლებია, ვიდრე ის, რაც მსუნთქავ ორგანიზმებს ახასიათებს. მაგრამ ის მაინც საკმარისად დიდია მანქანის მარგი ქმედების კოეფიციენტთან შედარებით.

მაშასადამე, ანაერობული პროცესის ენერგეტიკული პოტენციალი აერობულზე გაცილებით ნაკლებია არა მარტო იმით, რომ მასალის დიდი რაოდენობა იხარჯება, არამედ იმითაც, რომ ის, რაც შეითვისება ანაერობული პროცესის დროს, გამოიყენება უფრო დაბალ ენერგეტიკულ დონეზე. დუდილის პროცესის ენერგეტიკული ეფექტიანობა აერობულთან შედარებით მცირეა.

ნახშირწყლების ანაერობულ გარდაქმნას უწოდებენ გლიკოლიზს, რადგან პროცესი იწყება გლუკოზიდან. იმ შემთხვევაში, როდესაც გარდაქმნა გლიკოგენიდან იწყება, პროცესი გლიკოგენოლიზის სახელს ატარებს.

ცნობილია ნახშირწყლების ანაერობული გარდაქმნის, ანუ დუდილის სამი ძირითადი ტიპი: 1) სპირტის დუდილი, 2) რძის მჟავა დუდილი და 3) ერბოს მჟავა დუდილი. შეჯამებულად დუდილის რეაქციები შემდეგი განტოლებებით გამოიხატება:

- 1) სპირტის დუდილი $C_6H_{12}O_6 = 2C_2H_5OH + 2CO_2$
- 2) რძის მჟავა დუდილი $C_6H_{12}O_6 = 2CH_3CHOHCOOH$
- 3) ერბოს " " $C_6H_{12}O_6 = CH_3CH_2CH_2COOH + 2H_2 + 2CO_2$

უნდა აღინიშნოს, რომ ბუნებაში დუღილი პროცესი არასდროს არ მთავრდება მხოლოდ ზემოთ აღნიშნული ნაერთების წარმოშობით. ცოტა თუ ბევრი რაოდენობით მთავარ პროდუქტს თან ჰყვება თანმხლები რეაქციების პროდუქტები. ამასთან ერთად გავრცელება აქვს ისეთ დუღილსაც, სადაც ერთიმეორეში იჭრება სამი ძირითადი ტიპი. მაგალითად, ცნობილია ისეთი ჰეტეროფერმენტული რძის მჟავა დუღილი, რომლის დროს წარმოიშობა როგორც რძის მჟავა, ისე ეთილის სპირტი. აქ ადგილი აქვს რძის მჟავას და სპირტის დუღილის კომბინაციას. ამგვარადვე, ე. წ. აცეტონ-ეთილის სპირტის დუღილი წარმოადგენს ერბოს მჟავასა და ალკოჰოლური დუღილის კომბინაციას. როგორც ამას ქვემოთ დავინახავთ, დუღილის როგორც სამივე ძირითადი ტიპი, ისე მათი საბუცვლილებები და კომბინაციები გაერთიანებულია ბიოქიმიურ მთლიანობაში და მათ შორის მჭიდრო კავშირი არსებობს.

§ 2. ნახშირწყლების ანაერობული გარდაქმნა

ნახშირწყლების ანაერობულ გარდაქმნას ადგილი აქვს ყველა ორგანიზმში. ზოგიერთი ორგანიზმის თავისებურება იმაში გამოიხატება, რომ ისინი ნახშირწყლებს ბოლომდე ვერ მოიხმარებენ და პროცესს ამთავრებენ ისეთი ნაერთებით, რომლებიც სხვა ორგანიზმებისათვის შუალედ პროდუქტებს წარმოადგენენ.

სპირტისა და რძის მჟავა დუღილი დიდი ხანია ცნობილია და უხსოვარი დროიდან მას პრაქტიკული გამოყენება აქვს. **პ ა ს ტ ე რ ა მ დ ე** დუღილია მუქანიზმის შესახებ მხოლოდ თეორიულად მსჯელობდნენ. **პ ა ს ტ ე რ მ ა** ზუსტი ექსპერიმენტული გზით დაამტკიცა დუღილის გამომწვევი მიზეზი. მან გამოიკვლია, რომ სპირტი, რძის, ერბოსა და ძმრის მჟავები მიკროორგანიზმების ცხოველმომქმედების შედეგად წარმოიშობიან.

დიდი ხანია ცნობილი იყო აგრეთვე, რომ რძის მჟავა გროვდება კუნთოვან ქსოვილში, ძალიან მკაფიოდ გამოიხატება ეს მოვლენა, თუ კუნთში სისხლის მიმოქცევა შეწყვეტილია, ე. ი. მაშინ, როდესაც ჟანგბადის მიწოდება კუნთოვანი ქსოვილისათვის გამორიცხებულია. მეორე მნიშვნელოვანი ფაქტი იმაში მდგომარეობს, რომ მუშაობისას გლიკოგენის რაოდენობა კუნთში მცირდება. ეს ფაქტი, რომელიც დღეს დაკანონებულია, თავის დროზე საკამათოდ იყო მიჩნეული.

ვინაიდან კუნთოვანი ქსოვილის მთავარი შემადგენელი ნაწილი ცილოვანია ნივთიერებაა, ამისათვის ვითომ გამომდინარეობდა, რომ კუნთის მიერ დახარჯული ენერჯია ანაზღაურებული უნდა ყოფილიყო ცილოვანი ნივთიერების დაწვით. შემდეგში გამოირკვა, რომ კუნთის მუშაობის დროს დახარჯული ენერჯია შეუძლებელია დაფარულ იქნეს ცილის დაშლის ენერჯიით. იმ შემთხვევაშიც კი, როდესაც საკვების რაციონში გამორიცხებულია ნახშირწყალი, კუნთოვან ქსოვილში გროვდება გლიკოგენი, რომელიც კუნთის მოქმედების ენერჯეტიკულ წყაროს წარმოადგენს.

ნახშირწყლებიდან ენერჯიის მიღება უჯრედის მიერ შესაძლებელი ხდება ან ანაერობული გზით (მაგალითად, დუღილის პროცესი) ანდა დაქანგვით, ე. ი. ისეთი პროცესით, როდესაც ადგილი აქვს მოლეკულური ჟანგბადის მოხმარებას. გამოირკვა, რომ უმაღლეს საფეხურზე მდგომ ორგანიზმებში ადგილი აქვს ორივე პროცესის მსვლელობას, რომ მათ შორის მჭიდრო კავშირია და შეუძლებელია დუღილისა და ქანგვითი პროცესის დაპირისპირება.

უჯრედში მიმდინარე პროცესების ქიმიზმის შესწავლის სიძნელე, როგორც ეს უკვე აღინშნული იყო, იმაში მდგომარეობს, რომ ამა თუ იმ ქიმიურ გარდაქმნაზე გავლენას ახდენს მრავალი ფაქტორი, რომელთა გამოცალკევება ცოცხალ უჯრედში შეუძლებელი ხდება. ჩვეულებრივად უჯრედში მიმდინარე ნახშირწყლების გარდაქმნები შეისწავლება ისეთ მოდელებზე, სადაც მრავალი ფაქტორის გავლენა აცილებულია. ასეთ მოდელში ცალ-ცალკე ისწავლება სხვადასხვა ფაქტორის გავლენა ნახშირწყლების გარდაქმნაზე იმ პირობით, რომ მიღებული შედეგები ემსგავსება პროცესს, რომელსაც ადგილი აქვს ცოცხალ უჯრედში.

ჯერ კიდევ ბ ი უ ხ ნ ე რ მ ა დაამტკიცა, რომ შაქრის დადუღება სპირტად შესაძლებელია წარმოებდეს უჯრედის გარეშეც. მან დაამზადა საფუარების წვენი, რომელსაც შენარჩუნებული ჰქონდა უნარი მიმატებული შაქარი სპირტში გადაეყვანა. აქედან გამოტანილი იყო დასკვნა, რომ შაქრის სპირტად გადაყვანა არის იმ ფერმენტების მოქმედების შედეგი, რომლებიც უჯრედშია წარმოდგენილი და უჯრედის დასრესისას ისინი შეიძლება გადავიდეს წვენში. ამ ფერმენტს მან ზიმაზა უწოდა. როგორც შემდეგში გამოირკვა, ზიმაზა აერთიანებს მრავალ ფერმენტს და მათ აქტივატორებს (კო-ფერმენტებს).

ბ ი უ ხ ნ ე რ ი ს მიერ დამზადებული წვენის აქტივობა, ცოცხალი უჯრედის სპირტის დაგროვების უნარიანობასთან შედარებით, ძალიან მცირეა. ბ ი უ ხ ნ ე რ ი ს ა და სხვა ავტორების მიერ შემუშავებული ხერხები არ იძლეოდნენ ისეთი მოდელების დამზადების საშუალებას, სადაც ნახშირწყლების გარდაქმნის ქიმიზმის შესწავლა მოსახერხებელი იქნებოდა. ლ ე ბ ე დ ე ვ ი პირველი მკვლევარია, რომელმაც მოგვცა მეთოდი ზემოხსენებული მიზნის უკეთესად განხორციელებისათვის. მან შეძლო საფუარებიდან მარტივი ხერხით ფერმენტული ექსტრაქტები დაეზადებინა, რომელიც უჯრედის სტრუქტურებს არ შეიცავდა. სტრუქტურული ელემენტების უქონლობა ამარტივებს ხსნარში მიმდინარე პროცესებს და შესაძლებლობას გვაძლევს ცალკეული ფერმენტული პროცესების მკვლევლობაზე წარმოდგენა ვიკონიით. ამგვარად დამზადებული ფერმენტული ხსნარების კიდევ უფრო გამარტივება შესაძლებელი ხდება, თუ ჩვენ მათი დიალიზი მოვახდინეთ. დიალიზის საშუალებით ფერმენტული ხსნარები თავიანთფლდება წყალში ხსნადი აქტივატორებისაგან. გამარტივების შემდეგი საფეხური მდგომარეობს იმაში, რომ შესაძლებელია ფერმენტულ ხსნარში ისეთი ნაერთის მიმატება, რომელიც უარყოფითად მოქმედებს განსაზღვრულ რეაგენტებზე.

ნახშირწყლების უჯრედშიგნითა ცვლა საფუძვლად უდევს იმ მნიშვნელოვან როლენას, რომელიც დაკავშირებულია სასიცოცხლო პროცესის ქიმიურ დინამიკასთან. საკითხის სწორი გადაჭრისათვის საჭიროა ექსპერიმენტულად დამტკიცდეს იმ შუალედი რეაქციების სინამდვილეში არსებობა, რომელთა შეჭამებისას მიიღება ერთი გარკვეული ქიმიური გარდაქმნის სქემა.

§ 8. სპირტის დუღილის ქიმიზმი

ნახშირწყლების უჯრედის შიგნითა ცვლის კვლევის საუკეთესო ობიექტად მიჩნეულია საფუარები და კუნთის ქსოვილი. ამ ობიექტებში ყველაზე უფრო ადვილად მოხერხდა ნახშირწყლების უჯრედშიგნითა ცვლის რთული პროცესის ანალიზის წარმოება და მისი ცალკეულ ეტაპებად დაყოფა. მნიშვნელოვანი მიღწევა, საიდანაც დაიწყო ნახშირწყლების ცვლის შესწავლის სწრაფი განვითარ-

ება, იყო პარდენისა და იონგის აღმოჩენა, რომელსაც ადგილი ჰქონდა 1905 წელს. თუ საფუარების წვეწა, რომელიც უჭრედის სტრუქტურულ წარმონაქმნებს არ შეიცავს, შაქართან ერთად ფოსფორის მჟავა დემატა, მაშინვე იწყება დუღილი და ნახშირორჟანგის გამოყოფა. დუღილი გრძელდება მანამდე, სანამ ლამაჯებული არაორგანული ფოსფატი ორგანულ ნაერთში არ დაკავშირდება. საჭიროა კიდევ ფოსფატის დამატება, რომ დუღილი განახლდეს. ლ. ა. ივანოვი გამოჰყო ფოსფორილირების პროდუქტი და მას ანალიზი გაუკეთა. ამ ორგანულ ნაერთში ფოსფორის ერთი ატომი მოდიოდა ნახშირბადის სამ ატომზე. მხოლოდ შემდეგში დამტკიცდა, რომ საფუარების წვეწაში ფოსფატის დამატებისას იქმნება ფრუქტოზოლიფოსფორის მჟავა. ფოსფორის ამ ესთერის გარდა მადულარ არეში აღმოჩენილი იყო: გლუკოზო-6-ფოსფატი და ფრუქტოზო-6-ფოსფატი. გამოიკვია, რომ შაქრების ზემოსხენებული ესთერების დამატებისას მადულარ არეში ისინი სწრაფად გარდაიქმნებიან სპირტად და ნახშირის ორჟანგად. იმის გარკვევას, თუ რომელი ქიმიური გზებით წარმოებს ეს პროცესი, მრავალი მკვლევარის რამდენიმე ათეული წლის ინტენსიური მუშაობა დასჭირდა.

შემდეგი მნიშვნელოვანი ნაბიჯი სპირტის დუღილის შესწავლის დარგში დაკავშირებულია იმ ფაქტთან, რომ საფუარების წვეწა დიალიზის შემდეგ დუღილის წარმოება არ შეუძლია. საკმარისია წვეწა დემატოს დიალიზატი ანდა წინასწარ აღუღებული წვეწა, რომ დუღილი განახლდეს. ამ ცდებიდან ის დასკვნა იქნა გამოტანილი, რომ დუღილის გამომწვევ ფერმენტ ზიმაზას გააქტივებისათვის საჭიროა დამატებითი ფაქტორი, რომელიც დიალიზს განიცდის და ვაცხელებას უძღვება. ამ ფაქტორს კოზიმაზა უწოდეს, ხოლო ზიმაზას — აპო-ზიმაზა. შემდეგში გამოიკვია, რომ ზიმაზა აერთიანებს რამდენიმე ფერმენტს, ხოლო აქტივატორის როლს ერთი კოზიმაზა კი არ ასრულებს, არამედ ხუთი: ნიკოტინამიდინუკლეოტიდი (ნად). ადენოზინტრიფოსფორის მჟავა, თიამინ-პიროფოსფატი, გლუტათიონი და მავნიუმის იონები.

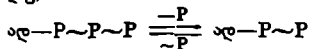
ნად-ი მონაწილეობას ლებულობს დუღილის პროცესში, როგორც წყალბადის გადამტანი იმ ენგვა-აღდგენით რეაქციებში, რომელთა კატალიზი დეჰიდროგენაზების საშუალებით წარმოებს.

დეჰიდროგენაზების მონაწილეობა სპირტის დუღილის პროცესში ისაზღვრება ორი რეაქციით. ერთია ფოსფოგლუცერინალდეჰიდის გარდაქმნა ფოსფოგლუცერინის მჟავად, ხოლო მეორე — აცეტალდეჰიდისა სპირტად.

ა დ ე ნ ო ზ ი ნ ტ რ ი ფ ო ს ფ ო რ ი ს მ ჟ ა ვ ა (ატფ) მნიშვნელოვან როლს ასრულებს ფოსფორილირების პროცესში. ეს ის ნაერთია, რომლის დაშლის დროს გამოიყოფა ენერჯის დიდი რაოდენობა. ამიტომ მას მაკროერგულ ნაერთთა ჯგუფს აკუთვნებენ. მაკროერგული ბმა ადენოზინტრიფოსფორის მჟავაში წარმოდგენილია იქ. სადაც ორი უკანასკნელი ფოსფატის ნაშთი კავშირდება ადენილის მჟავასთან. ქვემოთ მოტანილია ადენოზინტრიფოსფორის მჟავას სქემატური ფორმულა, სადაც ფოსფორის ორი მაკროერგული ბმა აღნიშულია ნიშნით: ~

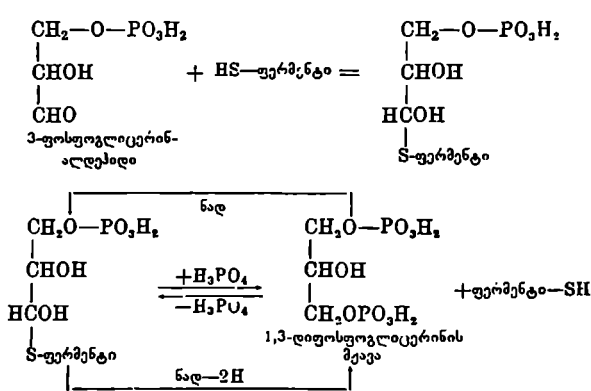


ფოსფოფერაზები, ანუ ფოსფოკინაზები ააქტივებენ ფოსფატის ნაშთის გადატანას ადენოზინტრიფოსფორის მჟავადან შაქრებზე. ერთი ფოსფატის ნაშთის ჩამოშორების შემდეგ ადენოზინტრიფოსფორის მჟავა გარდაიქმნება ადენოზინ-დიფოსფორის მჟავად (ადფ):



თიამინპიროფოსფატი წარმოადგენს ვიტამინ B₁-ს — თიამინის პირ-
ოფოსფორმეჯა ესთერს. ის მონაწილეობას ღებულობს როგორც ფერ-
შენტი კარბოქსილაზას პროსტეტიული ჯგუფი პიროუურძნის მეჯას დეკარბოქსი-
ლირებაში. როდესაც პიროუურძნის მეჯა კარბოქსილის ჯგუფს კარგავს, მი-
ღება აცეტალდეჰიდი. უკანასკნელის აღდგენა ნად-ის საშუალებით იძლევა დუ-
ლილის საბოლოო პროდუქტს — სპირტს.

გ ლ უ ტ ა თ ი ო ნ ი. 3-ფოსფოგლიცერინალდეჰიდის ფოსფორილირებასა
და მომდევნო დაჯანგვაში მონაწილეობას ღებულობს გლუტათიონი, რომელიც
3-ფოსფოგლიცერინალდეჰიდის დეჰიდროგენაზას კოფერმენტს წარმოადგენს.
გლუტათიონის სულფჰიდრილის ჯგუფის საშუალებით წარმოებს აღდეჰი-
დის დაჯანგვრება, რის შედეგად აღვიღებთ აღდეჰიდის დეჰიდრირება
დაჯანგული ნად-ის საშუალებით. ამის მომდევნო რეაქციაში დაჯანგული აღდე-
ჰიდისაგან და გლუტათიონისაგან შემდგარი კომპლექსი განიცდის ფოსფორო-
ლიზს, ე. ი. დაშლას ფოსფორის მეჯას საშუალებით იმგვარად, რომ ფოსფატის
ნაშთი რჩება გლიცერინის მეჯასთან, ხოლო წყალბადი გლუტათიონის თიო-
ჯგუფს უკავშირდება:

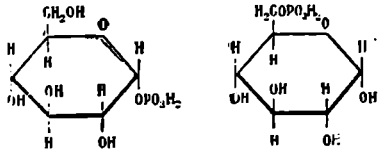


მაგნიუმის იონები მონაწილეობას ღებულობს დუღილის პრო-
ცესში როგორც ფერმენტების აქტივატორი. განსაკუთრებული მნიშვნელობა
ენიკება მას ფერმენტი ენოლაზას გააქტივებაში. ეს ფერმენტი მონაწილეობს
პირუურძნის მეჯას ენოლის ფორმის კეტო-ფორმად გადაყვანაში.

განვიხილოთ სპირტის დუღილის ცალკეული ეტაპები:

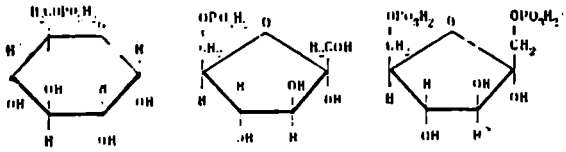
1 ფაზა. ჰექსოზო-ფოსფორის მეჯაების შექმნა წარმოად-
გენს დუღილის პროცესის პირველ ფაზას. ფოსფორილირებული ჰექსოზა სა-
ფუერის უჯრედში შეიძლება შეიქმნას ან გლიკოგენის ფოსფოროლიზის, ანდა
გლუკოზას ფოსფორილირების შედეგად. პირველ შემთხვევაში უჯრედში დაგ-
როვილი გლიკოგენი იშლება ფოსფორის მეჯას საშუალებით და წარმოიშობა
გლუკოზო-1-ფოსფორის მეჯა. ამ პროცესის კატალიზს აწარმოებს ფერმენტი
გლიკოგენ-ფოსფორილაზა. მეორე შემთხვევაში უჯრედში მიმდინარეობს საჯ-
ვები არიდან შექმნილი გლუკოზას უშუალო ფოსფორილირება კოფერმენტის —
აღენოზინტრიფოსფორის მეჯას (ატფ) ფოსფატის საშუალებით. ეს რეაქცია
აქტივდება ფერმენტი ჰექსოზოკინაზით და მიიღება გლუკოზო-6-ფოსფატი.

იმ შემთხვევაში, როდესაც დუდილის პროცესი გლიკოგენიდან დაიწყება, მაშინ ადგილი აქვს ფოსფოროლიზის შედეგად მიღებულ გლუკოზო-1-ფოსფატის მოლეკულის შიგნითა კატალიზურ გარდაქმნას ფრუქტოზო-6-ფოსფატ-ფოსფოტაზის საშუალებით. ეს იმაში გამოიხატება, რომ გლუკოზო-1-ფოსფატში ფოსფორის მქავეს ნაშთი გადაადგილდება პირველი ნახშირბადიდან მეექვსეზე და მიიღება გლუკოზო-6-ფოსფატი.



გლუკოზო-1-ფოსფორის მქავეა გლუკოზო-6-ფოსფორის მქავეა

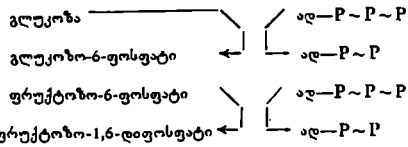
ახლა სცენაზე გამოდის გლუკოზოფოსფატის იზომერაზა, რომელიც ააქტივებს გლუკოზო-6-ფოსფატის გარდაქმნას ფრუქტოზო-6-ფოსფატად. წონასწორობა ამ ორ ფოსფორის ესტერს შორის მყარდება, როდესაც შეფარდება გლუკოზო-6-ფოსფატისა ფრუქტოზო-6-ფოსფატთან მიაღწევს 3:1. რადგან დუდილის პროცესში ფრუქტოზო-6-ფოსფატი მოიხმარება, ამიტომ წონასწორობა რეაქცია გადახრილია ფრუქტოზო-6-ფოსფატის სინთეზისაკენ.



გლუკოზო-6-ფოსფორის მქავეა ფრუქტოზო-6-ფოსფორის მქავეა ფრუქტოზო-1,6-დიფოსფორის მქავეა

დუდილის ეს ფაზა მთავრდება ფრუქტოზო-6-ფოსფატის განმეორებელი ფოსფორილირებით. ფოსფორილირების რეაქცია აქტივდება ფოსფოფრუქტოკინაზით და მასში მონაწილეობას ლებულობს ისევე აღენიშნებოდა ფოსფორის მქავეს კიდურა ფოსფატი. რეაქციის შედეგად წარმოიშობა ფრუქტოზო-დიფოსფორის მქავეა.

ურთიერთდამოკიდებულება ჰექსოზოფოსფორის მქავეებს შორის შეიძლება გამოიხატოს შემდეგი სქემით:

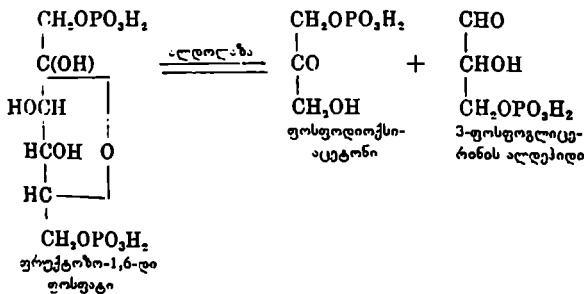


ქვემოთ ტაბულაში მოტანილია შაქრების მნიშვნელოვანი ესტერების ზოგიერთი ქიმიური და ფიზიკური თვისებები, როგორც მაგალითად, ალდეჰიდი თვისება, ოპტიკური აქტივობა, დისოციაციისა და ჰიდროლიზის კონსტანტები.

ნ ა ე რ თ ე ბ ი	აღდგენითი უნარი გლუკოზის %-ში		ხვედრითი ობტიკური ბრუნვა (α)	დისოციაციის კონსტანტა		ჰირო- ლიზის კონსტანტა $K \cdot 10^{-4}$ $\frac{n}{l} \text{ HCl-ში}$
	კარბონი- ლის წგუ- ფის	მხოლოდ აღლო წგუფის		pk ₁	pk ₂	
ფოსფორის მჟავა	—	—	—	1.90	6.81	—
კლუკოზა	100	100	+52	—	—	—
ფრუქტოზა	100	(2)	-110.8	—	—	—
კლუკოზო-6-ფოსფორმჟავას რო- ბინსონის ესთერი	78	100	+41.4	0.94	6.11	0.23
ფრუქტოზო-6-ფოსფორმჟავას ნე- იბერგის ესთერი	79	(3,5)	+1.5	0.97	6.11	4.4
ჰანოზო-6-ფოსფორის მჟავა	79	63	+17.0	—	—	0.30
ფრუქტოზო-1-ფოსფორმჟავა	56	(2)	-64.2	—	—	70
კლუკოზო-1-ფოსფორმჟავა	0	0	+120	—	—	ძალიან დიდი
ჰექსოზო-1-6-დიფოსფორმჟავა (პარდენ-იონგის ესთერი)	41	(7)	+3.4	1.48	6.29	—

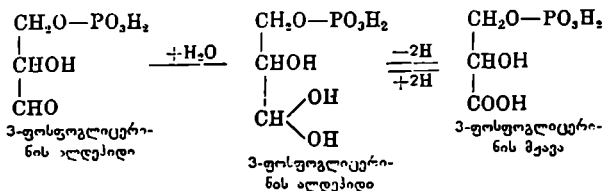
ტაბელაში მოტანილი მონაცემებიდან ირკვევა, რომ ფოსფორის ესთერებს გლუკოზო-1-ფოსფორმჟავას გარდა შენარჩუნებული აქვს აღდგენითი თვისებები, ე. ი. კარბონილის წგუფი მათ მოლეკულაში თავისუფალი რჩება. კარბონილის წგუფის აღდგენითი უნარიანობა კლებუ-
ლობს ჰექსოზაში ფოსფორის მჟავას ჩანაცვლებისას. დისოციაციის კონსტანტების მნიშვნელობა
ზღვარებს შემდეგში: როდესაც ესთერის გასაქნისას ფოსფორის მჟავა განთავისუფლდება,
უნთის ან საფურების ექსტრატში მოხდება სითხის შემეყვება, რადგან ფოსფორმჟავა მარ-
ლოს დისოციაციის კონსტანტა მერტია, ვიდრე ჰექსოზოფოსფორმჟავა მარილების. პირიქით ჰექ-
სოზოფოსფორმჟავა მარილების შექმნისას ადგილი ექნება ხსნარის გატუტიანებას (მარილი
პარდენ-იონგის გამო).

II თ ა ზ ა . ტ რ ი ო ზ ო ფ ო ს ფ ა ტ ე ბ ი ს შ ე ქ მ ნ ა . დუღილის შემდეგ
ეტაზე ადგილი აქვს ჰექსოზანს ჯაქვის ორად გააობას, რის შედეგად მიიღება
ორი ფოსფორილირებული ტრიოზა: ფოსფორდიოქსიაცეტონი და 3-ფოსფოგლი-
ცერინის აღდგენილი. ეს რეაქცია აღმოჩენილია მეიერპოფის მიერ. რეაქციას
აქტივებს ფერმენტი კეტოზო-1-ფოსფატალდოლაზა. რეაქციის დამამტკიცებელ
საბუთს წარმოადგენს ის ფაქტი, რომ ფოსფორილირებული ტრიოზები გროვ-
დება მაღლარ არეში მონოდიაციეტრატის დამატებისას; ეს შხამი კავშირდება
დეჰიდროგენზას სულფიდრილის წგუფთან და აკავებს მის მოქმედებას ტრი-
ოზებზე. შედეგად დუღილის პროცესი ჩერდება ტრიოზოფოსფატების შექმნით.



საყურადღებოა ამ რეაქციაში ორი ფაქტი. ერთი იმაში მდგომარეობს, რომ ჰექსოზოდიფოსფატის დაშლამ უწყვეტად რეაქციას წარმოადგენს. შესაფერის პირობებში ტრიოზებიდან სინთეზირდება ისევე ჰექსოზა. მეორე მხრივ, აღმოჩენილია, რომ ტრიოზები იზომერიაზის განიციდან იმგვარად, როგორც ამას ადგილი აქვს ჰექსოზო-6-ფოსფატისა და ფრუქტოზო-6-ფოსფატის შემთხვევაში. ტრიოზების ურთიერთგარდაქმნა წარმოებს სპეციფიკური ფერმენტის — იზომერაზის დახმარებით. რადგან დუღილის დროს იხარჯება 3-ფოსფოგლიცერინის ალდეჰიდი. ამიტომ წონასწორობა ამ ორ ფოსფოტრიოზას შორის გადახრილია ყოველთვის 3-ფოსფოალდეჰიდის შექმნისავე.

III ფაზა: ფოსფოტრიოზების დეჰიდრირება. ფოსფორირებული ჰექსოზას გარდაქმნის შედეგად წარმოიშობა ფოსფოტრიოზები: ფოსფოდიქსიაცტონი და 3-ფოსფოგლიცერინალდეჰიდი. თუ მადულარ არეს თავიდანვე დამატა ნატრიუმ-ფლუორიდი, გროვდება ექვიმოლარული შეფარდებით ფოსფოგლიცერინისა და გლიცერინფოსფორის მქავე. გამორკვეულია, რომ ნატრიუმის ფლუორიდი ფოსფატის თანდასწრებისას ლეკავს მაგნიუმს, რომლითაც აქტივდება ფერმენტი ფოსფოპირუვატ-ჰიდრატაზა. ეს ფერმენტი აქტივებს 3-ფოსფოგლიცერინის მქავას გარდაქმნას პიროყურძნის მქავად. უნდა დავასვენათ, რომ გლიცერინფოსფორისა და ფოსფოგლიცერინის მქავეები პიროყურძნის მქავას წინამორბედი ნაერთებია, რადგან ფოსფოგლიცერინისა და გლიცერინფოსფორის მქავე უშუალოდ ჰექსოზოფოსფორის მქავეებიდან ვერ შეიქმნება, აქედან ბუნებრივია იმის დასკვნა, რომ მათი წყარო ფოსფოტრიოზებია. ფოსფოგლიცერინის მქავეა შექმნა დაკავშირებულია 3-ფოსფოგლიცერინალდეჰიდის დაქანგვანთან, ხოლო გლიცერინფოსფორის მქავესი — ფოსფოდიქსიაცტონის ალდეგანთან. ეს ქანგვა-ალდეგნითი რეაქციის კატალიზი წარმოებს ფოსფოგლიცერინალდეჰიდ-დეჰიდრაჯენაზასა და ნად-ის უშუალო მონაწილეობით.

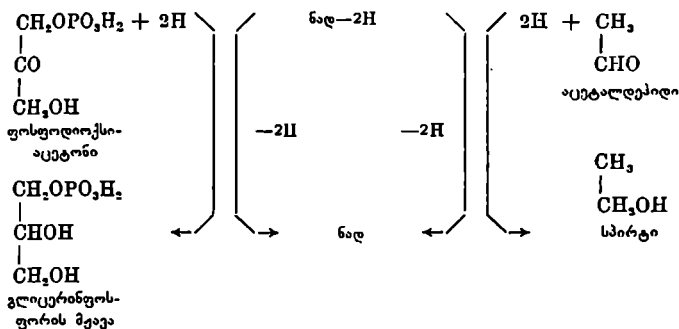


რეაქციის შედეგად დაქანგული ნად-ი ალდეგმა და წარმოიშობა ნად-2H.

ნად-ი მადულარ არეში წარმოდგენილია როგორც ყოველივე კოფერმენტი მცირე რაოდენობით. ამიტომ მისი მარაგი სულ მალე გამოილევა, თუ ამავე დროს არ წარმოებს მისი ალდეგნა პირვანდელ მდგომარეობამდე. როდესაც მადულარ არეში მიმატებულია ნატრიუმის ფლუორიდი და რეაქცია შეჩერებულია ფოსფოგლიცერინისა და გლიცერინფოსფორის მქავეების შექმნით, მაშინ ალდეგნოლი ნად-2H გადასცემს თავის წყალბადს ფოსფოდიქსიაცტონს ან ფოსფოგლიცერინალდეჰიდს და ალდეგნს მათ გლიცერინ-ფოსფორის მქავეად.

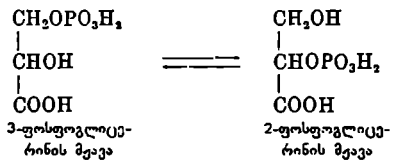
ნორმალურ პირობებში, როდესაც დუღილის პროცესი შეუფერხებლავ მიმდინარეობს, წყალბადის აქცეპტორის (მიმღების) როლს ალდეგნოლი ნად-2H-დან ასრულებს არა ფოსფოდიქსიაცტონი, არამედ აცეტალდეჰიდი, რის

შედგება უკანასკნელი სპირტად გარდაქმნება. ფოსფორიოქსიაცეტონი კი თავის მხრივ იზომერიზაციას განიცდის და ისევ ფოსფოგლიცერინალდეჰიდს იძლევა.



ნად-ის მოქმედების წარმართვა არა აცეტალდეჰიდის, არამედ ფოსფორიოქსიაცეტონის ალდგენაზე შესაძლებელი ხდება ბისულფიტით. ამ შემთხვევაში ბისულფიტი ბოკავს აცეტალდეჰიდს, გამოყავს ის რეაქციიდან და ნად-ი თავის წყალბადს გადასცემს უკვე ტრიოზას. ამ გზით შესაძლებელი გახდა გლიცერინის დამზადება საწარმოო მასშტაბით.

დუდილის ნორმალურ პირობებში 3-ფოსფოგლიცერინის მჟავა, რომელიც 3-ფოსფოგლიცერინალდეჰიდისაგან მიიღება, განიცდის მოლეკულის შიგნითა გარდაქმნას: ფ ე რ მ ე ნ ტ ფ ო ს ფ ო გ ლ ი ც ე რ ო მ უ ტ ა ზ ა ს მოქმედებით ფოსფორის მჟავას ნაშთი მესამე ადგილიდან გადადის მეორეზე:



ეს გარდაქმნა აადვილებს გლიცერინის მჟავადან პიროყურძნის მჟავას მიღებას.

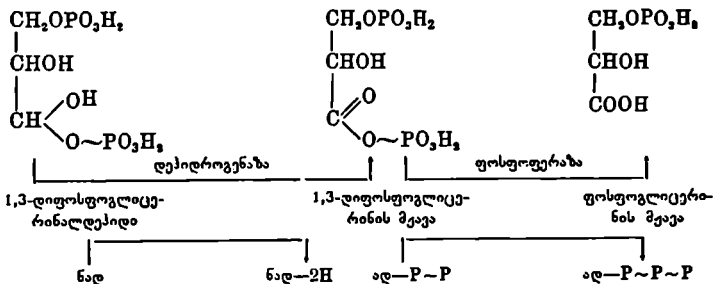
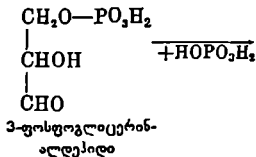
IV ფ ა ზ ა: პ ი რ ო ყ უ რ ძ ნ ის მ ჟ ა ვ ა ს შ ე ქ მ ნ ა წ ა რ მ ო ა დ გ ე ნ ს ყ ვ ე ლ ა ზ ე უ ფ რ ო მ ნ ი შ ვ ნ ე ლ ო ვ ა ნ რ ე ა ქ ი ა ს დ უ დ ი ლ ის პ რ ო ც ე ს შ ი, რ ა დ გ ა ნ ა მ ნ ა ე რ თ ი დ ა ნ ი ყ ვ ე ბ ა ნ ა ხ შ ი რ წ ყ ლ ე ბ ის ა ნ ა ე რ ო ბ უ ლ ი გ ა რ დ ა ქ მ ნ ის გ ა ნ ს ხ ვ ა ე ვ ბ ა ს ხ ვ ა დ ა ს ზ ვ ო რ გ ა ნ ი ზ მ შ ი.

შემჩნეული იყო, რომ 3-ფოსფოგლიცერინალდეჰიდის დეჰიდრირებას მაღლურ არეში ადგილი აქვს იმ შემთხვევაში, თუ წარმოღვენილია არაორგანული ფოსფატი. ამასთან ერთად გაირკვა, რომ როდესაც ერთი მოლეკულა ალდეჰიდი დაიქანება, ფოსფატის ერთი მოლეკულა კავშირდება ორგანული ნაერთის სახით. დაქანების პროდუქტი არის არა 3-ფოსფოგლიცერინის მჟავა, არამედ მანამდე უცნობი 1,3-დიფოსფოგლიცერინის მჟავა: ამ რეაქციაში მონაწილეობას ლებულობს გლუტათიონი. უნდა დაეუშვათ, რომ 3-ფოსფოგლიცერინალდეჰიდი

გარდაიქმნება ჯერ 1,3-ფოსფოგლიცერინალდეჰიდად და მხოლოდ შემდეგ ხდება ალდეჰადას დეჰიდრირება ნად-ის საშუალებით.

დეჰიდრირების რეაქცია შეიძლება შეკავდეს მონოიოდაცეტატით, რომელიც დეჰიდროგენაზას SH ჯგუფებთან კავშირდება და მის მოქმედებას სპობს.

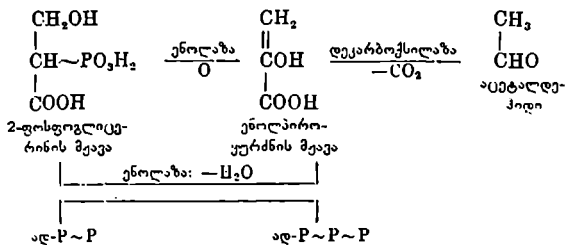
მეორე ფაქტი, რომელიც დადგენილი იყო ფოსფოგლიცერინალდეჰიდის დაქანგვის შესწავლისას, იმაში მდგომარეობს, რომ ამ დროს ადენოზინტრიფოსფორის მქაევას აღდგენა ხდება იმ ფოსფატის საშუალებით, რომელიც დაკავშირებულია 1,3-დიფოსფოგლიცერინის მქაევას კარბოქსილის ჯგუფთან, ეს პროცესი აქტივდება სპეციფიკური ფოსფოფერაზით. მაშასადამე, 3-ფოსფოვლიცერინალდეჰიდის დაქანგვა შემდეგ ეტაპებს შეიცავს:



საქიროა ყურადღება მიექცეს იმ გარემოებას, რომ ალდეჰიდის ჯგუფას ფოსფორილირება 3-ფოსფოგლიცერინალდეჰიდში გულისხმობს ფოსფორის მაკროერგული ბმის წარმოშობას.

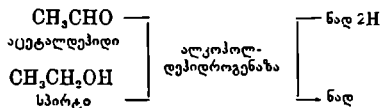
ზემოთ მოტანილი გარდაქმნა მთავრდება 3-ფოსფოგლიცერინის მქაევას იზომერიზაციით 2-ფოსფოგლიცერინის მქაევად.

თუ დიალიზირებული საფუერის წვენს დაემატა 2-ფოსფოგლიცერინის მქაევა, დაკროვებას დაიწყებს 2-ფოსფოაპიროყურძნის მქაევა. ეს პროცესი დაკავშირებულია აგრეთვე ფოსფორის მაკროერგული ნაერთის წარმოშობასთან 2-ფოსფოაპიროყურძნის მქაევას სახით. რეაქციის კატალიზი წარმოებს ფერმენტ ფოსფოაპირუვატ-ჰიდრატაზას, ენოლაზას, საშუალებით. ენოლაზას მოქმედების აცილება შეიძლება ნატრიუმის ფლუორიდით, რომელიც ლექავს მაგნიუმსა და ამით იწვევს ფერმენტის ინაქტივაციას. იმ შემთხვევაში, თუ დიალიზირებულ წვენს 2-ფოსფოაპიროყურძნის მქაევასთან ერთად დაემატა ადენოზინდიფოსფორის მქაევა, 2-ფოსფოაპიროყურძნის მქაევა იშლება, ხოლო ადენოზინტრიფოსფორის მქაევა წარმოიქმნება. რეაქციის შედეგად გროვდება პიროყურძნისა და ადენოზინტრიფოსფორის მქაევის.



პიროფურძნის მჟავა გარდაქმნის შემდეგ ეტაპზე კარგავს ფერმენტ პირ- ეტ-დეკარბოქსილაზას მოქმედებით კარბოქსილის ჯგუფს და წარმოიშობა აცე- ტალდეჰიდი. ამ პროცესში ფერმენტის პროსტეტიული ჯგუფის სახით მონაწი- ლეობას ლებულობს თიამინის პიროფოსფორის მჟავას ესთერი.

ვ ფ ა ზ ა : აცეტალდეჰიდის აღდგენა წარმოადგენს სპირტის დუღილის პროცესის უკანასკნელ ფაზას. ამ რეაქციაში მონაწილეობას ლებუ- ლობს ნად-2H, რომელიც ფოსფოგლიცერინალდეჰიდთან რეაქციის შედეგად აღდგენილ მდგომარეობაში იმყოფება. იმ შემთხვევაში, როდესაც აცეტალდე- ჰიდის დაგროვება შეჩერებულია (ფლუორიდის მოქმედებით), ანდა ის შეზოქი- ლია (ბისულფიტის საშუალებით), მაშინ აღდგენილი ნად-2H რეაგირებს ტრიოზ- ზასთან და აღადგენს მას გლიცერინად. როგორც აღვნიშნეთ, დუღილის ნორმა- ლურ პირობებში ნად-2H თავის წყალბადს გადასცემს აცეტალდეჰიდს და აღად- გენს მას სპირტად.



წყალბადის გადატანა აქტივდება ფერმენტ ალკოჰოლ-დეჰიდროგენაზის საშუალებით. დაუანგული ნად-ი შემდეგში ხელახლა მოიხმარება ტრიოზების დაუანგვის რეაქციებში, როგორც წყალბადის აქცეპტორი.

სპირტის დუღილის ცალკეული ეტაპები რომ შევჯამოთ, ჩვენ შემდეგი სურათი გეხატება. დუღილი იწყება გლიკოგენის ფოსფოროლიზით, ანდა გლუ- კოზას ფოსფორილირებით. უკანასკნელ რეაქციაში მონაწილეობას ლებულობს ადენოზინტრიფოსფორის მჟავა. გლუკოზას ფოსფორილირების შედეგად წარმო- იშობა ჯერ გლუკოზო-6-ფოსფატი, რომელიც მაშინვე გარდაიქმნება ფრუქტო- ზო-6-ფოსფატად. ეს უკანასკნელი განიცდის ხელახლა ფოსფორილირებას ადე- ნოზინტრიფოსფატის საშუალებით და დუღილის ეს ეტაპი მთავრდება ფრუქ- ტოზოდიფოსფატის შექმნით.

ნახშირწყლის ჯაკეი მხოლოდ ფრუქტოზოდიფოსფატის შექმნის შემდეგ განიცდის დაშლას. ჯაკეი წყდება ორი ფოსფორილებული ტრიოზას წარმოშო- ბით. ამ ფოსფოტრიოზებს ახასიათებს ურთიერთგარდაქმნის უნარი. როდესაც მომდევნო რეაქციაში ერთ-ერთი იხარჯება, მეორე ფუნქციონირებს როგორც პირველის წყარო. დუღილის პროცესში ერთ-ერთი ფოსფოტრიოზა — ფოსფო- გლიცერინალდეჰიდი დეჰიდრირებას განიცდის. მაგრამ როგორც კი მისი რაო- დენობა შემცირდება, მეორე ფოსფოტრიოზა — ფოსფოდიოქსიაცეტონი მაშ-

ინვე გარდაიქმნება ფოსფოგლიცერინალდეჰიდად და ამ გზით დუდილის პრ-
ციის გრძელდება.

3-ფოსფოგლიცერინალდეჰიდი დეჰიდრირებას (დაჟანგვას) განიცდის ნაღ-
ის მოქმედებით. ამ რეაქციის დროს 3-ფოსფოგლიცერინალდეჰიდი იჟანგება
3-ფოსფოგლიცერინის მეავად, ხოლო ერთდროულად ნად-ი აღდგება, ე. ი.
აღილი აქვს ჟანგვა-აღდგენით რეაქციას. ამ დროს განთავისუფლებული ენერ-
გია აკუმულირდება ადენოზინტრიფოსფორის მეავაში.

3-ფოსფოგლიცერინის მეავა თავის მხრივ ჯერ გარდაიქმნება 2-ფოსფო-
გლიცერინის მეავად, ხოლო შემდეგ 2-ფოსფოგლიცერინის მეავა გადადის 2-
ფოსფოპიროყურძნის მეავაში. დუდილის შემდეგ ეტაპზე 2-ფოსფოპიროყურ-
ძნის მეავას გარდაქმნა ორგვარად მიმდინარეობს. ჯერ ერთი, ის გადასცემს
თავის ფოსფატს ადენოზინდიფოსფატს. მეორე მხრივ, ის განიცდის დეკარბოქ-
სილირებას და იძლევა აცეტალდეჰიდს.

დუდილის საბოლოო რეაქციაში აცეტალდეჰიდი აღდგება სპირტად იმ
ნად-2H-ით, — რომლის აღდგენილი ფორმა შეიქმნა ფოსფოტრიოზას დეჰიდ-
რირების შემწეობით.

დუდილის ერთი ციკლის შედეგი იმაში მდგომარეობს, რომ ერთი მოლე-
კულა გლუკოზის დადულებიას მიიღება სპირტისა და ნახშირორჟანგის ორ-ორი
მოლეკულა. დუდილის ერთ ციკლში ნად-ი ჯერ აღდგება და შემდეგ ისევ იჟან-

სპირტის დუდილის სქემა

ფ ე რ მ ე ნ ტ ი	ს უ ბ ს ტ რ ა ტ ი	კოფერმენტები
პექსოკინაზა	გლუკოზა	— ალ—P ~ P ~ P
გლუკოზოფოსფატოზომერაზა	გლუკოზო-6-ფოსფატი	— ალ—P ~ P
ფრუქტოფოსფოკინაზა	ფრუქტოზო-6-ფოსფატი	— ალ—P ~ P ~ P
კეტოზო-1-ფოსფატალდოლაზა	ფრუქტოზო-1,6-დიფოსფატი	— ალ—P ~ P
ტრიოზოფოსფატოზომერაზა	ფოსფოტრიოზები	
ტრიოზოფოსფატდეჰიდროგენაზა	2 მოლ 3-ფოსფოგლიცერინალდეჰიდი	— ნად-ი
ფოსფოგლიცერატკინაზა	2 მოლ 1,3-დიფოსფოგლიცერინის მეავა	— ნად—2H
ფოსფოგლიცერომულტაზა	2 მოლ 3-ფოსფოგლიცერინის მეავა	— ალ—P ~ P
ფოსფოპირუვატიდრატაზა	2 მოლ 2-ფოსფოგლიცერინის მეავა	— ალ—P ~ P ~ P Mg ⁺⁺
პირუვატკინაზა	2 მოლ ფოსფოპიროყურძნის მეავა	— ალ—P ~ P
პირუვატდეკარბოქსილაზა	2 მოლ პიროყურძნის მეავა	— ალ—P ~ P ~ P
ალკოჰოლდეჰიდროგენაზა	2 მოლ აცეტალდეჰიდი	— ნად—2H
	ს პ ი რ ტ ი	— ნად

ვება, ე. ი. ციკლის დამთავრებისას ის საწყის მდგომარეობაში გადადის. ადენოზინტრიფოსფატის ორი მოლეკულა იხარჯება ერთი მოლეკულა გლუკოზას ფოსფორილირებაზე. მაგრამ მომდევნო რეაქციებში ადგილი აქვს მისი ოთხი პროლეკულის ხელახლა შექმნას.

ადენოზინტრიფოსფატის ჯერ ორი მოლეკულა მიიღება 1,3-დიფოსფოვლაციონის მექავასი, ხოლო შემდეგ კიდევ ორი 2-ფოსფოპიროფურმინის მექავას ვარდაქმნის დროს. აქედან გასაგები ხდება, რომ საერთო ჯამში ერთი მოლეკულა გლუკოზას დადუღებისას ადგილი აქვს ორი მოლეკულა ადენოზინტრიფოსფატის ხელახლად შექმნას. ქვემოთ ჩვენ დავინახავთ, თუ რა დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ამ ფაქტს.

ზემოთ სქემაში შეჩამებულია სპირტის დუღილის ქიმიური რეაქციების თანმიმდევრობა და ამ პროცესში ფერმენტების და კოფერმენტების მონაწილეობა.

§ 4. დუღილის ინფოკიური და სტაბიონარული ფაზა

ხშირად ამჩნევენ, რომ დუღილის პროცესი დასაწყისში მცირე ოდენობით მიმდინარეობს. გარკვეული დროის შემდეგ იწყება ინტენსიური დუღილი. ამ საწყის პროცესს, როდესაც მადულარ არეში შუალედი პროდუქტების დაგროვება მიმდინარეობს, უწოდებენ დუღილის ინდუქციურ ფაზას. დუღილის ინდუქციურ ფაზაში ქიმიური გარდაქმნები ერთიმეორეს იმ თანმიმდევრობით ცვლის, როგორც ეს ზემოთ სქემაშია მოტანილი. მაგრამ, როდესაც მადულარ არეში აცეტალდეჰიდი საკმარისი რაოდენობით დაგროვდება, ნად-2H დაქანგვისათვის უკეთესი პირობები იქმნება. ფოსფოტრიოზებს ცვლის წყალბადის აქცეპტორის დიდი რაოდენობა, რაც ნად-ის სწრაფ დეჰიდრირებას იწვევს. ამით ნად-ს ენიჭება რეაქციაში ხელახლა შესვლის უნარი. აქედან დუღილი უკვე სტაციონარულ ფაზაში გადადის და ის გრძელდება, სანამ საკვებ არეში გლუკოზა ბოლომდე არ დაიხარჯება.

§ 5. გლიკოგენოლიზი კუნთის კსოვილში

კუნთის მუშაობის ენერგეტიკული წყარო არის გლიკოგენი, მართალია, კუნთის შეკუმშვაზე ის უშუალოდ არ იხარჯება, მაგრამ მისი გარდაქმნა ხელს უწყობს იმ მექანიზმის ამუშავებას, რომლითაც კუნთი მოძრაობაში მოდის.

გლიკოგენის გარდაქმნა კუნთის ქსოვილში შეიძლება გაიყოს ორ ფაზად. მისი ანაერობული გარდაქმნის დროს, როდესაც ქანგბადი არ მოიხმარება, წარმოიშობა რძის მექავა. გლიკოგენის აერობული გარდაქმნა საბოლოოდ იძლევა ნახშირორჟანგსა და წყალს.

რძის მექავას წარმოშობა. კუნთში რძის მექავას წარმოშობის პროცესის შესწავლის შედეგად ის დასკვნა იქნა გამოტანილი, რომ კუნთს შეუძლია მუშაობა აწარმოოს ქანგბადის მოხმარების გარეშე, ე. ი. ანაერობულ პირობებში. ამ დროს გლიკოგენისაგან იქმნება რძის მექავა მით უფრო მეტი რაოდენობით, რაც უფრო დიდხანს მუშაობდა კუნთი ქანგბადის მიხმარების გარეშე. როდესაც რძის მექავას რაოდენობა მაქსიმალურ ოდენობას აღწევს, კუნთი მუშაობას სწყვეტს. ამასთანავე აღმოჩენილი იყო მნიშვნელოვანი ფაქტი, რომ დაღლილ კუნთს ქანგბადის ატმოსფეროში მოთავსებისას უნახლდება მუშაობის

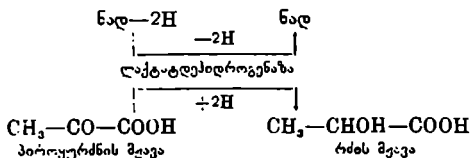
უნარი. მუშაობის უნარის განახლებასთან ერთად კუნთში რძის მჟავას რაოდენობა მკვეთრად მცირდება.

მ ე ი ე რ ჰ ო ფ მ ა დამატკიცა, რომ რძის მჟავა, რომელიც ანაერობულ პირობებში გლიკოგენისაგან იქმნება, ზუსტად შეესაბამება დაშლილი გლიკოგენის რაოდენობას, ხოლო კუნთის შიერ შესრულებული მუშაობა პროპორციულია გლიკოგენის იმ რაოდენობისა, რომელიც რძის მჟავად გარდაიქმნა. აქედან ის დასკვნა გამოიტანეს, რომ ენერგია, რომელიც საჭიროა კუნთის მოქმედებისათვის, იფარება გლიკოგენის გარდაქმნით რძის მჟავად.

დიდი მუშაობა იყო ჩატარებული იმ ქიმიური მექანიზმების გარკვევისათვის, რომლებიც საფუძვლად უდევს გლიკოგენოლიზს კუნთის ქსოვილში. როგორც ირკვევა, გლიკოგენის ანაერობული გარდაქმნა კუნთში ძალიან ემსგავსება იმას, რაც ჩვენ უკვე სპირტის დუღილის გაცნობის დროს განვიხილეთ.

გლიკოგენის გარდაქმნის პირველი ეტაპი იწყება მისი ფოსფოროლიზით. ადგილი აქვს გლიკოგენის დაშლას ფოსფორის მჟავას საშუალებით, რის შედეგად მიიღება გლუკოზო-1-ფოსფატი. ეს პროცესი აქტივდება ფერმენტ გლიკოგენ-ფოსფორილაზას მოქმედებით. გლუკოზო-1-ფოსფატი ნახშირწყლის ცვლის შემდეგ ეტაპზე განიცდის მოლეკულის შიგნითა გარდაქმნას, რაც იმაში გამოიხატება, რომ ფოსფორის მჟავა გლუკოზას პირველი ნახშირბადიდან გადაინაცვლება მეექვსეზე და მიიღება გლუკოზო-6-ფოსფატი. ამ უკუქცევადი რეაქციის კატალიზს აწარმოებს ფერმენტი ფოსფოგლუკომუტაზა.

გლუკოზო-6-ფოსფატიდან გარდაქმნა იმავე გზებით მიმდინარეობს. როგორც ამას ადგილი აქვს სპირტის დუღილის შემთხვევაში. განსხვავება იწყება პიროყურძნის მჟავადან. რძის მჟავა ბაქტერიების მაგავსად კუნთის ქსოვილში არ არის წარმოდგენილი იმ კარბოქსილაზა, რომელიც ანაერობული გზით აწარმოებდნენ პიროყურძნის მჟავას დეკარბოქსილირებას. ამიტომ აცეტალდეჰიდის მაგივრად აღდგენილი ნად-2H წყალბადის აქცეპტორის როლში გამოდის უკვე პიროყურძნის მჟავა. ლაქტატდეჰიდროგენაზას კატალიზური მოქმედების შედეგად პიროყურძნის მჟავა აღდგება რძის მჟავად.



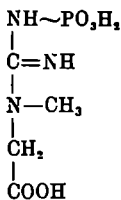
იხე როგორც სპირტის დუღილის შემთხვევაში, აქაც ნად-ი ფუნქციონირებს წყალბადის გადამტანის როლში ფოსფოგლიკერინალდეჰიდის დეჰიდრირებისას.

მეორე განსხვავება სპირტის დუღილის ქიმიურ გარდაქმნებსა და კუნთის ქსოვილის გლიკოგენოლიზს შორის იმაში მდგომარეობს, რომ კუნთის ქსოვილში გლუკოზას უშუალო ფოსფორილირება ადენოზინტრიფოსფატის მჟავათი შეცვლილია გლიკოგენის ფოსფოროლიზით. ფოსფოროლიზი იძლევა გლუკოზას ფოსფორილირების პროდუქტს ადენოზინტრიფოსფორის მჟავას დახმარების გარეშე. ადენოზინტრიფოსფორის მჟავა იხარჯება მხოლოდ ფრუქტოზოდიფოსფატის სინთეზზე. ამიტომ ერთი მოლეკულა გლიკოგენის გარდაქმნის დროს რძის მჟავად იხარჯება ადენოზინტრიფოსფორის მჟავას ერთი მოლეკულა და ხელახლა კი იქმნება ოთხი. აქედან გამომდინარეობს, რომ კუნთის გლიკოგენო-

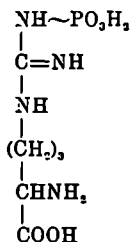
ლიზს სპირტის დელილთან შედარებით უპირატესობა ენიჭება მაკროერგული ნაერთის დაზოგვის თვალსაზრისით.

ფოსფატები. კუნთის ქსოვილში მიმდინარე ქიმიური გარდაქმნების შესწავლის შედეგად გაირკვა ის უაღრესად დიდი მნიშვნელობა, რომელიც მაკროერგულ ნაერთებს ენიჭება სასიცოცხლო პროცესის შესრულებაში. 1930 წლამდე გაბატონებული იყო მეიერჰოფისა და ჰილის თეორია კუნთის შეკუმშვის შესახებ. ამ თეორიის მიხედვით კუნთის მუშაობისათვის საჭირო ენერჯია იფარება უშუალოდ გლიკოგენის დაშლით. ფიქრობდნენ, რომ მიოფიბრილებს შეკუმშვა არის რძინა და ფოსფორის მკვებების შეკუმშვად ნივთიერებაზე მოქმედების შედეგი.

უკვე დიდი ხანი ცნობილი იყო კუნთთან ქსოვილში კრეატინის არსებობა. შემდეგში გამოირკვა, რომ კრეატინი კუნთში დაკავშირებულია ფოსფორის მკვებასთან. კრეატინფოსფორის მკევა ძალიან ადვილად განიცდის დაშლას კუნთის ფერმენტულ ხსნარებში და თავისუფლდება ფოსფორის მკევა. ამ ნაერთს ფოსფატები უწოდეს. უხერხემლო ცხოველთა კუნთებიდან კი გამოყოფილი იყო სხვაგვარი ფოსფატები — ფოსფორაგინინი.



კრეატინფოსფორის
მკევა



არგინინფოსფორის
მკევა

კრეატინფოსფორმკევაში და ფოსფორაგინინში ფოსფატის ნაშთი დაკავშირებულია მაკროერგული ბმის საშუალებით.

1930 წელს ლუნდსგაარდმა აღმოაჩინა, რომ კუნთს მონოიოდლაცეტატიზ მოწამლის შემდეგ აქვს კიდევ მუშაობის უნარი, კუნთი იკუმშება, მაგრამ ამ დროს რძის მკევა არ წარმოიშობა. შემკვებების ნაცვლად მოწამლულ კუნთში წყალბად-იონთა კონცენტრაცია კლებულობს. შემდეგში გამოირკვა, რომ მონოიოდლაცეტატიზ დამუშავებული კუნთის დაღლისას იშლება ფოსფატები და კუნთს მუშაობა შეუძლია, ხანამდე ფოსფატების მარაგი სრულებით არ გაქრება. ამ აღმოჩენით შეიკვალა ძველი შეხედულება გლიკოგენოლიზის დანიშნულების შესახებ და მთავარი ყურადღება ფოსფატებზე მიიპყრო.

გამოირკვა, რომ ფოსფატები იშლება კუნთის მუშაობის დროს და ის ხელაძლად აღდგება მოსვენებისას. ამასთან ერთად აღმოაჩინეს, რომ ფოსფატების დაშლა ნორმალურ კუნთში წინ უსწრებს მკევას წარმოშობას. ასეთი დაკვირვებებიდან ის დასკვნა გამოიტანეს, რომ კუნთის შეკუმშვის ენერჯიის წყარო არის ფოსფატები, ხოლო გლიკოგენოლიზის დროს განთავისუფლებული ენერჯია მოხმარდება ფოსფატების რესინთეზს. თუ რა დამოკიდებულებაშია ფოსფატები და რძის მკევა კუნთის შეკუმშვასთან და რა როლს ასრულებს ადენოზინტრიფოსფორის მკევა რძის მკევას წარმოშობაში და ფოსფატების აღდგენაში, ამის

გამორკვევა შესაძლებელი გახდა მას შემდეგ, რაც ბიოქიმიური გარდაქმნების შესწავლა პოლიანი კუნთიდან გადაიტანეს ქსოვილის ექსტრაქტებზე.

აღენოზინტრიფოსის მქაეა. 1941 წელს ვ. ენგელგარტმა და მ. ლუბიშოვამ აღმოაჩინეს, რომ შეკუმშვად ცილას — მიოზინს უნარი აქვს დაშალოს აღენოზინტრიფოსფორის მქაეა ერთი ფოსფატის ნაშთის ჩამოშორებით. რეაქციის შედეგად თავისუფლდება აღენოზინდიფოსფორის მქაეა, ხოლო მიოზინი ფიზიკურ-ქიმიურად იცვლება. ეს ცვლილება უფრო თვალსაჩინოა მიოზინის ხელოვნურ ძაფებში. აღენოზინტრიფოსფორის მქაევას მოქმედებისას ძაფი ან მოკლდება, ანდა გრძელდება. ამგვარად აღმოაჩინეს მიოზინის ორგვარი ფუნქცია: ის ფერმენტულ აქტივობას იჩენს აღენოზინტრიფოსფორის მქაევას მიმართ, ხოლო ენერგია, რომელიც თავისუფლდება ამ დაშლის დროს, ხმარდება ძაფის მიერ მუშაობის შესრულებას. ამ ფაქტებს უდარებად დიდი ბიოლოგიური მნიშვნელობა ენიჭება, რადგან გადავანდება, თუ რა გზით არის შესაძლებელი ქიმიური გარდაქმნის ენერგია გადავიდეს სასიცოცხლო პროცესის შესრულებაზე. ჩვენ ჭერჯვრობით არ ვიცით არც ერთი ნაერთი, რომელიც უფრო ახლო იყოს კუნთის ფუნქციურ მოქმედებასთან, ვიდრე აღენოზინტრიფოსფორის მქაეა.

დღეისათვის აღმოჩენილია მრავალი ფაქტი, რომელიც ამტკიცებს აღენოზინტრიფოსფორის მქაევას განსაკუთრებულ მნიშვნელობას სხვადასხვა ქსოვილის, ორგანოსა და უჯრედის ფუნქციაში. ირკვევა, რომ უჯრედის ოსმოსური მუშაობა, ბიოელექტროდენი, ჭირკვლების სეკრეტორული მოქმედება და ფოტოსინთეზი კი უშუალო კავშირშია მაკროერგულ ნაერთთა გარდაქმნებთან. ამ გარდაქმნებში წამყვანი როლი აღენოზინტრიფოსფორის მქაევას ეკუთვნის, როგორც ისეთ საშუალებას, რომლითაც ხორციელდება ქიმიური ენერგიის გარდაქმნა ფუნქციის შესრულებაში. ასეთი დიდი მოთხოვნილების დასაკმაყოფილებლად აღენოზინტრიფოსფორის მქაევას მრავალი უცბად ამოიწურებოდა, რომ ცოცხალ სისტემაში არ არსებობდეს მექანიზმები ამ ნაერთის რესინთეზისათვის.

ისე როგორც სპირტის ან რძის მქაევას დღეისათვის დროს, კუნთის ქსოვილის გლიკოგენოლიზით შესაძლებელი ხდება აღენოზინტრიფოსფორის მქაევას რესინთეზი. მაგრამ თუ მხედველობაში მივიღეთ ის გარემოება, რომ კუნთის მოქმედებისათვის საჭიროა ენერგიის დიდი რაოდენობით მიწოდება და ეს აღენოზინტრიფოსფორის მქაევას დაშლით ხორციელდება, გასაგები იქნება, რომ გლიკოგენოლიზი ვერ უზრუნველყოფს ასეთ დიდ მოთხოვნილებას და კუნთში უნდა არსებობდეს დამატებითი მექანიზმები, რომლითაც ამ ნაერთის რესინთეზი ხორციელდება. დამატებით მექანიზმებს ფოსფაგენის ცკლა და ჟანგვითი პროცესები წარმოადგენენ.

ფოსფაგენისა და აღენოზინტრიფოსფატის ურთიერთდამოკიდებულება. რადგან კრეატინფოსფორის მქაეა კუნთის ქსოვილის პრეპარატებში სწრაფად იშლება, ფიქრობდნენ, რომ არსებობს ფერმენტი, რომელიც მას ჰიდროლიზურად შლის. მაგრამ კუნთის ექსტრაქტში დიალიზის შემდეგ მიმატებული კრეატინფოსფატი დაშლას არ განიცდის. ეს იმაზე მიუთითებს, რომ კრეატინფოსფატის დაშლისათვის საჭიროა რომელიღაც ხსნადი ფაქტორი. ეს ფაქტორი აღმოჩნდა აღენოზინდიფოსფორის მქაეა. საქმიებაშია, რომ ექსტრაქტის დამზადების პროცესში ქსოვილში არსებული აღენოზინტრიფოსფორის მქაევას უმეტესი ნაწილი იშლება მიოზინის ზეგავლენით და ექსტრაქტში აღენოზინდიფოსფორის მქაეა და აღენილის მქაეა გროვდება. ასეთ

ექსტრაქტიში კრეატიფოსფორის მჟავა ჰიდროლიზს კი არ განიცდის, არამედ ის გადასცემს თავის ფოსფატის ნაშთს ადენოზინდიფოსფორის მჟავას (აღფ) და რეაქციის შედეგად წარმოიშობა თავისუფალი კრეატინი და ადენოზინტრიფოსფორის მჟავა (აფფ). ამ რეაქციას აქტივებს ფერმენტი კრეატიფოსფოკინაზა.

$$\text{კრეატიფოსფატი} + \text{აღფ} = \text{კრეატინი} + \text{აფფ}$$

რეაქცია უწყვეტევალია და ამიტომ გარკვეულ პირობებში ადგილი აქვს რეაქციის პირუტყუ მსვლელობას. როდესაც აფფ იშლება და მისი კონცენტრაცია მცირდება, მაშინ რეაქცია მიდის მარცხნიდან მარჯვნივ, ე. ი. ადგილი აქვს ადენოზინტრიფოსფატის სინთეზს: კრეატიფოსფატის რაოდენობა მცირდება, ხოლო აფფ-ს რაოდენობა მატულობს. როდესაც კუნთში ინტენსიური გლიკოგენოლიზი წარმოებს, მაშინ რეაქცია მარჯვნიდან მარცხნისაკენ გადაიხრება და ადგილი ექნება კრეატიფოსფატის დაგროვებას.

მაშასადამე, კუნთის მუშაობის პროცესში ადენოზინტრიფოსფორის მჟავა იშლება, მაგრამ დაშლის ამოჩენა შეუძლებელი არის, სანამ არსებობს ფოსფატის მარაგი. გლიკოგენოლიზი კი ხელს უწყობს ფოსფატის გარკვეულ მაღალ დონეზე შენარჩუნებას. ფოსფატში, ისე როგორც ადენოზინტრიფოსფორის მჟავაში, ფოსფატი დაკავშირებულია მაკროერგულად. ფოსფატის გადაცემით ფოსფატებიდან ადენოზინდიფოსფორის მჟავაზე ან პირიქით, ადენოზინტრიფოსფორის მჟავადან კრეატინზე, სისტემის ენერგეტიკული დონე არ იცვლება. განაზღვრება ამ სისტემის კომპონენტებს შორის იმამთ უნდა ვეძიოთ, რომ ადენოზინტრიფოსფატი გამოიყენება კუნთის ქსოვილის ფუნქციონირებისათვის, ხოლო ფოსფატი — ადენოზინტრიფოსფატის აღდგენაზე.

გლიკოგენოლიზისა და ფოსფატის გარდა არსებობს კიდევ ორი საშუალება ადენოზინტრიფოსფორის მჟავას რესინთეზისათვის. აერობულ პირობებში მომუშავე კუნთში ნახშირწყლების გარდაქმნის პოტენციალი ანაერობულ გარდაქმნასთან შედარებით გაცილებით უფრო მეტია და ამით იქმნება უკეთესი პირობები ადენოზინტრიფოსფორის მჟავას რესინთეზისათვის. მაკროერგული ნაერთების რესინთეზი აერობულ პირობებში მიმდინარეობს ფოსფორილირებასთან შეუძლებელი ქანგითი რეაქციების ენერგიით. ამ პირობებში ერთი გრამ მოლეკულა გლუკოზას სრული დაქანგვა უზრუნველყოფს 36 მოლეკულა მაკროერგული ფოსფატის დაკავშირებას.

როდესაც კუნთთან ქსოვილში ადენოზინტრიფოსფორის მჟავას რესინთეზისათვის ყველა რესურსი ამოწურულია, როდესაც გლიკოგენოლიზი, აერობული პროცესი და ფოსფატი ენერგიის გადამეტებული ხარჯის გამო მოთხოვნილებას ვერ აკმაყოფილებს, მათ ადგილს იკავებს მექანიზმი, რომლის აპოქმედება გარკვეული დროის განმავლობაში კუნთის ქსოვილს მუშაობის უნარს ანიჭებს. ეს მექანიზმი არის ადენილატკინაზური მოქმედება. ადენილატკინაზა ფოსფატის ნაშთის გადატანას აწარმოებს ადენოზინდიფოსფატის (აფფ) ერთი მოლეკულიდან მეორეზე. რეაქციის შედეგად ადენოზინდიფოსფატის ერთი მოლეკულა აღდგება ადენოზინტრიფოსფატად, ხოლო მეორე კარგავს ფოსფატის ჯგუფს და ადენილის მჟავად გარდაიქმნება:

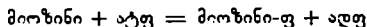
$$\text{აფფ} + \text{აფფ} = \text{აფფ} + \text{ადენილის მჟავა.}$$

ეს რეაქცია აგრეთვე უწყვეტევალია და გარკვეულ პირობებში ადენილის მჟავა ფოსფორილირებას განიცდის და ადენოზინდიფოსფორის მჟავა მიიღება. იმ

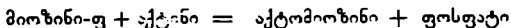
შემთხვევაში, თუ კუნთის დაღლა მის სინთეზურ უნარს აღმატება. მაშინ ადენილის მეფეა დეზამინირებას განიცდის და ის ინოზინის მეფედ გარდაიქმნება. მაგრამ ახლაც შესაძლებელი ზდება საქმის გამოსწორება. კუნთში წარმოდგენილია ისეთი სისტემები, რომლებიც ინოზინის მეფევს რეამინირებას ააქტივებს. ამინის ჭგუფის დონორად ამ შემთხვევაში ასპარაგინის მეფეა გამოიყენება.

ქ ი მ ი უ რ გ ა რ დ ა ქ მ ნ ა თ ა თ ა ნ მ ი მ დ ე ე რ ო ბ ა კუნთის შეკუმშვის დროს. ადენოზინტრიფოსფორის მეფევს (ატფ) დაშლის ენერჯია უშუალოდ ხმარდება კუნთის მექანიკურ ეფექტს. ამ რეაქციას შეკუმშვადი ნივთიერება — ცილა მიოზინი აწარმოებს, რომელიც ადენოზინტრიფოსფატს დაშლისთანავე ისეთ ფიზიკურ-ქიმიურ ცვლილებას განიცდის, რომელიც ფიბრილების შემოკლებაში გამოიხატება.

მიუხედავად იმისა, რომ კუნთის ბიოქიმიის, დარგში დიდი მუშაობა იყო შესრულებული, ჭერ კიდევ საბოლოოდ არ არის გარკვეული, თუ როგორ ვლინდება ქიმიური გარდაქმნები კუნთის ფუნქციონირებისას. ზოგადად ეს გარდაქმნები შემდგენიარად გვესახება. მიოზინი რეაგირებს ატფ-თან, იკავშირებს მისგან ერთი ფოსფატის ნაშთს და მიიღება მაკროერგული ნაერთი მიოზინფოსფატის სახით:



მომდევნო რეაქციაში მიოზინი-ფ კავშირდება მეორე შეკუმშვად ცილასთან — აქტინთან, წარმოიშობა კომპლექსი აქტომიოზინის სახით და ერთდროულად თავისუფლდება არაორგანული ფოსფატი.



ამ რეაქციის შედეგად მიღებული აქტომიოზინის ფიზიკურ-ქიმიური მდგომარეობა შეესაბამება კუნთის ფიბრილის შეკუმშულ მდგომარეობას, ე. ი. მიოზინი-ფ-ის ენერჯია იხარჯება ცილის ერთი ფიზიკური მდგომარეობიდან მეორე მდგომარეობაში გადასვლაზე. ეს ენერჯია მიიღება საბოლოოდ ატფ-ს დაშლით. მასთანადავე, მიოზინის ატფ-ზეური მოქმედება წარმოადგენს ორი გარდაქმნის ჭანს: 1) მიოზინის ფოსფორილირება, 2) აქტომიოზინის სინთეზი.

აქტომიოზინის შექმნა გაპირობებულია ატფ-ს დაშლით. შეკუმშვას თან სდევს კუნთის რელაქსაცია — მოღუნება. რელაქსაციას საფუძვლად უდევს აქტომიოზინის დისოციაცია — აქტინი უნდა ჩამოშორდეს მიოზინს. როგორც გაპირკვა აქტომიოზინის დისოციაცია დაკავშირებულია დაშლილ ატფ-ს ადღენასთან. ატფ-ი გვევლინება აქტიური საწყისის სახით როგორც კუნთის შეკუმშვის პროცესში, ისე მის მოღუნებაში. როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, ატფ-ს რესინინიზი ხორციელდება კუნთის უჯრედში წარმოდგენილი მთელი რიგი მექანიზმების საშუალებით. ეს მექანიზმებია:

- 1) კრეატინინაზური მოქმედება
- 2) ადენილატკინაზური მოქმედება
- 3) გლიკოგენოლიზის პროცესი
- 4) ჟანგვითი ფოსფორილირება.

დაშლილი ატფ მომუშავე კუნთში ფოსფაგენის შემწეობით მაშინვე აღდგება და ქიმიური ანალიზი ვერ უჩვენებს ატფ-ს რაოდენობის შემცირებას. ფოსფაგენი, თავის მხრივ, აღდგება იმ ენერჯიის საშუალებით, რომელიც გლიკოგენოლიზის დროს თავისუფლდება. თუ დაღლა აერობულ პირობებში მიმდრ-

ნარეობს. მაშინ ატფ-ს და ფოსფაგენის აღდგენა ქანგვითი ფოსფორილირების გზითაც წარმოებს.

ფოსფაგენის დაშლა რომ წინ უსწრებს გლიკოგენოლიზს, მტკიცდება ცდებ-ბ-თ. სადაც რძის მჟავას დაგროვების დინამიკა ირკვეოდა. გამოკვლეულია, რომ ეს მჟავა კუნთში გაღიზიანებისთანავე არ წარმოიშობა. ამისათვის საჭიროა გარკვეული დრო. ატფ-სა და ფოსფაგენის დაშლა გაღიზიანებისთანავე იწყება. რძის მჟავას წარმოშობა გრძელდება რამდენიმე სექუნდი. ამგვარად, გლიკოგენოლიზი გრძელდება კუნთის მოქმედების შეწყვეტის რამდენიმე ხნის შემდეგაც. ამ „დაგვიანებულ“ გლიკოგენოლიზს თან სდევს მაკროერგული ნაერთების რესინთეზი. იმ შემთხვევაში, თუ გლიკოგენოლიზი შეკავებულია მონოოდაცე-ტრატით, ფერმენტ ფოსფოგლიცერინალდეჰიდდეჰიდროგენაზას მოწაშლის გამო, მაშინ ფოსფაგენის რესინთეზი ვერ ხერხდება და კუნთში მაკროერგული ნაერთების მარაგის გამოლევის გამო სასიცოცხლო პროცესები წყდება.

ამგვარად კუნთში, ისე როგორც სხვა სისტემებში, ნივთიერებათა ცვლის ენერგია სასიცოცხლო ფუნქციის (შეკუმშვას) შესრულებას მოეხმარება არა უშუალოდ. სუნთქვის, გლიკოგენოლიზისა და ფოსფაგენის დაშლის ენერგია იხარჯება ადენოზინტრიფოსფატის რესინთეზზე. ამ ნაერთში ხდება იმ ენერგიის აკუმულირება, რომელიც დაკავშირებულია ცილა მიოზინის ფიზიკური მდგომარეობის ცვლილებასთან.

§ 8. პასტერის ეფექტი

პასტერის მიერ აღმოჩენილი იყო, რომ საფუარებს უნარი აქვთ მოიხმარონ ჰაერის ენერგია. მისი აზრით, საფუარებს შეუძლია ენერგია მიიღოს როგორც ანაერობული (ე. ი. გლიკოლიზის), ისე აერობული (ე. ი. ქანგვითი რეაქციების) გზით. მის მიერ შემჩნეული იყო, რომ აერობულ პირობებში საფუარები უფრო ნაკლებ შაქარს ხარჯავენ, ვიდრე ანაერობულში; სამაგიეროდ, ანაერობულ პირობებში წარმოიშობა სპირტის მეტი რაოდენობა. თავისთავად ცხადია, რომ ეს მოვლენა ანაერობული და აერობული ენერგეტიკული პოტენციალის სიდიდით უნდა აიხსნას. ვინაიდან დაჟანგვის დროს მეტი ენერგია გამოიყოფა, ამისათვის საფუარები შაქრის ნაკლები რაოდენობის გარდაქმნით კმაყოფილდება. მასასადამე, პასტერის მიხედვით, ენერგია სპირტის დუღილის პროცესზე უარყოფით გავლენას ახდენს. ენერგია ეს გავლენა გამოიხატება იმაში, რომ საფუარის ყოველი უჯრედი აერობულ პირობებში ათავისუფლებს სპირტის ნაკლებ რაოდენობას. აქმნება შთაბეჭდილება, რომ სპირტის დუღილი ნაწილობრივ სუნთქვით იფარება.

ზემოხსენებულ მოვლენას დიდი ბიოლოგიური მნიშვნელობა აქვს, ვინაიდან მისი საშუალებით მკვლევრებს კავშირი ნივთიერებათა ანაერობულსა და აერობულ გარდაქმნათა შორის. ამ კავშირის ექსპერიმენტული დასაბუთება რამდენიმე ათეული წელიწადი ვერ მოხერხდა, სანამ მეიერჰოფისა და ჰილის მიერ არ იქნა გამოჩნადული განსაზღვრული დამოკიდებულება, რომელსაც საფუძვლად პასტერის იდეები დაედო. ანაერობული და აერობული პროცესების ურთიერთკავშირს, რომელიც განსაზღვრული რეაქციების საშუალებით მყარდება, „პასტერის ეფექტი“ ეწოდა.

მეიერჰოფი იმ დასკვნამდე მიდის, რომ პასტერის ეფექტს საფუძვლად უდევს ის გარემოება, რომ სუნთქვის დროს იხარჯება ენერგეტიკული მასალის ნაკლები რაოდენობა, ვიდრე მაშინ, როდესაც ორგანიზმის მოთხოვნილება ენერგიაში

იფარება ანაერობული გარდაქმნებით. ანაერობული პროცესის ნაკლები ეფექტურობის გამო უნდა დაიხარჯოს ენერგეტიკული მასალის გაცილებით მეტი რაოდენობა.

ჰ ი ლ მ ა მთელი რიგი ცდები ჩაატარა, სადაც მიზნად ისახავდა გამოეყვლია სითბოს წარმოშობის საკითხი კუნთის მუშაობის სხვადასხვა მომენტში. მან ცდებში გამოიყენა უზუსტესი თერმომეტრული მეთოდიკა და მგრძობიარე თერმომეტრის საშუალებით შეძლო განეაზღვრა ტემპერატურის ცვლილება $0,7 \times 10^{-6}$ გრადუსის ფარგლებში და, რაც მთავარია, ტემპერატურის ცვლილების აღრიცხვა წამის ყოველ $1/60$ -ში. ამ ზუსტი მეთოდის საშუალებით მან გააკრვია სითბოს წარმოშობის ოდენობა კუნთის შეკუმშვისა და მოსვენების დროს.

პირველ ყოვლისა ჰ ი ლ მ ა აღმოაჩინა, რომ კუნთის მუშაობის პერიოდში გამოიყოფა სითბოს განსაზღვრული რაოდენობა, რომელსაც მან „საწყისი სითბო“ უწოდა. მოსვენების პერიოდში გამოიყოფა სითბოს თითქმის იგივე რაოდენობა, როგორც შეკუმშვის ფაზაში. მოსვენების პერიოდში სითბოს გამოყოფა უფრო ხანგრძლივად წარმოებს, რისთვისაც მას ეწოდა „შეკავებული სითბო“. ამ ცდებიდან გამომდინარეობდა, რომ კუნთის ერთხელ გალიზიანებისას სითბო გამოიყოფა მთლიანად არა მუშაობის პერიოდში, არამედ მუშაობის შემდეგ, როდესაც კუნთი მოსვენების ფაზაში იმყოფება. შემდეგში გამოიკვია, რომ მოსვენების დროს გამოიყოფილი „შეკავებული სითბო“ უშუალოდ დაკავშირებულია ენგბადის მოხმარებასთან. თუ კუნთი მოთავსებულია აზოტის ატმოსფეროში, ე. ი. იმყოფება ანაერობულ პირობებში, სითბოს გამოყოფას მეორე პერიოდში აღვილი არა აქვს. ჰ ი ლ მ ა ამ ცდებით დაამტკიცა, რომ მუშაობის პერიოდში არ არის საჭირო ენგბადი, ის აუცილებელია მოსვენების პერიოდში.

თუ ჰ ი ლ ი ს გამოკვლევები მხედველობაში მივიღოთ, უნდა დავუშვათ, რომ კუნთის მუშაობისათვის (შეკუმშვისათვის) არ არის საჭირო ენგბადი. ენგბადის საჭიროება იქმნება კუნთის მოსვენების პერიოდში, ე. ი. კუნთის მუშაობა დაკავშირებულია ნიუთონების ანაერობულ გარდაქმნასთან, ხოლო მოსვენება — აერობულ პროცესთან. ჰ ი ლ ი ს აზრით, კუნთი შესაძლებელია შევადაროთ საათს: როდესაც საათი მომართულია, ის მუშაობს, ეს არის კუნთის მუშაობის ფაზა, რომელიც ანაერობულ პირობებში მიმდინარეობს; საათის მომართვის პროცესი, რათა მის მექანიზმს პოტენციური ენერჯის მარაგი, ეს არის კუნთის მოსვენების ფაზა, როდესაც ენგბადის მოხმარებას აღვილი აქვს. როგორც საათის მუშაობისათვის საჭიროა მისი წინააღმართი მომართვა, ისე კუნთის მუშაობისათვის საჭირო ხდება მისი ენერჯით მომარაგება, ე. ი. ენგბადის მიწოდება. ის ხარჯავს მასში დაგროვილ პოტენციურ ენერჯიას და როდესაც ეს ენერჯია დაიხარჯება, კუნთი მუშაობას სწყვეტს.

ჰ ი ლ ი ს მის მიერ წარმოებულ ცდების მიხედვით, კუნთის მუშაობის შემდეგ სურათს იძლევა. კუნთი გალიზიანების შედეგად იყუმება. ეს შეკუმშვა მიმდინარეობს ანაერობულ ფაზაში და გლიკოგენისაგან წარმოიშობა რძის მჟავას განსაზღვრული რაოდენობა. რძის მჟავას წარმოშობას თან სდევს ენერჯიის განთავსეფლება, რომელიც ხმარდება შეკუმშვის პროცესს. შემდეგი მუშაობის წარმოებისათვის საჭირო ხდება რძის მჟავას მოშორება. ეს მოშორება წარმოებს რძის მჟავას დაწვის საშუალებით, რისთვისაც ენგბადი მოიხმარება.

ჰ ი ლ ი ს მიოთერმული გამოკვლევები საფუძვლად დაედო მ ე ი ე რ ჰ ო ფ ი ს მიერ ანაერობულ და აერობულ პროცესებს შორის ქიმიური კავშირის დადგენას. პირველ ყოვლისა გარკვეულ იქნა, რომ ანაერობულ პირობებში კუნთის მუშაობისას წარმოიშობა რძის მჟავა, რომლის რაოდენობა პირდაპირპროპორციულია კუნთის მიერ შესრულებული მუშაობისა. რძის მჟავას მომარაგებისას თანაბრად მცირდება კუნთში გლიკოგენის რაოდენობა. თუ ანაერობულ პირობებში დადლილი კუნთი მოთავსდება ენგბადის ატმოსფეროში, რძის მჟავა ქრება.

ვინაიდან სასიცოცხლო პროცესის შესრულებასთან (მაგალითად, შეკუმშვის პროცესთან) ანაერობული პროცესი უფრო ახლოს დგას, უჯრედი პოტენციალური ენერჯიის მარაგისაგან სულ მოკლე დროში დაიცლებოდა, რომ ანაერობულ პროცესს თან არ ჰყვებოდეს აერობული. აერობული პროცესის დროს გამოყოფილი ენერჯია ხმარდება პოტენციალური ენერჯიის აღდგენას მაკროერჯული ნაერთების სახით. აქედან გამომდინარეობს, რომ აერობული პრო-

ცესი, ანუ სუნთქვა ისეთ ეკონომიურ მოწყობილობას წარმოადგენს, რომლის საშუალებით მაკროერგული ნაერთების რაოდენობა მალაღონეზე შეინარჩუნება, რაც ორგანიზმს პოტენციალური ენერჯის დაცლისაგან იცავს.

ნახშირწყლების რესინთეზის საკითხი აერობულ პირობებში შესწავლილი იყო მცენარეებში და საფუარებში. გამოირკვა, რომ ენგბადს დადებითი გავლენა აქვს შაქრის შენახვაზე. საფუარი უფრო ნაკლებ შაქარს გარდაქმნის და შედეგად ნაკლებ სპირტს გამოყოფს. საფუერის უჯრედი აერობულ პირობებში ენერჯიას პოულობს ნახშირწყლების უშუალო დაქანგვით.

მცენარულ ორგანიზმში, სადაც დამქანგველი სისტემები სუსტად არის წარმოდგენილი, ადვილად ხერხდება ნახშირწყლების აერობული გარდაქმნის ანაერობულით შეცვლა. როდესაც ჩასუნთქულ ჰაერში ენგბადის რაოდენობა საკმაოდ შემცირდება, ორგანიზმში სუნთქვის პროცესის შექცევის გამო გროვდება ისეთი ნაერთები, რომლებიც ანაერობული პროცესისათვის არის დამახასიათებელი. ვინაიდან ამ დროს ნახშირწყლების გარდაქმნა ბოლომდე არ დადის, სუნთქვის კოეფიციენტი ერთზე მეტი ხდება.

ნახშირწყლების გარდაქმნა უჯრედში დაკავშირებულია ენერჯის მოთხოვნილების დაკმაყოფილებაზე. ეს მოთხოვნილება ხორციელდება ნაერთთა დაქანგვით, რაც გულისხმობს დეჰიდრირებას, წყალბადის ნაერთიდან ჩამოშორებას. დეჰიდრირების პროცესის გააქტივება მიმდინარეობს მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ წარმოდგენილია არა მარტო სუბსტრატი, რომელიც იქანგება (წყალბადის დონორი), არამედ ნაერთი, რომელსაც შეუძლია წყალბადის მიღება (წყალბადის აქცეპტორი). წყალბადის აქცეპტორის როლს სპირტის დუდილის დროს აცეტალდეჰიდი ასრულებს, ხოლო რძის მჟავასი — პიროუურძნის მჟავა. როდესაც მათ ადგილას ენგბადი გამოდის, სუბსტრატში გააქტივებული წყალბადის აქცეპტორის როლს უკვე ენგბადი ასრულებს. აქედან გამომდინარე გასაგები ხდება მსგავსება და განსხვავება დუდილსა და აერობულ პროცესებს შორის. რეაქციის მიმართულება ისაზღვრება იმით, თუ რომელი ნაერთი გამოდის გააქტივებული წყალბადის საბოლოო აქცეპტორად. როდესაც წყალბადის აქცეპტორის როლს ენგბადი ასრულებს, ჩვენ საქმე აერობულ პროცესთან გვექნება. როდესაც გარდაქმნა ანაერობულ პირობებში წარმოებს, სუბსტრატიდან განთავისუფლებული წყალბადი პიროუურძნის მჟავასთან ანდა აცეტალდეჰიდთან კავშირდება.

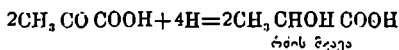
§ 7. რისხმავა ღუდილი

საფუარების უმეტესობა ნახშირწყლების ანაერობული გარდაქმნის დროს ბირითადად სპირტსა და ნახშირორგანებს აგროვებს. რძის მჟავა დუდილი კი იშვიათად თუ მთავრდება მხოლოდ რძის მჟავას დაგროვებით. მთავარ პროდუქტთან ერთად წარმოიშობა სხვა ნაერთებიც. რძის მჟავას გარდა იქმნება ნახშირორგანგი, ეთილის სპირტი, ძმრის, ჭიანჭველასი, და ზოგიერთ შემთხვევაში, პროპიონის მჟავაც. კიდევ მეტი, ერთი და იგივე მიკროორგანიზმი, იმისდა მიხედვით, თუ რა პირობებში ხდება მისი განვითარება, აგროვებს სხვადასხვა ნაერთს.

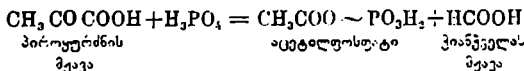
მეუხედავად ამისა, თუ საბოლოოდ რა პროდუქტი გროვდება, დუდილის ყველა ტიპისათვის საერთოა ის გარემოება, რომ ნახშირწყლის გარდაქმნა პიროუურძნის მჟავას სტადიამდე ერთი და იგივეა და მხოლოდ პიროუურძნის მჟავადან იწყება განსხვავება.

მაშინ როდესაც საფუარებში პიროუურძნის მჟავა დეკარბოქსილირებან განიცდის, დანარჩენ მიკროორგანიზმებში პიროუურძნის მჟავას გარდაქმნა სხვა

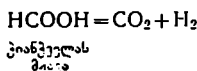
გზით მიმდინარეობს. რძის მკვავა დუღილის ძირითადი პროცესის მსვლელობის დროს ნად-ი აღადგენს არა აცეტალდეჰიდს, არამედ პიროუერძნის მკვავას:



ზემოთ მოტანილი განტოლება გამოსახავს რძის მკვავას დუღილის პირველ. ძირითად ტიპს. ზოგ ბაქტერიებში კი პიროუერძნის მკვავას მხოლოდ ნაწილად აღდგება რძის მკვავად. ერთდროულად შეიძლება იწარმოოს პიროუერძნის მკვავას ფოსფოროლიზმა შემდეგი განტოლების მიხედვით:

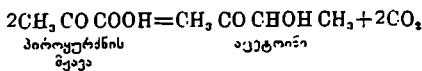


ფოსფოროლიზი აქტივდება ადენოზინტრიფოსფატით და ამიტომ აცტილფოსფატი, რომელიც პიროუერძნის მკვავადან მიიღება, მაკროერგული ნაერთია. აცტილფოსფატთან ერთად იქმნება კიანველას მკვავა, რომელიც სპეციფიკური ფერმენტის მოქმედების შედეგად ნახშირორჟანგად და წყალბადად იშლება.

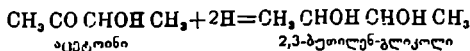


ამგვარად, რძის მკვავა დუღილის მეორე ტიპისათვის რძის მკვავას გარდა და მახასიათებელია ძმრის მკვავა, ნახშირორჟანგი და წყალბადი. ძმრის მკვავა ამ შემთხვევაში იქმნება აცტილფოსფატიდან ფოსფატის ნაშთის ზოქელიმე ნაერთზე გადაცემის შედეგად.

პიროუერძნის მკვავას გარდაქმნის მესამე გზა რძის მკვავა დუღილის დროს დაკავშირებულია აცეტონის შექმნასთან შემდეგი განტოლების მიხედვით:



აცეტონის დაგროვებით პროცესი არ მთავრდება. წყალბადი, რომელიც დაკავშირებულია ნად-2H-ში, გადაიტანება აცეტონზე და წარმოიშობა 2,3-ბუთილენ-გლიკოლი:



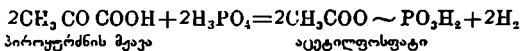
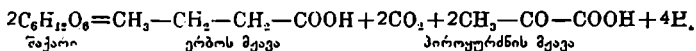
საინტერესოა აღინიშნოს ის გარემოება, რომ ამა თუ იმ ნაერთის შექმნა ბაქტერიულ უჯრედში დაკავშირებულია ერთი ჭკუფი ფერმენტების გააქტივებასთან და მეორე ჭკუფი ფერმენტების მოქმედების ერთდროულ შეკავებასთან. გამოჩვენებულია, მაგალითად, რომ მკვავე არეში უპიზატელობა ენიჭება 2,3-ბუთილენ-გლიკოლის დაგროვებას, ხოლო ნეიტრალურსა და ტუტე არეში გროვდება ძმრისა და კიანველას მკვავა.

რძის მკვავა ბაქტერიების ჭკუფს ეკუთვნის ის მიკროორგანიზმები, რომლებიც მონაწილეობას ლებულობენ რძის მკვავა პროდუქტების, სილოსისა და მუნალების დამზადებაში — Escherichia-სა და Aerobacter-ის წარმომადგენლები.

§ 8. პაროზიზმის დუღილი

ერბოსმევა დუღილის ქიმიზმი ემსგავსება დანარჩენი დუღილების ქიმიზმს პიროუტრძნის მევენ წარმოშობის სტადიამდე. ერბოს მევენ შეიძლება ნითვალის დუღილის მთავარ პროდუქტად, მაგრამ ამ მევენს გარდა გროვდება სპირტებისა და მევენების მთელი რიგი. ამა თუ იმ ნაერთის მეტი თუ ნაკლები რაოდენობით დაგროვება დამოკიდებულია იმაზე, თუ რომელი ფერმენტული სისტემა აქტივდება დუღილის პროცესში ან, პირიქით, კავდება. ფერმენტის გაქტივება ანდა შეკავება დამოკიდებულია, პირველ ყოვლისა, გარემო არის ქიმიურ შემადგენლობაზე. არჩევენ ერბოს მევენ დუღილის გამომწვევი მიკროორგანიზმების სამ ტიპს:

1) ორგანიზმები, რომელთა მოქმედების შედეგად გროვდება ერბოსა და ძმრის მევენ, CO₂ და H₂ (მაგალითად, Clostridium butyricum). ეს გარდაქმნა შეიძლება გამოვსახოთ შემდეგი განტოლებით:



პიროუტრძნის მევენ ზემოთ აღნიშნულ გარდაქმნაში განიცდის ფოსფორიზაციას. რის შედეგად წარმოიშობა აქტილფოსფატი და თავისუფლდება ნახშირორთქანი. ამ პროცესში მონაწილეობას უნდა ღებულობდეს ადენოზინტრიფოსფატი. აქტილფოსფატი მომდევნო რეაქციებში გადასცემს ფოსფატს სხვა ნაერთს და თავისუფლდება ძმრის მევენ.

2) ორგანიზმები, რომელთა მოქმედებისას წარმოიშობა, ზემოთ მოხსენებულ მევენთა გარდა, ეთილისა და ბუთილის სპირტი, აცეტონი და აცეტონინი (მაგალითად, Clostridium acetobutyricum).

3) ორგანიზმები, რომელთა მოქმედებისას მცირე რაოდენობით წარმოიშობა მევენები, მაგრამ შედარებით მეტი რაოდენობით გროვდება ბუთილისა და იზობუროპილის სპირტი. უკანასკნელი ნაერთი წარმოადგენს აცეტონის ალდგენის პროდუქტს, ასეთ გარდაქმნას აწარმოებს Clostridium butyricum).

ბუნებაში ერბოს მევენ დუღილი ძალიან გავრცელებულ პროცესს წარმოადგენს. ამ დუღილის გამომწვევი მიკროორგანიზმების უმეტესობა ანაერობების ჯგუფს ეკუთვნის. იქ, სადაც ენაგბადის მოწოდება შეზღუდულია, ორგანულ ნივთიერებათა გარდაქმნა ძირითადად ერბოს მევენ დუღილის გზით მიმდინარეობს.

§ 9. ნახშირწყლის აერობული გარდაქმნა

ანაერობული და აერობული პროცესის ურთიერთკავშირი. პასტერის ეფექტის მნიშვნელობა იმაში გამოიხატება, რომ ის ააშკარავებს ურთიერთდამოკიდებულებას ანაერობულსა და აერობულ გარდაქმნათა შორის. როდესაც ეს დამოკიდებულება ექსპერიმენტულად დამტკიცდა, დარწმუნებული იყვნენ, რომ აერობული გარდაქმნა ანაერობული პროცესის გაგრძელებას წარმოადგენს. ფიქრობდნენ, რომ ანაერობული პროცესის დროს წარმოებს ნივთიერების იმგვარი გარდაქმნა, რომ ის უფრო ადვილად განიცდის ანაერობულს.

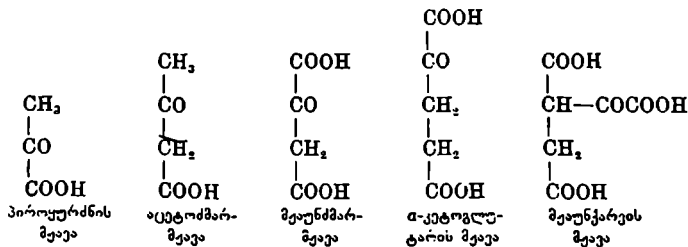
ლენდსგარდის აღმოჩენამ უკვე შეაჩეოა ეს გაბატონებული აზრი. გამო-
ირკვა, რომ მონოიოდაცეტატს შეუძლია სრულად შეაჩეროს ნახშირწყლის
ანაერობული გარდაქმნის უკანასკნელი პროდუქტის წარმოშობა. მიუხედავად
ამისა უჩრედს მაინც შენარჩუნებული აქვს სუნთქვის პროცესი. ამ რეაგენტის
პოქმედების მექანიზმი ერთნაირია როგორც კუნთოვან ქსოვილში, ისე საფუა-
რების შემთხვევაში. ის ნახშირწყლების ანაერობულ გარდაქმნას განსაზღვრულ
ეტაპზე აჩერებს და ამავე დროს სუნთქვის პროცესზე მას გავლენა არა აქვს.
მონოიოდაცეტატით მოწამულ კუნთს შენარჩუნებული აქვს შეკუმშვის უა-
რი და ენგბადის საკმარისი რაოდენობით მიწოდებისას ის ხანგრძლივ მუშაობას
აწარმოებს.

უჩრედში წარმოდგენილია რთული მექანიზმები, რომლებიც, ერთი მხრივ,
ააქტივებენ ენგბადს, როგორც წყალბადის აქცეპტორს და, მეორე მხრივ, წყალ-
ბადი გადაქვეთ გააქტივებულ ენგბადზე. მასადაამე, იმ გარდაქმნების მსვლე-
ლობის დროსაც, როდესაც მოლეკულური ენგბადი მოიხმარება, ორგანული
ნაერთის დაეანგვა პრინციპულად არ განსხვავდება იმ ენგვა-აღდგენითი პრო-
ცესისაგან, რომელიც საფუძვლად უდევს ნახშირწყლების ანაერობულ გარდაქ-
მნას. განსხვავება მხოლოდ იმაში უდგომარეობს, რომ პირველ შემთხვევაში დე-
ჰიდრირების შედეგად წარმოშობილი წყალბადი ალადგენს ორგანულ ნაერთს,
ხოლო მეორე შემთხვევაში ის ენგება მოლეკულური ენგბადის საშუალებით.

ყველა მონაცემი იმაზე მიუთითებს, რომ ნახშირწყლების აერობულ გარ-
დაქმნაში მონაწილეობას ლებულობს (ამ პროცესისათვის სპეციფიკური მექანიზ-
მების გარდა) აგრეთვე ყველა ის ფერმენტი და კოფერმენტი, რომელთა საშ-
უაღებით მიმდინარეობს ანაერობული პროცესი. მართალია, არსებობს ნახშირ-
წყლების აერობული გარდაქმნის სხვა გზებიც. მაგრამ მათ ისეთი დიდი მნიშ-
ვნელობა არა აქვთ, როგორც იმ გზაა, რომელიც ანაერობულ პროცესთან უშუ-
ალო კავშირშია.

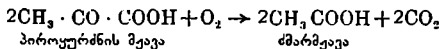
პ ი რ ო ყ უ რ ძ ი ს მ ე ა ვ ა . ნახშირწყლების აერობული გარდაქმნის
საბოლოო პროდუქტი ნახშირორჟანგი და წყალია.

ცნობილია ნაერთების მთელი რაგი, რომელთა კარბოქსილის ჯგუფი ნა-
ერთს ჩამოშორდება ნახშირორჟანგის სახით. ამ ნაერთებიდან ნახშირწყლებთან
უშუალო გენეზისურ კავშირს ახორციელებს კეტო-მეავეები. სახელდობრ, ჰი-
როყურძნის, აცეტომძრის, მეაუნძმძრის, ა-კეტო-გლუტარისა და მეაუნქარვის.
მათგან ჰიროყურძნის მეავე მეტ ყურადღებას იპყრობს, ჯერ ერთი იმიტომ, რომ
მას ცენტრალური ადგილი უჭირავს ანაერობულ გარდაქმნებში და, მეორე
მხრივ, იმიტომ, რომ მისი დეკარბოქსილირება წარმოებს მსუნთქავი ორგანიზ-
მების ყველა ქსოვილში.



პიროყუერძნის მეავა იმ ნაერთს წარმოადგენს, სადაც ნახშირწყლების ანაერობული გარდაქმნა აერობულ გარდაქმნასთან ჭვარედინდება.

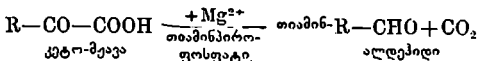
პიროყუერძნის მეავას ანაერობულ დეკარბოქსილირებას ადგილი აქვს საფუარებში. ამ რეაქციის კატალიზს აწარმოებს პირუვატდეკარბოქსილაზა. ამ რეაქციაში მონაწილეობას ღებულობს ეანგზალი და რეაქციის შედეგად იქმნება არა ალდეჰიდი, არამედ მეავა.



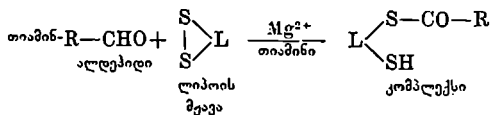
ისე როგორც პირდაპირი დეკარბოქსილირების შემთხვევაში, პიროყუერძნის მეავას ეანგვიითი დეკარბოქსილირებისათვის საკიდროა თიამინპიროფოსფატი. ამ კოფერმენტის გარეშე დეკარბოქსილირება ვერ ხერხდება და ნახშირწყლების გარდაქმნა პიროყუერძნის მეავას შექმნის სკადიაზე ჩერდება.

α -კეტო მ ე ა ვ ე ბ ი ს ე ა ნ გ ვ ი თ ი დ ე კ ა რ ბ ო ქ ს ი ლ ი რ ე ბ ა რ თ ე ლ პროცესს წარმოადგენს. ამ რეაქციის გააქტივებაში მონაწილეობას ღებულობს რამდენიმე კოფერმენტი და ფერმენტი. დიდი ხანია უკვე ცნობილია, რომ თიამინპიროფოსფატი (ფოსფორილირებული ვიტამინი B₁) წარმოადგენს ფერმენტ პირუვატდეკარბოქსილაზას პროსტეტიულ ჯგუფს. აღმოჩენილია, რომ დეკარბოქსილირების რეაქციაში თიამინპიროფოსფატის გარდა მონაწილეობას ღებულობს კიდევ სამი კოფერმენტი: ლიპოის მეავა, კოენზიმი A და ნად-ი. მიღებული მონაცემების მიხედვით α -კეტო-მეავების ეანგვიითი დეკარბოქსილირება შემდეგი ეტაპებისაგან შედგება:

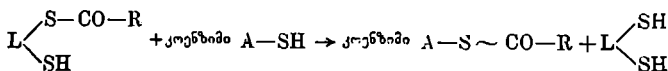
1. α -კეტო-მეავას დაშლა თიამინპიროფოსფატის მონაწილეობით:



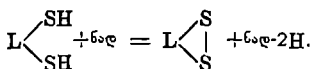
2. ალდეჰიდისა და ლიპოის მეავას კომპლექსის მიღება:



3. მეავას ნაშთის (აცილის) გადაცემა კოენზიმ A-ზე მაკროერგული ბმის წარმოშობით:



4. ლიპოის მეავას დეჰიდრირება ნად-ით

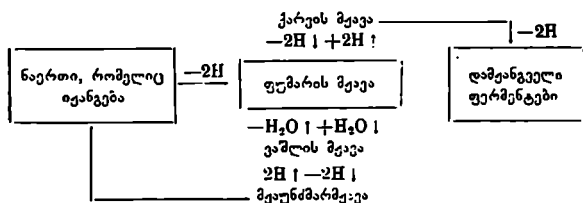


ამგვარად, α -კეტო-მეავების დეკარბოქსილირება ორი საფეხურით მიმდინარეობს. პირველ საფეხურში მონაწილეობას ღებულობს პიროფოსფოთიამინი და Mg^{2+} , შედეგად ნახშირორჟანგი თავისუფლდება. მეორე საფეხურზე α -კეტო-მეავადან მიღებული ალდეჰიდი კავშირდება ჯერ ლიპოის მეავასთან,

ივანგება და მხოლოდ შემდეგ გადაეცემა კოენზიმ A-ს. ლიპონის მქავეს პირვან-დელ, ე. ი. დაქანგულ, ფორმაში გადაყვანა წარმოებს ნაღ-ის საშუალებით. α -კეტო-მქავეს დეკარბოქსილირების პროდუქტი გააქტივებული აცილის ნაშთის სახით დაქავშირებული რჩება კოენზიმ A-თან. შემდეგ ის გადაეცემა ლიმონის მქავეს ციკლს და საბოლოოდ წყლად და ნახშირორქანგად ივანგება.

მაშასადამე, პიროუფრძნის მქავეს დეკარბოქსილირების შედეგად წარმო-იშობა კოენზიმ A-სთან დაქავშირებული აქტიური ძმრის მქავეს ნაშთი. აქედან იწყება კეტო-მქავეს გარდაქმნის კიდევ ერთი რთული ეტაპი, რომელიც საბო-ლოოდ ნახშირორქანგსა და წყალს იძლევა.

ფუ მ ა რ ა ტ ი ს ს ი ს ტ ე მ ა . სცენტ-დიორდის მიერ აღმოჩენილი იყო დეკარბონის მქავეების უღრგესად დიდი მნიშვნელობა დაქანგვის პროცესის გა-აქტივებაში. როდესაც კუნთის ქსოვილიდან დამზადებულ ფერმენტულ სუს-პენზიას დაქმატება ქარვის, ფუმარის, ვაშლის ანდა მქაუნძმრის მქავეს მცირე რაოდენობა, სუნტქევა სწრაფად მატულობს და გლიკოგენის დიდი რაოდენობა დაივანგება. ამ დაქვირებებიდან ის დასკვნა გამოიტანეს, რომ დეკარბონის მქა-ვეების უკუქცევალი გარდაქმნა ქანგვის პროცესზე კატალიზურად მოქმედებს. წამოყენებული იყო ჰიპოთეზა, რომ დეკარბონის მქავეები ქანგვა-აღდგენითი სისტემის სახით მოქმედებს, რომელსაც წყალბადი ჭუბსტრატებიდან იმ სისტემა-ზე გადააქვს, სადაც წყალბადი წყლამდე ივანგება. დეკარბონის მქავეებს შორის ურთიერთდამოკიდებულება შემდეგი სახით შეიძლება გამოვხატოთ:



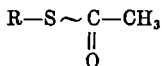
ამ სქემაში ფუმარის მქავეს ცენტრალური ადგილი უჭირავს. ის ჭუბსტრა-ტიდან ან წყალბადს იერთებს და ქარვის მქავეში გადადის, ანდა წყლის დაქავ-შირების შემდეგ ვაშლის მქავეში გარდაიქმნება. პირველი რეაქციის კატალიზს სპეციფიკური დეჰიდროგენაზა აწარმოებს, რომელიც წყალბადს ჭუბსტრატი-დან ფუმარის მქავეზე გადაიტანს, ხოლო მეორე რეაქციის გააქტივება ფერმენტ ფუმარატირატაზათი წარმოებს. ვაშლის მქავა, რომელიც ფუმარის მქავეს ჰიდრატაციის შედეგად წარმოიშვა, ფერმენტ მალატდეჰიდროგენაზას საშუაუ-ლით ივანგება მქაუნძმრის მქავეად.

საყურადღებოა ის გარემოება, რომ გაურკვეველი რჩებოდა იმ დეჰიდრო-გენაზების რაობა, რომლებიც ჭუბსტრატში წყალბადს ააქტივებენ და უქანას-კნელი ფუმარის ან მქაუნძმრის მქავეზე გადააქვთ. ამ ზარვეზის შესავსებად წარ-მოებული მუშაობის შედეგად აღმოჩენილ იქნა დასაქანგავ ჭუბსტრატსა და დეკარბონის მქავეებს შორის სხვაგვარი დამოკიდებულება. ეს დამოკიდებულება ჯამუშავებულია ძირითადად კრებსის მიერ და ცნობილია ლიმონის მქავეს ანუ ტრიკარბონის ციკლის სახელწოდებით.

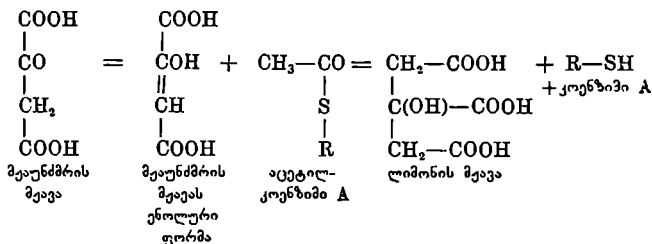
ლი მ ო ნ ი ს მ ქ ა ვ ა ს ც ი კ ლ ი . შესაძლებელია დაგვეშვა, რომ ნახ-შირორქანგი, რომელიც სუბსტრატის დაქანგვის საბოლოო პროდუქტს წარმო-ადგენს, თავისუფლდება არა α -კეტო-მქავეებიდან, არამედ β -კეტო-მქავეებიდან.

მართლაც, აღმოჩენილია სპეციფიკური კარბოქსილაზა, რომელიც β-კეტო-მეა-
 ვების კარბოქსილის ჯგუფს ათავისუფლებს. მაგრამ, როგორც ირკვევა, ამ პრო-
 ცესს გავრცელება არა აქვს და ის ცხოველთა ორგანიზმში მხოლოდ ღვიძლი-
 და აგრეთვე ზოგიერთი მცენარითა და მიკრობით იფარგლება. სამაგიეროდ
 პიროყურძნისა და მეთუნძმრის მეთაების დეკარბოქსილირება ყველგან ძალიან
 ადვილად ხერხდება. ამიტომ ექვს არ უნდა იწყვედეს ის ფაქტი, რომ ნაშშირ-
 ორქანგის ძირითადი წყარო არის α-კეტო-მეთაების ქანგვითი დეკარბოქსილი-
 რება.

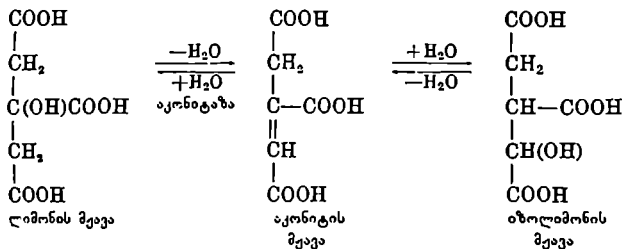
როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, პიროყურძნის მეთავს ქანგვითი დეკარბოქსი-
 ლირება გულისხმობს დეკარბოქსილირების პროდუქტის — ძმრის მეთავს ნაშ-
 თის გააქტივებას კონენზიმ A-თი:



სანამ მეთუნძმარმეთა დეკარბოქსილირებას განიცდიდეს, ის კონდენსირ-
 დება გააქტივებულ ძმრის მეთავსთან და იქმნება ლიმონის მეთა.

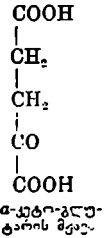
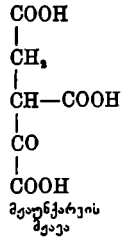
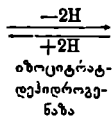
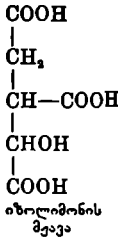


ამგვარად, ლიმონის მეთავს ციკლი იწყება პიროყურძნის მეთავს დეკარბოქ-
 სილირების პროდუქტის მეთუნძმარმეთაში ჩართვით. ამ რეაქციას ფერმენტა
 ციტრატ-სინთეტაზა ააქტივებს, ხოლო კოფერმენტის როლს კონენზიმი A ა-
 რულებს. ამის შემდეგ მიმდინარეობს ლიმონის მეთავს გარდაქმნის წრიული
 პროცესი. პირველ ყოვლისა, ლიმონის მეთა ფერმენტ აკონიტატ-ჰიდრატაზას
 მოქმედებით კარგავს წყალს და აკონიტის მეთავად გარდაიქმნება. უკანასკნელი
 მომდევნო რეაქციაში ისევ წყალს იერთებს და იზოლიმონის მეთავს იძლევა:

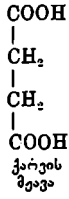
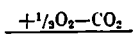
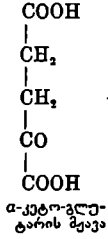


ამის შემდეგ იზოლიმონის მეთა დეჰიდრირებას განიცდის იზოციტრატ-
 დეჰიდროგენაზას კატალიზური მოქმედებით და მეთუნძმარის მეთავს იძლევა.
 ეს უკანასკნელი სპეციფიკური დეკარბოქსილაზას მოქმედებით დეკარბოქსილი-

რებას განიცდის და α -კეტო-გლუტარის მეყვად გარდაიქმნება. საინტერესოა აღინიშნოს, რომ იზოციტრატდეჰიდროგენაზას პროსტეტიული ჯგუფი არის არა ნად, არამედ ნადფ (ნიკოტინამიდინუკლეოტიდ-ფოსფატი), რომელიც ნად-ისაგან იმით განსხვავდება, რომ ორი ფოსფატის ნაშთის ნაცვლად შეიცავს სამს.

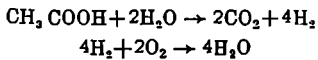


α -კეტო-გლუტარის მეყვა, თავის მხრივ, ადვილად განიცდის ენჯეით დეკარბოქსილირებას და რეაქციის შედეგად ქარვის მეყვას იძლევა. ეს პროცესი იმავე სისტემების ზეგავლენით აქტივდება, რომლებიც პიროყურძნის მეყვას ენჯეით დეკარბოქსილირებაში ღებულობენ მონაწილეობას.



ქარვის მეყვადან იწყება ის გარდაქმნები, რაც ფუმარატის სისტემისათვის არის დამახასიათებელი, სახელდობრ: ქარვის მეყვა = ფუმარის მეყვა = ვაშლის მეყვა = მეყუნქმარმეყვა. ლიმონის მეყვას ციკლი მეყუნქმარმეყვათი იწყება, ფუმარის მეყვას სტადიას გაივლის და ისევ მეყუნქმარის მეყვათი მთავრდება. ამგვარად, რთული ფერმენტული გარდაქმნების შედეგად მეყუნქმარმეყვა ისევ პირვანდელ მდგომარეობაში აღდგება და ამით ლიმონის მეყვას ციკლს უნარი ენიჭება ხელახლა ჩაითროოს პიროყურძნას მეყვა მისი გააქტივებულ მმარმეყვად გარდაქმნის შემდეგ. ლიმონის მეყვას ციკლი კატალიზურად მოქმედებს პიროყურძნის მეყვაზე. ის იწყევს პიროყურძნის მეყვას წყლად და ნახშირორყანგად დაყანგვას.

სანამ პიროყურძნის მეყვა ლიმონის მეყვას ციკლში ჩაერთოდეს, ის დეკარბოქსილირებას განიცდის. ლიმონის მეყვას ციკლში იყანგება მმრის მეყვას ნაშთი 2 მოლეყულა CO_2 -სა და 2 მოლეყულა H_2O წარმოშობით. ამ დროს უნდა ხდებოდეს 4 წყვილი წყალბადის გადატანა დამყანგველ ფერმენტებზე, სადაც წყალბადი წყლამდე იყანგება.



წყალბადის ატომების 4 წყვილი თავისუფლდება შემდეგ ენჯეა-აღდგენით რეაქციებში:

1. იზოლიმონის შეავა = მუაუნქარვის შეავა
2. კეტო-გლუტარის შეავა → ქარვის შეავა
3. ქარვის შეავა = ფუმარის შეავა
4. ვაშლის შეავა = მუაუნქმარმეავა

ნახშირწყლების ანაერობული გარდაქმნის ქიმიური მექანიზმის აერობულთან შედარებისას ნათლად ჩანს, რომ ორივე პროცესს საფუძვლად ორი რეაქცია უდევს: დეჰიდრირება და ფოსფორილირება. ისე როგორც გლიკოგენოლიზის დროს, ნახშირწყლის აერობული გარდაქმნა საფეხურებით მიმდინარეობს. ერთი საფეხური ცელის მეორეს, მეორე მესამეს იმგვარად, რომ საწყისში და ბოლოში ერთი და იგივე ნაერთი იქმნება. მაგრამ ხაზი უნდა გაესვას იმ გარემოებას, რომ ლიმონის შეავას ციკლი, ისე როგორც ყოველივე ბიოქიმიური გარდაქმნა, დახურულ პროცესს არ წარმოადგენს. ყოველი ციკლის დამთავრება გულსხმობს ერთ მოლეკულა პიროყურძნის შეავას დაეანგვას. პიროყურძნის შეავას შესვლა ციკლში ციკლის მოქმედების პირობას წარმოადგენს. ციკლმა რომ იმოქმედოს, საჭიროა პიროყურძნის შეავას განუწყვეტელი მიწოდება. პიროყურძნის შეავა კი გლიკოგენოლიზის შედეგად იქმნება.

ქვემოთ სქემაში შეჯამებულია ლიმონის შეავას ციკლში მონაწილე ქიმიური გარდაქმნები და მათი აქტივატორები.

ნახშირწყლების აერობული გარდაქმნის სქემა

ფერმენტი	ქიმიური გარდაქმნა	კოფერმენტი
ქანგვილი დეკარბოქსილაზის სისტემა	პიროყურძნის შეავა → ძმარმეავა	ადენოზინტიფოსფატი კოენზიმი A თიამინპიროფოსფატი ნად
კონდენსაციის ფერმენტი ციტრატ-სინთეტაზა	ძმარმეავა + მუაუნქმარმეავა → ლიმონის შეავა	კოენზიმი A
აკონიტ-ჰიდრატაზა	ლიმონის შეავა → აკონიტის შეავა → იზოლიმონის შეავა	
იზოციტრატდეჰიდროგენაზა	იზოლიმონის შეავა → მუაუნქარვის შეავა	ნადფ
დეკარბოქსილაზა	მუაუნქარვის შეავა → α-კეტო- გლუტარის შეავა	თიამინპიროფოსფატი
ქანგვილი დეკარბოქსილაზის სისტემა	α-კეტო-გლუტარის შეავა → ქარვის შეავა	ადენოზინტიფოსფატი კოენზიმი A თიამინპიროფოსფატი ნად
სუქციინ-ტდეჰიდროგენაზა	ქარვის შეავა → მუაუნქმარმეავა	
ფუმარატჰიდრატაზა	ფუმარის შეავა → ვაშლის შეავა	
მალატდეჰიდროგენაზა	ვაშლის შეავა → მუაუნქმარმეავა	ნად

ამ სქემაში მოტანილი რეაქციების უმეტესობა უუქცევადია, მაგრამ მთლიანად ციკლი ერთი მიმართულებით მოქმედებს, რადგან დეკარბოქსილირების რეაქცია ციკლში უუქცევადად არ მიმდინარეობს. სქემა იძლევა წარმოდგენას,

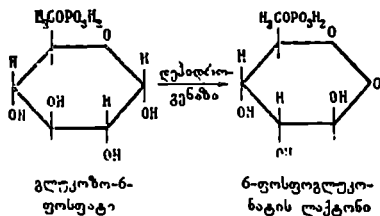
თუ რა გზით უნდა მიმდინარეობდეს პიროყურძნის მკვას დაქანგვა. ეს გზა ყველა სხვა ნაერთისათვის ერთი და იგივე უნდა იყოს, თუ მათი გარდაქმნის შუალედი პროდუქტის სახით წარმოიშობა პიროყურძნის მკვა ანდა ციკლის რომელიმე სხვა წევრი.

ლიმონის მკვას ციკლის მნიშვნელობა არ ისაზღვრება იმით, რომ ის განმარტებას იძლევა ნახშირწყლების აერობული გარდაქმნების შესახებ, თუ რა მექანიზმებით წარმოებს ნახშირწყლების ნახშირორქანგამდე და წყლამდე დაწვა. ცხიმებისა და ცილოვან ნივთიერებათა გარდაქმნის შუალედი პროდუქტების სახით ისეთი ნაერთები იქმნება, რომლებიც ლიმონის მკვას ციკლის წევრების იდენტურია. ცხიმოვანი მკვას დაქანგვის შუალედი ნაერთი არის ძმრის მკვა, რომელიც გააქტივებულია კოფერმენტ A-ში. როგორც ირკვევა, მისი საბოლოო დაქანგვა ლიმონის მკვას ციკლის საშუალებით უნდა ხდებოდეს. ცილებში ამინომკვებიდან ყველაზე მეტი რაოდენობით წარმოდგენილია ასპარაგინისა და გლუტამინის მკვა. მათი დეჰამინირების შედეგად წარმოიშობა მკაუნძმარმკვა და ა-კეტო-გლუტარის მკვა, ე. ი. ნაერთები, რომლებიც ლიმონის მკვას ციკლის წევრებია. მხედველობაში მისაღებია ის გარემოება, რომ ასპარაგინისა და გლუტამინის მკვებს განსაკუთრებული როლი ენიჭებათ აზოტოვანი ნაერთების ცვლაში. აქედან ნათელი ხდება, რომ ლიმონის მკვას ციკლის საშუალებით წარმოებს ნახშირწყლების ცვლის დაკავშირება ცილოვან ნივთიერებათა გარდაქმნებთან.

ლიმონის მკვას ციკლის მონაწილეობით მიმდინარეობს აგრეთვე ორგანული სინთეზის ერთი მნიშვნელოვანი რეაქცია, რომელიც დაკავშირებულია ნახშირბადის ჯაჭვის გაგრძელებასთან. პირუვატ-კარბოქსილზას კატალიზური მოქმედების შემწეობით ნახშირორქანგს უნარი ენიჭება პიროყურძნის მკვასა და ა-კეტო-გლუტარის მკვას დაუკავშირდეს და მკაუნძმარმკვა და მკაუნძქარვის მკვა წარმოშვას. ამ სინთეზის რეაქციებს ნახშირწყლების შექმნაში უაღრესად დიდი მნიშვნელობა ენიჭება. ლიმონის მკვას ციკლის არსებობა იმის მაჩვენებელია, რომ სხვადასხვა ორგანიზმი ნახშირწყლების ცვლს მხრივ ერთიმეორისაგან პრინციპულად არ განირჩევა. ამ ცვლას ყველა უჭრედში ერთი და იგივე მიმართულება აქვს: გლიკოგენოლიზი პიროყურძნის მკვას შექმნით მთავრდება, ხოლო პიროყურძნის მკვას წვა ლიმონის მკვას ციკლის საშუალებით წარმოებს.

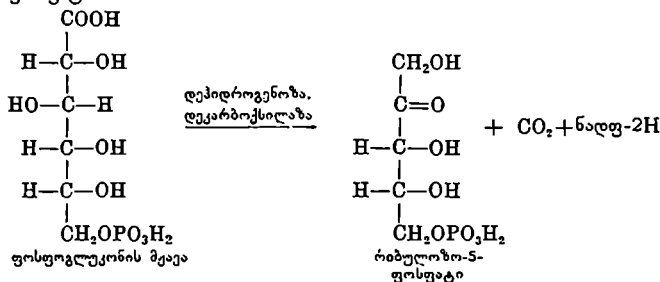
§ 10. ნახშირწყლუვის აერობული გარდაქმნის კანტოზური და გლიოქსალატური გზები

ნახშირწყლების აერობული გარდაქმნა შეიძლება დაიწყოს უშუალოდ შაქრიდანაც. ჭერ კიდევ ვარბურგის მიერ საფუარებში და ერთროციტებში აღმოჩენილი იყო ფერმენტი, რომელიც აქტივებდა გლუკოზო-6-ფოსფორის მკვას აღდებიდური ჭგუფის დაქანგვას 6-ფოსფოგლუკონატად.



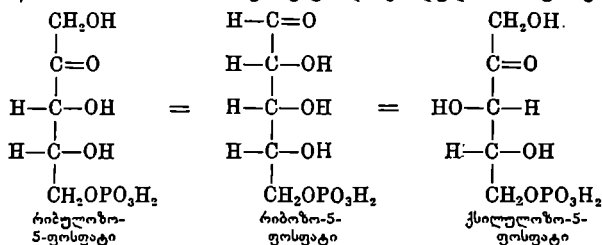
გლუკოზის დაჟანგვის ეს გზა შემდეგში აღმოჩენილი იყო ლვიძლში და მცირე ოდენობით სხვა ქსოვილებშიაც. მცენარეულ ორგანიზმში ეს პროცესი უფრო ფართოდ არის გავრცელებული.

შემდეგში აღმოჩენილი იყო, რომ გლუკოზის მკევა ერთდროულ დეჰიდრა-რებასა და დეკარბოქსილირებას განიცდის და წარმოიშობა პენტოზა-რიბულო-ზო-5-ფოსფატი.

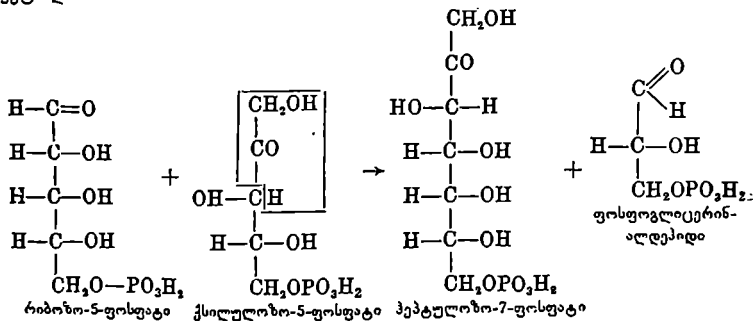


ამ რეაქციის კოფერმენტის როლს ასრულებს ნიკოტინამიდ-დინუკლეო-ტიდ-ფოსფატი (ნადფ).

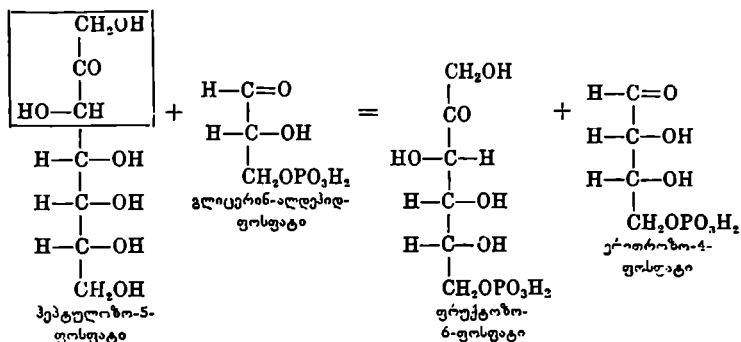
შემდეგ ეტაპზე რიბულოზო-5 ფოსფატი იზომერიზაციას განიცდის, რის შედეგად წარმოიშობა რიბოზო-5-ფოსფატი და ქსილულოზო-6-ფოსფატი.



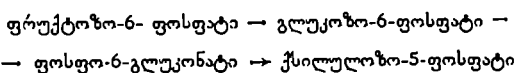
პენტოზას წარმოშობით მთავრდება გლუკოზის პენტოზური გზით გარდაქ-მნა. ამის შემდეგ იწყება უკვე პენტოზის ნახშირბადის ატომების რიცხვის შემ-ცირება. პირველ ყოვლისა, ურთიერთრეაგირებს ის ორი პენტოზა, რომლებიც წარმოიშობა რიბულოზო-5-ფოსფატისაგან. ამ რეაქციას ააქტივებს ტრანს-კეტოლაზა.



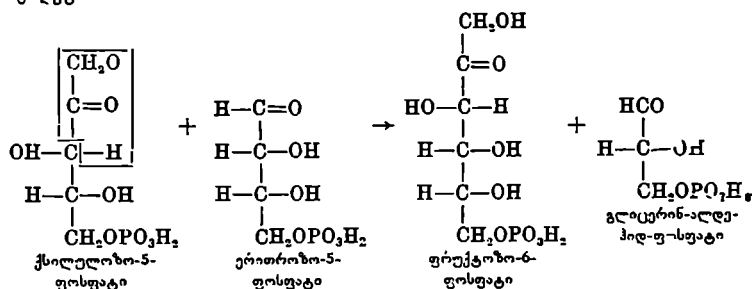
გარდაქმნის შემდგომ ფაზაში პეპტულოზო-7-ფოსფატი რეაგირებს ფო-ფო-გლიცერინ ალდეჰიდთან და იძლევა ფრუქტოზო-6-ფოსფატსა და ერთ-როზო-4-ფოსფატს. ამ რეაქციას აქტივებს ფერმენტი ტრანსალდოლაზა.



ფრუქტოზო-6-ფოსფატი თავის მხრივ განიცდის იზომერიზაციას და ქმნის გლუკოზო-6-ფოსფატს. უკანასკნელი განიცდის დეჰიდრირებას და დეკარბოქსილირებას, ე. ი. მეორდება ის, რაც ზემოთ იყო ნათქვამი. დაქანგის შედეგად წარმოშობილი ქსილულოზო-5-ფოსფორის მჟავა რეაგირებს ერთროზო-4-ფოსფატთან იმავე ფერმენტ ტრანსკეტოლაზის საშუალებით და იძლევა ისევ ფრუქტოზო-6-ფოსფატს და გლიცერინ-ალდეჰიდ-ფოსფატს.



შემდეგ:



პენტოზური ციკლის ყველა რეაქცია რომ შევაჩამოთ, ირკვევა, რომ 6 მოლეკულა გლუკოზო-6-ფოსფატის გარდაქმნისას მიიღება:

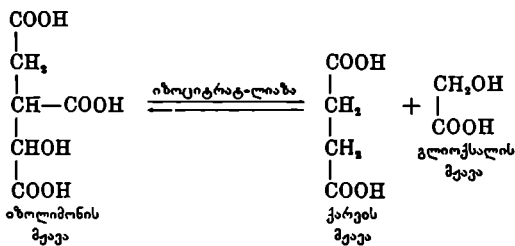
- 3 მოლეკულა ფრუქტოზო-6-ფოსფატი
- 2 მოლეკულა გლიცერინ-ალდეჰიდ-ფოსფატი
- 6 მოლეკულა წყალი და 6 მოლეკულა CO₂

გლუკოზის აერობული გარდაქმნის პენტოზური ციკლი, ანუ პენტოზური შუნტი შუალედი პროდუქტების სახით იძლევა რიბულოზო-5-ფოსფატს, რომელსაც განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება ფოტოსინთეზში. დიდი მნიშ-

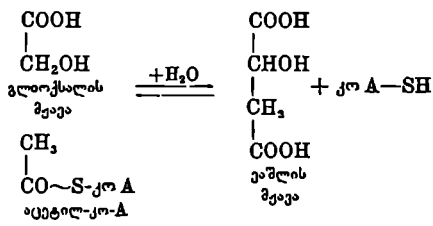
ვნელობა აქვს აგრეთვე რიბოზო-5-ფოსფატს, რომელიც უცვლელად ან დეჰიდრირების შედეგად გამოიყენება ნუკლეოტიდებისა და პოლინუკლეინის შეავების სინთეზში.

კორნბერგისა და კრების მიერ 1957 წ. აღმოჩენილია ნახშირწყლების აზოტული გარდაქმნის კიდევ ერთი გზა, რომელიც ატარებს გლიოქსალატის ციკლის სახელწოდებას. ეს ციკლი დამახასიათებელია მხოლოდ მიკრობებისა და ძვენარეთათვის. ცხოველებში ამ ციკლის არსებობა დამტკიცებული არ არის. გლიოქსალატის ციკლს ენიჭება წამყვანი როლი ისეთ გარდაქმნებში, სადაც ლიმონის შეავას ციკლი ვერ აკმაყოფილებს ორგანიზმის მოთხოვნილებას ორნახშირბადოვანი ნაერთების გამოყენების საქმეში. გლიოქსალატური ციკლს ქმნის ძმრის შეავას გამოყენების შესაძლებლობას სინთეზურ პროცესებში.

ამ ციკლში ფერმენტ იზოციტრატ-ლიაზას უკავია ისეთივე ადგილი, როგორც იზოციტრატდეჰიდროგენაზას კრების ციკლში. ის ააქტივებს გლიოქსალის შეავას წარმოშობას.



გლიოქსალის შეავა თავის მხრივ ფერმენტ მალატ-სინთეაზის საშუალებით აკევირებს აცეტილ-კო A-ს და იქმნება ვაშლის შეავა



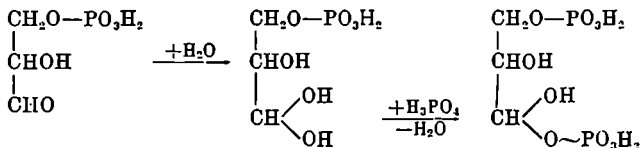
ვაშლის შეავა შემდეგ გარდაიქმნება შეაუნძმარშეავად. ამგვარად გლიოქსალატის ციკლის საშუალებით აცეტილ-კო-A გარდაიქმნება შეაუნძმარშეავად და იქმნება შესაძლებლობა ძმარშეავას ნაშთების გაძლიერებული მოხმარებისათვის.

გლიოქსალატური ციკლს დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ზეთოვან მცენარეთა თესლის გაღებებისას, როდესაც ცხიმი გამოიყენება როგორც ენერგეტიკული და საშენი მასალა ახალი ორგანოების შესაქმნელად. ამ დროს ცხიმოვანი შეავა იძლევა დიდი რაოდენობით ძმარშეავას ნაშთებს. მეორე მხრივ, გლიოქსალატური ციკლის გზით უნდა წარმოებდეს ძმარშეავას გამოყენება მიკროორგანიზმებში, როდესაც მათი კულტივირება მიმდინარეობს ძმარშეავას არეში.

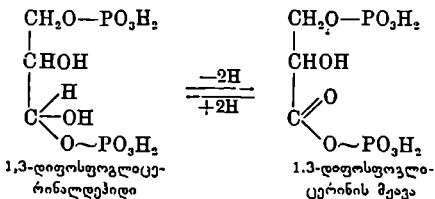
როგორც აღნიშნული იყო, ნახშირწყლები ცოცხალ ორგანიზმში ენერგეტიკული მასალის როლს ასრულებენ. მაგრამ ენერგიის გამოყენება სასიცოცხლო ფუნქციების შესრულებისათვის წარმოებს მაკრობიოლოგიური ფოსფორის ნაერთების საშუალებით. ასეთ ნაერთს წარმოადგენს ადენოზინტრიფოსფორის მჟავა (ატფ). საჭიროა აღინიშნოს, რომ თვით ნახშირწყლების გარდაქმნა იწყება ატფ-ით. ნახშირწყლების დაშლის პროცესის დაწყებისას, როდესაც შაქარი ფოსფორილირებას განიცდის, იხარჩება ატფ-ის ორი მოლეკულა. მაგრამ მომდევნო გარდაქმნებში აღდგება არამცთუ დახარჯული ატფ, არამედ ადგილი აქვს კიდევ დამატებით ოთხი მოლეკულის ხელახალ სინთეზს. ამგვარად, ერთი მოლეკულა შაქრის დადღეობის შედეგად იხარჩება ატფ-ის ორი მოლეკულა, ხოლო ოთხი მოლეკულა ხელახლა იქმნება. გლუკოზის წინასწარი ფოსფორილირება ატფ-ის საშუალებით აუცილებელია, რადგან ამ რეაქციის შემწეობით შაქარი ქიმიური გარდაქმნის უნარს იჩენს.

დუღილის ან გლიკოგენოლიზის მომდევნო რეაქციებში ატფ აღდგება ადენოზინდიფოსფორის მჟავას (ადფ) ფოსფორილირების შედეგად. ამ რეაქციის წარმოებისათვის 10 დიდი კალორია იხარჩება. რესინთეზისათვის საჭირო ენერგია თავისუფლდება ნახშირწყლის გარდაქმნის შუალედ პროდუქტებში ფოსფორის მაკრობიოლოგიური ნაერთებიდან. ადგილი აქვს ნახშირწყლის შუალედი პროდუქტის მოლეკულის შიგნით ატომების ისეთ გადაადგილებას, რომელიც უზრუნველყოფს ენერგიის გადატანას ატფ-ზე.

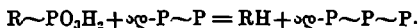
3-ფოსფოგლიცერინალდეჰიდი იმ პირველ შუალედ პროდუქტს წარმოადგენს, სადაც ადგილი აქვს მაკრობიოლოგიური ბმის შექმნას ენერგიის მოლეკულის-შიგნითა გადაადგილების შედეგად. 3-ფოსფოგლიცერინალდეჰიდი, როგორც ყოველი ალდეჰიდი, წყლის ხსნარში სპირტის სახით უნდა იყოს წარმოდგენილი. ალდეჰიდის ჰიდროქსილის ადგილზე ფოთფატის ნაშთის ჩანაცვლება ხდება, რის შედეგად 1,3-დიფოსფოგლიცერინალდეჰიდი მიიღება.



1,3-დიფოსფოგლიცერინალდეჰიდში მოლეკულისშიგნითა გადაჯგუფების გამო მოხდა ენერგიის აკუმულაცია ფოსფორის მაკრობიოლოგიური ბმის სახით. ამ პროცესს თან სდევს დეჰიდრაზას მოქმედება და ალდეჰიდის ჯგუფის დაჯანჯავა კარბოქსილის ჯგუფად.

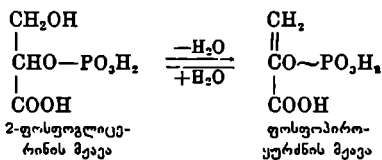


აღღებულ ფოსფორის მაკროერგული ბმის წარმოშობა უდრის თავისუფალი ენერჯის ცვლილებას 11,25 დიდი კალორიის რაოდენობით. ეს რიცხვი პეტია ატფ-ის ფოსფორის მაკროერგული ბმის შექმნის ენერჯის რაოდენობაზე და ამიტომ ფოსფატის ნაშთი 1,3-დიფოსფოგლიცერინის მკვადან ადფ-ზე გადაიტანება



რადგან ერთი მოლეკულა გლუკოზის დადულების პროცესში ორი 1,3-დიფოსფოგლიცერინის მკვადა წარმოიშობა, ზემოხსენებული რეაქციის საშუალებით იქმნება ატფ-ის ორი მოლეკულა.

ნაწირობის დადულების შემდეგ ეტაზე შეიქმნება ატფ-ის კიდევ ორი მაკროერგული ბმა. 2-ფოსფოგლიცერინის მკვადა კარგავს წყალს, გარდაიქმნება ფოსფოპიროფუტის მკვადად. 2-ფოსფოგლიცერინის მკვადას დეჰიდრატაციის პროცესი შეუღლებულია მოლეკულის შიგნითა ენერჯის გადანაწილებასთან და წარმოიშობა ახალი მაკროერგული ბმა.



ზოგორც დიფოსფოგლიცერინის მკვადას შემთხვევაში, აქაც ქიმიური გარდაქმნა, რომელიც დეჰიდრატაციაში გამოიხატება, იწვევს მოლეკულის შიგნითა ენერჯის გადანაწილებას. ამ პროცესს თან სდევს ფოსფატის მაკროერგული ბმის შექმნა, რომელიც შემდეგ ადფ-ზე გადაიტანება.

თუ ერთი გრამ-მოლეკულა გლიკოგენის ანაერობული გარდაქმნა საერთო ჯამში იწვევს ატფ-ში ოთხი გრამ-ეკვივალენტი მაკროერგული ბმის შექმნას, გლიკოგენის სრული დაწვა დაკავშირებული უნდა იყოს ფოსფატის 48 მაკროერგული ბმის წარმოშობასთან. ეს შედეგი გამომდინარეობს შემდეგი გაანგარიშებიდან: როდესაც გლიკოგენის ერთი გრამ-მოლეკულა ანაერობულ გარდაქმნას განიცდის და ორი გრამ-მოლეკულა რძის მკვადა წარმოიშობა, თავისუფალი ენერჯის ცვლილება უდრის 57 დიდ კალორიას. იმავე რაოდენობის გლიკოგენის სრული დაწვავა იძლევა თავისუფალი ენერჯის ცვლილებას 720 დიდი კალორიის რაოდენობით. ეს დაახლოებით 12-ჯერ აღემატება გლიკოლიზის ენერჯეტიკულ ეფექტიანობას. თუ დაუშვით, რომ ენერჯის თავისუფალი ენერჯია ფოსფატის მაკროერგული ბმების წარმოშობაზე მთლიანად მოიხმარება, მაშინ ერთი გრამ-მოლეკულა გლუკოზას დაწვა უნდა იძლეოდეს $4 \times 12 = 48$ მაკროერგულ ბმას.

პირველი ცდები, სადაც უნდოდათ ექსპერიმენტულად გამოერკვიათ ენერჯით პროცესების დამოკიდებულება მაკროერგული ბმების წარმოშობასთან, ეკუთვნის ა. ბელიცერს. მისი და სხვების გამოკვლევების მიხედვით ერთი მოლეკულა გლუკოზას დაწვავისას ფერმენტულ ხსნარში, რომელიც ყველა კოფაქტორს შეიცავდა, ხდებოდა 12—48 მაკროერგული ბმის შექმნა.

თუ დაუშვით, რომ ერთი გრამ-მოლეკულა გლიკოგენის დაწვისას შეიქმნება მხოლოდ 48 მაკროერგული ბმა და მხედველობაში მივიღეთ, რომ ერთი ბმა ეთანაბრება თავისუფალი ენერჯის ცვლილებას 10 დიდი კალორიის რაოდენობით, მაშინ $48 \times 10 = 480$ დიდი კალორია წარმოადგენს ყველა მაკროერგ-

გული ბმის თავისუფალი ენერჯის ცვლილებას. მეორე მხრივ, ცნობილია, რომ ერთი გრამ-მოლეკულა გლიკოგენის დაქანგვისას ბოლომდე თავისუფალი ენერჯის ცვლილება 720 ლიდ კალორიას უდრის. თუ გლიკოგენის ქანგვის დროს გამოყოფილი ენერჯია მხოლოდ მაკროერგული ნაერთების სინთეზზე დიხარჯა, მაშინ უნდა დავეუშვათ, რომ ენერჯის ცვლის ეფექტიანობა 65% აღწევს. ბუნებრივ პირობებში ეფექტიანობა, ალბათ, უფრო ღირს რიცხვებს აღწევს. მაგრამ, მიუხედავად ამისა, 48 მაკროერგული ბმის წარმოშობის დაშვების შემთხვევაშიც მარტივ კმედების კოეფიციენტი გაცილებით იმაზე ღირს, რაც შეუძლია მოგვეცეს თანამედროვე მანქანამ.

თუ რა გზით ხერხდება ანაერობული გარდაქმნის დროს მაკროერგული ბმის სინთეზი, ეს დაახლოებით ცნობილია. მაგრამ აერობული პროცესის შემთხვევაში, ერთი გამონაქლისის გარდა, ჩვენთვის ჯერ კიდევ გაურკვეველი რჩება. თუ რომელი ქიმიური მექანიზმით ხორციელდება აერობული პროცესის ენერჯის გარდაქმნა მაკროერგული ბმის ენერჯიაში, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, გლიკოგენის მთლიანი დაწვის ეფექტიანობა უდრის 48 მაკროერგული ბმის შექმნას. გლიკოგენოზის დროს განთავისუფლებული ენერჯია იხარჯება 4 გრამ-მოლი მაკროერგული ბმის სინთეზზე, დანარჩენი 44 მაკროერგული ბმის სინთეზი უნდა მიმდინარეობდეს აერობული გარდაქმნის დროს.

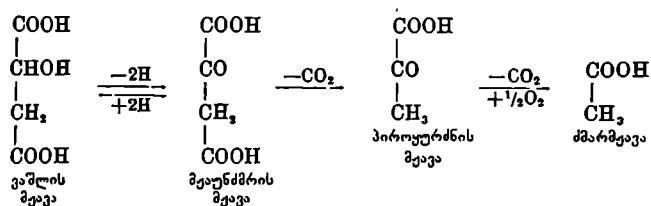
აერობული პროცესის დროს მიმდინარე ქიმიური გარდაქმნებიდან ვიცით მხოლოდ ორი, რომლებიც დაკავშირებულია ატფ-ის სინთეზთან. ორივე შემთხვევაში ქანგვითი დეკარბოქსილირება შეუძლებელია ადფ-ის ფოსფორილირებასთან. ქანგვით დეკარბოქსილირებას აერობული პროცესის დროს პირაყურძნისა და ა-კეტო-გლუტარის მეაქვები განიცდის, რაც ერთ-ერთ მოლეკულა შაქარზე გადაანგარიშებისას შეესაბამება ოთხი ბმის სინთეზს. ამგვარად, აერობული პროცესის დროს წარმოშობილი 44 მაკროერგული ბმიდან გარკვეულად შეიძლება ჩაითვალოს მხოლოდ ოთხი ბმის წყარო. დანარჩენი ჩვენთვის ჯერჯერობით უცნობი რჩება.

უნდა ვიფიქროთ, რომ ქანგვითი პროცესის ენერჯის გადასვლა მაკროერგულ ნაერთში უნდა ხდებოდეს იმ რთული ქიმიური გარდაქმნის მსგავსად, რომელსაც ადგილი აქვს 3-ფოსფოგლიცერინალდეჰიდის დაქანგვისას. როგორც ეს ზემოთ აღნიშნული იყო, 3-ფოსფოგლიცერინალდეჰიდის დაქანგვის რეაქციის ანალიზის შედეგად გამოირკვა, რომ ალდეჰიდი იკავშირებს ჯერ ფოსფატის ნაშთს, და ადგილი აქვს მოლეკულის შიგნითა გარდაქმნას; შემდეგ ფოსფატის ბმა გარდაიქმნება მაკროერგულ ბმად და ამავე დროს ადგილი აქვს დეჰიდრირებას. ბოლოს ფოსფატი მაკროერგული ბმის ენერჯიასთან ერთად გადაეცემა ადფ-ს. ამგვარად ხდება აგრეთვე ქანგვითი დეკარბოქსილირების დროს ფოსფატის მაკროერგული ბმის გადაცემა. უნდა ვიფიქროთ, რომ აერობულ პროცესში მონაწილე ქანგვითი რეაქციები, როგორც მაგალითად, იზოლიმონის მეავას დეჰიდრირება, სუქცინდეჰიდრაზასი და მალატდეჰიდრაზას მოქმედება, ისე მარტივად არ მიმდინარეობენ, როგორც ჩვენ ამას გამოვსახავთ. დეჰიდრირების რეაქცია, ალბათ, დაკავშირებულია ფოსფატის ნაშთის მიმოქცევასთან. წყალბადის გადატანა ერთი საფეხურიდან მეორეზე დაკავშირებული უნდა იყოს ფოსფატის მაკროერგული ბმის სინთეზთან. ნახშირწყლის პოტენციალური ენერჯის განთავისუფლება მიმდინარეობს საფეხურებით. ყოველ საფეხურს უნდა უქასუხებდეს მაკროერგული ნაერთის შექმნა. ეს გზა უზრუნველყოფს ცოცხალი სისტემების მიერ პოტენციალური ენერჯის მაქსიმალურ გამოყენებას.

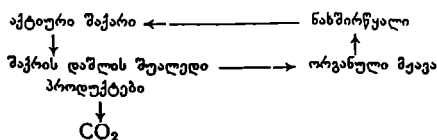
დამტკიცებულია, რომ ორბანული მთავების წარმოშობა სხვადასხვა ორგანიზმის უჯრედში დაკავშირებულია უმთავრესად ნახშირწყლების ცვლასთან. მართალია, ცილაში შემავალი ამინომთავების დეზამინირებისას წარმოიშობა კარბონის მთავები, მაგრამ ამ პროცესს დიდი გავრცელება არა აქვს. ჩვენ უკვე გვქონდა შემთხვევა დაგვეჩვენა, რომ ორბანულ მთავებს დიდი მნიშვნელობა აქვთ სუნთქვის მოვლენებში. ეს მნიშვნელობა მხოლოდ იმაში კი არ გამოიხატება, რომ ორბანული მთავები წარმოადგენენ ნახშირწყლების ცვლის შუალედ პროდუქტებს, არამედ ისინი აქტიურ მონაწილეობას ღებულობენ სუნთქვის პროცესში, ერთი მხრივ, როგორც კატალიზური სისტემები და, მეორე მხრივ, როგორც სუბსტრატი, რაზეც იხარჯება გააქტივებული ჟანგბადი.

ცხოველთა ორგანიზმში ორბანული მთავების დაგროვებას დიდი რაოდენობით არასდროს ადგილი არა აქვს, ვინაიდან იქ წარმოდგენილია კარგად მოწყობილი მძლავრი დამჟანგველი აპარატი. მცენარეულობაში და განსაკუთრებით სოკოებში და ობებში ორბანული მთავები შეიძლება დიდი რაოდენობით დაგროვდეს. იქმნება შთაბეჭდილება, რომ ამ ორგანიზმებში დაქანვის პროცესი ორბანული მთავების წარმოშობით მთავრდება. ასეთი მთავების სახით ცნობილია ძმრის, მუაუნას, ქარვის, ვაშლის, ღვინისა და ლიმონის მთავა. მცენარეულობაში ორბანული მთავები გროვდება მხოლოდ დროებით, შემდეგ კი მტეი თუ ნაკლები სიჩქარით ქრება.

ობის ორგანიზმში დიდი სიჩქარით გარდაქმნის შაქარს ორბანულ მთავად. მხოლოდ, როდესაც შაქარი საკვებ სუბსტრატში გამოილევა, ის მიმართავს წინასწარ დაგროვილ მთავს. ასეთი მცენარეები, როგორც სუკულენტებია, ღამით აგროვებენ ვაშლის მთავს, ხოლო დღისით ვაშლის მთავს რაოდენობა ფოთლებში მცირდება. ამ მაგალითებიდან ის დასკვნა უნდა გამოვიტანოთ, რომ ორბანული მთავები არ წარმოადგენენ ცვლის საბოლოო პროდუქტს, ისინი მონაწილეობას ღებულობენ ნივთიერებათა ცვლაში და მოიხმარებიან სუნთქვის ან სინთეზური პროცესებისათვის. ბ ე ნ ე ტ-კ ლ ა რ კ ი ს ცვლებიდან ირკვევა, რომ სუკულენტებში ვაშლის მთავა შეიძლება ხმარდებოდეს ორგანიზმს როგორც ენერგეტიკული მასალა.



ვაშლის მთავა განიცდის დაქანვას, წარმოიშობა ძმარმთავა, საიდანაც შეიძლება დაიწყოს შაქრის რესინთეზი. ბ ე ნ ე ტ-კ ლ ა რ კ ი იძლევა ორბანული მთავების მიმოქცევის შემდეგ სქემას:



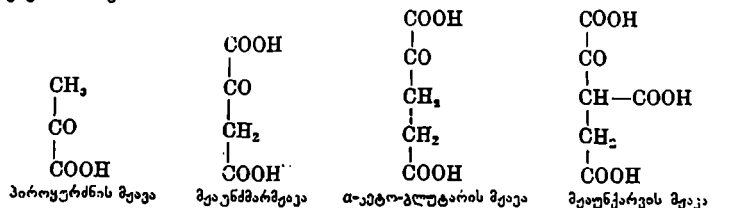
საინტერესოა აღინიშნოს, რომ ხილის დამწიფების პროცესში ორგანული მჟავების რაოდენობა კლებულობს და მის ხარჯზე მატულობს შაქრები. ეს ფაქტი ამტკიცებს იმ მოსაზრებას, რომ ორგანული მჟავები წარმოადგენენ მასალას ნახშირწყლების რეისინთეზისათვის.

ორგანულ მჟავათა გენეზისის გარკვევისათვის დიდი მუშაობა იყო ჩატარებული ლიმონის მჟავას მაგალითზე. ლიმონის მჟავას ვხვდებით როგორც მცენარეულობაში, ისე ცხოველთა ორგანიზმებში. ცხოველთა ორგანიზმში ის ძალიან მცირე რაოდენობით მოიპოვება სისხლში და კუნთოვან ქსოვილში, უფრო მეტი — რძეში და შარდში. მცენარეულობაში ის გროვდება სხვა ორგანულ მჟავებთან ერთად. განსაკუთრებით მდიდარია ლიმონის მჟავათი თამბაქოს ფოთოლი (მშრალი ნივთიერების 12—18%) და ლიმონი (მშრალი ნივთიერების 8%). ობებს შეუძლიათ განსაზღვრულ პირობებში გადაამუშაონ ლიმონის მჟავად მიცემული შაქრის თითქმის 90—100%.

იმისდა მიხედვით, თუ რა პირობებში ხდება მცენარეული ორგანიზმის განვითარება, ის აგროვებს ლიმონის მჟავას სხვადასხვა რაოდენობით. დიდი მნიშვნელობა აქვს ლიმონის მჟავას დაგროვებაზე ტუტე-მჟავურ წონასწორობას. იმ შემთხვევაში, როდესაც მცენარე იკვებება ამონიუმის მარილებით, ე. ი. ფიზიოლოგიურად მჟავე ნაერთით, ის აგროვებს ლიმონის მჟავას ნაკლებ რაოდენობით. ნიტრატებით კვებისას ლიმონის მჟავას სინთეზი სწრაფად მატულობს. იგივე გავლენა შემჩნეულია ცხოველთა ორგანიზმში. შარდში გამოყოფილი ლიმონის მჟავას რაოდენობა ფიზიოლოგიურად ტუტე საკვების მიცემისას გაცილებით მეტი არის, ვიდრე მამინ, როდესაც ის მჟავა საკვებს ღებულობს. ამის მიზეზი იმაში უნდა ვეძიოთ, რომ ლიმონის მჟავა სხვა მჟავებთან ერთად მონაწილეობას ღებულობს ტუტე-მჟავური წონასწორობის დაცვაში. ზედმეტ ტუტეს ორგანიზმში ებრძვის მჟავას დაგროვებით.

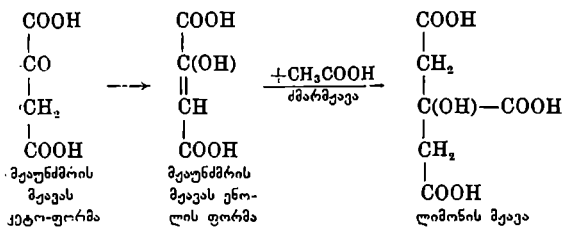
მრავალი ექსპერიმენტით დამტკიცებულია, რომ მცენარეში ლიმონის მჟავას სინთეზი ხორციელდება ტრიკარბონისა და დიკარბონის მჟავების ციკლით. როდესაც თამბაქოს ფოთოლში შეყავდათ პიროყურძნის, ქარვის, ფუმარის, ვაშლის ანდა მჟაუნქარვის მჟავას მარილები ინფილტრაციის საშუალებით, ლიმონის მჟავას სინთეზი ძლიერდებოდა. ღვინის მჟავა კი ლიმონის მჟავას დაგროვების სტიმულირებას არ იწვევდა. აქედან ის დასკვნა უნდა გაკეთდეს, რომ ლიმონის მჟავას სინთეზი მიემართება ტრიკარბონის მჟავების ციკლის გზით.

ყურადღებას იპყრობს ის ფაქტი, რომ ნახშირორჟანგის რაოდენობის გადიდება გარემო არეში დადებით გავლენას ახდენს ლიმონის მჟავას დაგროვებაზე. ეს მოვლენა აიხსნება ნახშირორჟანგის ჰეტეროტროფული ფიქსაციით α-კეტო-მჟავების მიერ. ფიქსატორის როლში გამოდის პიროყურძნის მჟავა და შესაძლებელია α-კეტო-გლუტარის მჟავა. პირველ შემთხვევაში მიიღება მჟაუნქმარმჟავა, მეორეში — მჟაუნქარვის მჟავა. ორივე ეს ნაერთი წარმოადგენილია ტრიკარბონის მჟავათა ციკლში და ისინი მონაწილეობას ღებულობენ ლიმონის მჟავას სინთეზში.



ნახშირორჟანგის დადებითი გავლენა ორგანული შეკვების დაგროვების ინტენსივობაზე შემჩნეულია სუკულენტებშიაც და, როგორც ჩანს, მას მცენარეებში საყოველთაო გავრცელება აქვს. ის ფაქტი, რომ სუკულენტები ღამით მეტ ვაშლის მქაევას აგროვებენ, უნდა აიხსნას იმით, რომ ფოტოსინთეზი ღამით შეკავდება და ჟანგვის შედეგად ნახშირორჟანგის პარციალური წნევა უჭრედში მატულობს. დღისით, პირიქით, გაძლიერებული ფოტოსინთეზის შედეგად ნახშირორჟანგის კონცენტრაცია კლებულობს და მქაევების დაგროვება მცირდება.

მცენარეებში აღმოჩენილია ყველა ის ფერმენტული სისტემა, რომელიც მონაწილეობს ღებულობს ტრიკარბონის მქაევების ციკლში. ცენტრალური ადგილი ლიმონის მქაევას სინთეზში უნდა ეჭიროს კონდენსაციის რეაქციას კონშიმ A-ში გააქტივებულ ძმარმქაევასა და მქაუძმარმქაევას შორის.

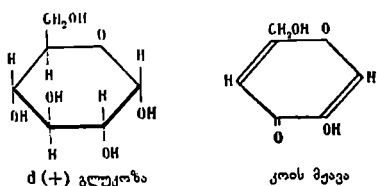


ფიქრობენ, რომ კონდენსაციის რეაქციას ააქტივებს სპეციფიკური ფერმენტი ციტროგენაზა.

მიკროორგანიზმებში, სოკოებში და ობებში ორგანული მქაევების დაგროვება შესაფერის პირობებში აღწევს დიდ ოდენობას. დადებით გავლენას სინთეზზე ახდენს ნახშირორჟანგის კონცენტრაციის გადიდება საკვებ არეში და ისეთი საკვების მიცემა, რომელიც ფიზიოლოგიურად ტუტე ნაერთს შეიცავს. უმდაბლესი მცენარეები ორგანული მქაევების მზრივ იჩენენ მრავალფეროვნებას. ბოლოლოგიური გზით შესაძლებელი ხდება დიდი რაოდენობით დამზადდეს აზა მარტო ლიმონის მქაევა, არამედ გლუკონის, ფუშარის, აკონიტის, იტაკონის, რძის, ძმარისა და მქაუძის მქაევა.

ყურადღებას იპყრობს ობების ზოგიერთი სახეების მიერ კოის მქაევას სინთეზის უნარი. კოის მქაევა შეიძლება წარმოვიდგინოთ როგორც გლუკოზის ნაწარმი, რომელიც შეიქმნება მისი დეჰიდრატაციისა და დეჰიდრირების შედეგად.

რადგან კოის მქაევა იქმნება ქსილოზიდანაც, შეუძლებელია დაეუშვათ, რომ მისი უშუალო წყარო არის გლუკოზა. უნდა მივიღოთ, რომ კოის მქაევა შეიქმნება გლუკოზას ან ქსილოზას გარდაქმნის შუალედი პროდუქტისაგან. გამოკრეველია, რომ გლიცერინი, გლიცერინის ალდეჰიდი, დიოქსიაცეტონი წარმოადგენენ კოის მქაევას საუცხოო წყაროს.



აქედან ის დასკვნა უნდა გაკეთდეს, რომ კოის მეთავე იქმნება სამნახშირბადიანი ჯაჭვის მქონე ნაერთების კონდენსაციის შედეგად. ყველაზე უფრო დასაშვებია, რომ ეს ნაერთი არის ტრიოზა. თუ ეს მართლაც ასე ხდება, მაშინ აღვილი გასაგებია იმ ჰეტეროციკლური ნაერთების სინთეზის გზა, რომელთა რგოლი კოის მეთავეს მსგავსად ექვსი წევრიდანაა აშენებული. ასეთი ნაერთებია, მაგალითად, ფლავონოლები, ანტოციანები, დეჰსიდები, პოლიფენოლები, ლიგნინი და სხვ.

ცილოვანი ნივთიერებანი

§ 1. საართო ღანასიათვაა

ცილები ანუ პროტეინები წარმოადგენენ რთულ, დიდი მოლეკულური წონის მქონე ნივთიერებებს. ცილა ნახშირწყლებთან და ცხიმებთან ერთად ღებულობს მონაწილეობას ყველა ორგანიზმის შენებაში. ის პროტოპლაზმის მთავარი და მნიშვნელოვანი შემადგენელი ნაწილია.

მცენარის ცოცხალ უჯრედში ცილა ჩვეულებრივ პროტოპლაზმის მშრალა წონის დაახლოებით ნახევარს შეადგენს და, უმეტეს შემთხვევაში, ნახევრად თხევად მდგომარეობაში იმყოფება. როგორც სათადარიგო მასალა, ის დაგროვილია მცენარის თესლში და ზოგიერთ შემთხვევაში, როგორც, მაგალითად, პარკოსნებში, მისი რაოდენობა 35—40%-მდე შეიძლება ავიდეს.

უფრო მეტი გავრცელება აქვს ცილებს ცხოველთა ორგანიზმში. პროტოპლაზმატიური ცილების გარდა მცენარეებისაგან განსხვავებით ცხოველთა საყრდენი ქსოვილები ძირითადად ცილებისაგანაა აშენებული. ეს ცილები შემადგენლობითა და აღნაგობით პროტოპლაზმატიური ცილებისაგან განსხვავდება.

ცილის დანიშნულება უჯრედში მდგომარეობს იმაში, რომ მასთან არის დაკავშირებული ძირითადი სასიცოცხლო ნიშნები: ნივთიერებათა ცვლა და რეპროდუქცია. მისი შემწეობით ხერხდება ყოველი ნაერთის გარდაქმნა, ცვლის გარკვეული მიმართულებით მსვლელობა და უჯრედის სპეციფიკური ფუნქციის წესრულება, როგორც არის, მაგალითად, მოძრაობა, შეკუმშვა, აგზნება, გაღზინებაზე პასუხის გაცემა და სხვ.

ცოცხალი მატერიისათვის ყველაზე უფრო დამახასიათებელია ნივთიერებათა ცვლა. გარკვეულია, რომ ნივთიერებათა ცვლა ცოცხალ უჯრედში სპეციფიკური კატალიზატორების საშუალებით ხორციელდება, რომლებიც ფერმენტებს წარმოადგენენ. ფერმენტები კი ცილოვანი ბუნებისაა. თუ როგორ ხორციელდება ცოცხალი უჯრედის ფუნქცია ცილის გარდაქმნასთან დაკავშირებით, ამის საუკეთესო მაგალითს წარმოადგენს კუნთის შეკუმშვა. კუნთის მექანიკური ბუზაობის უნარი პირობადებულია შეკუმშვადი ნივთიერებით — აქტომიოზინით, რომელიც ცილას წარმოადგენს. ამ ცილას შეუძლია სწრაფად გადავიდეს ერთი ფიზიკურ-ქიმიური მდგომარეობიდან მეორეში. კუნთის შეკუმშვის დროს ვარკვეულ ნივთიერებათა ზემოქმედებით, რომლებიც აგზნების დროს თავისუფლდება, მიოზინის მოლეკულები სივრცეში იმგვარად ორიენტირდება, რომ მიოფიბრილები ერთსა და იმავე დროს მოკლდება და მსხვილდება. უჯრედის

ზრდა და მისი დაყოფა უშუალოდ დაკავშირებულია სპეციფიკური რთული ცილების ნუკლეოპროტეიდებთან. კიდევ მეტი, ნუკლეოპროტეიდებს გარკვეული როლი ენიჭებათ შთამომავლობაში ყველა იმ ნიშან-თვისების გადაცემაში, რომლებიც ორგანიზმებს თანდაყოლილი აქვს.

ის შედეგები, რაც უკანასკნელ დროს არის მიღებული ცილების ქიმიასა და ბიოლოგიის დარგში, ყოველ ექვს გარეშე ამტკიცებს ფ. ენგელსის იმ დებულებას, რომ „სიცოცხლე არის ცილოვანი სხეულების არსებობის წესი“.

ცილის მოლეკულის შენებაში მონაწილეობას დებულობს შემდეგი ელემენტები: აზოტი, ნახშირბადი, წყალბადი, ქანგბადი და აგრეთვე ხშირად ფოსფორი და გოგირდი. ამ ელემენტების განაწილება სხვადასხვა ცილაში დიდ ცვალებადობას არ განიცდის და ცილების ელემენტარული შემადგენლობა თითქმის ერთი და იგივეა.

ნახშირბადი	50,6%—54,5%
ქანგბადი	21,5%—23,5%
წყალბადი	6,5%— 7,3%
აზოტი	16,5%—18,5%
გოგირდი .	0,3%— 2,5%

ცილების შენება ჯერ კიდევ იმდენად არ არის შესწავლილი, რომ შესაძლებელი იყოს მათი ამომწურავი ქიმიური დახასიათება. ცილის დახასიათებისათვის მიმართავენ ზოგიერთი ფიზიკური თვისებების შესწავლას, მაგალითად, როგორცაა დამოკიდებულება დიალიზსა, გატხელებასა და ხსნადობასთან სხვადასხვა გამხსნელში. ცილის ქიმიური შესწავლა მიმართულია უმთავრესად იმ კომპონენტების გამოაშკარავებისაკენ, რომლებიც ცილის რთულ მოლეკულაშია წარმოდგენილი.

ცილის შემადგენელი ნაწილების შესწავლა ჰიდროლიზური დაშლის შემწეობით ხდება. ეს დაშლა მიმდინარეობს მთელი რიგი საფეხურებით. იმისდა მიხედვით, თუ რა სიძლიერით და როგორი ხანგრძლიობით წარმოებს ჰიდროლიზური აგენტის ზემოქმედება, ჯერ მიიღება მოლეკულის უფრო რთული ნაშენებრეები, შემდეგ ამ ნაშენებრეების სტრუქტურა მარტივდება და ბოლოს წარმოიშობა შედარებით მარტივი ნაერთები. ჰიდროლიზურ აგენტებად მიჩნეულია მჟავები, ტუტეები და აგრეთვე ფერმენტები.

ცილის ჰიდროლიზურ დაშლას თან უნდა ახლდეს თვისებითი და რაოდენობითი განსაზღვრა ყველა იმ შემადგენელი ნაწილისა, რომელიც წარმოდგენილია თავისუფალი სახით ჰიდროლიზის შემდეგ მიღებულ ნარევეში. ცილა რომ მარტივი შემადგენელი ნაწილებისაგანაა აშენებული, დიდი ხანია ცნობილია; მაგრამ ცილის შენების ქიმიური შესწავლა დაიწყო მხოლოდ ე. ფი შერისა და ა. დანილევსკის კლასიკური შრომებით. ამ მკვლევრებმა დიდი მუშაობა ჩაატარეს ცილის მოლეკულის შენებასა და სხვადასხვა ცილას შორის უანსხვავების დადგენისათვის. გამოიჩვენა, რომ ცილა აშენებულია ამინომჟავებისაგან და ცილოვან ნივთიერებათა მრავალი წარმომადგენლის ურთიერთგანაჯვავება დამოკიდებულია მოლეკულაში შემავალი ამინომჟავების რაოდენობისა და მათ განაწილებაზე.

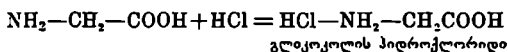
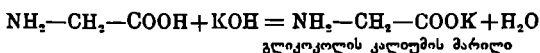
მაშასადამე, ცილოვანი ნივთიერება შეიძლება დავახასიათოთ როგორც რთული მაღალმოლეკულური ნაერთი, აშენებული სხვადასხვა ამინომჟავასაგან. ის ყოველთვის იძლევა კოლოიდურ ხსნარს.

ამინომჟავები ცილის მოლეკულაში იმავე როლს ასრულებენ, რასაც მონოსაქარიდები რთულ ნახშირწყალში. განსხვავება იმაში მდგომარეობს, რომ რთული ნახშირწყლის ჰიდროლიზის დროს მიიღება ერთი და იგივე სტრუქტურული ელემენტი, მაშინ როდესაც ცილაში სხვადასხვა სტრუქტურული ელემენტის რაოდენობა ორ ათეულამდე აღწევს.

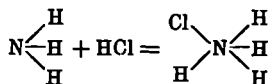
ამინომჟავები შეიძლება განვიხილოთ როგორც შესაფერისი ორგანული მჟავები, სადაც ერთი წყალბადის ატომი შეცვლილია ამონიაკის ნაშთით. ბუნებრივ ამინომჟავებში ამინის ჭკუფი ჩაინაცვლება უმთავრესად α-მდგომარეობაში.

მარტივად აშენებული ამინომჟავები წყალში ხსნადია.

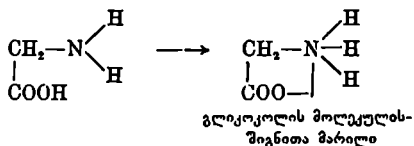
ამინომჟავათა ქიმიური თვისებები გამომდინარეობს მათ შენებაში მონაწილე ფუნქციონალური ჯგუფების და მჟავე თვისებების მქონე COOH ჯგუფისაგან. მათ შეუძლიათ ორგანიზმში მარილის მოცემა. მაგალითად, გლიკოკოლის შემთხვევაში:



უკანასკნელი რეაქცია ემსგავსება ამონიაკისა და მჟავას დაკავშირებას, სადაც ამონიაკის სამვალენტოვანი აზოტი მარილში გადასვლის შემდეგ გადადის ხუთვალენტოვან აზოტში:

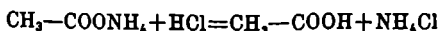


იმ ამინომჟავებს, რომელთაც ამინისა და კარბოქსილის ჯგუფების დასაბარი რაოდენობა აქვთ, წყალში ნეიტრალური რეაქცია ახასიათებს. ამის გამო უნდა ვეფულისხმოთ, რომ ხსნარში წარმოებს ამინომჟავას NH₂ და COOH ურთიერთ-ნეიტრალიზაცია და, როგორც ზემოთ დავინახეთ, სამვალენტოვანი აზოტი გადადის ხუთვალენტოვანში:

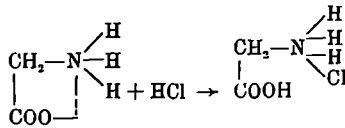


ამ თვალსაზრისით ამინომჟავები ხსნარში ქმნიან მოლეკულის შიგნითა მარილებს.

ამინომჟავათა ზემოხსენებული სტრუქტურა ხელს არ უშლის მჟავების ამინომჟავაზე მოქმედებას. უფრო ძლიერ მჟავას აქვს უნარი გამოაძევეს ორგანული მჟავა ამონიუმის მარილიდან, მაგალითად:



ამავე მოსაზრებით დასაშვებია, რომ ამინომჟავას მოლეკულის შიგნითა მარტილში შეიძლება წარმოებდეს კარბოქსილის ჯგუფის განთავისუფლება მჟავას ზემოქმედებით:

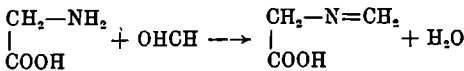


მაშინ, როდესაც წყლის ხსნარში ამინომჟავას ამფოტერული ბუნება აქვს და ის ნეიტრალურად რეაგირებს, სპირტის ხსნარში, პირიქით, მჟლავნდება ამინომჟავას მჟავე თვისებები. სპირტში ფუძე თვისებები იჩრდილება და შესაძლებელი ხდება ამინომჟავას ტიტრაცია.

ამინომჟავათა ამფოტერული ბუნება კარგად მჟლავნდება, როდესაც ერთერთი მოწინააღმდეგე ფუნქციური ჯგუფის თვისებები მოისპობა. მაგალითად, თუ ამინომჟავას კარბოქსილის ჯგუფი დაუქვეშირდა სპირტს, მიღებული ესთერი წარმოადგენს უკვე აშკარა ფუძე ხასიათის ნაერთს.

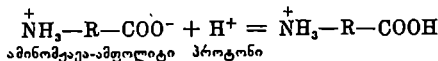


შესაძლებელია აგრეთვე მოვსპოთ ამინის ჯგუფი, თუ მასზე ვიმოქმედებთ ფორმალდეჰიდით. ამ შემთხვევაში წარმოშობილ მეთილენის ნაწარმს აქვს უკვე მჟავას ხასიათი.

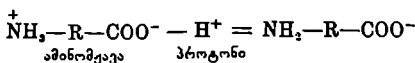


დიამინომონოკარბონის მჟავეებს (ამინომჟავეებს, რომელთა შენებაში მონაწილეობას ლებულობს ორი ამინისა და ერთი კარბოქსილის ჯგუფი) აქვთ უკვე ტუტე რეაქცია, ვინაიდან ნაერთზე ფუძე ხასიათის ჯგუფები სპარბობენ მჟავე ხასიათის ჯგუფებს. პირიქით, მონოამინოდიკარბონის მჟავეებს (ამინომჟავეებს, რომელთა შენებაში მონაწილეობას ლებულობს ერთი ამინისა და ორი კარბოქსილის ჯგუფი) ახასიათებს მჟავე რეაქცია.

ამფოტერული ბუნება ამინომჟავეებს მთელ რიგ ისეთ თვისებებს ანიჭებს, რომელთაც ჩვენ სხვა ნაერთებში ან ვერ ვპოულობთ, ანდა ისინი სუსტადაა გამოხატული. პირველ ყოვლისა, ეს გამოიხატება იმაში, რომ ამინომჟავეა ერთდროულად ატარებს ორ საწინააღმდეგო თვისების მქონე ნიშანს: მას შეუძლია გასცეს პროტონი (H^+), ე. ი. გამოვიდეს მჟავას როლში, ანდა შეითვისოს პროტონი, ე. ი. გამოვიდეს ტუტის როლში.

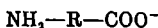


ზემით მოტანილი განტოლების მიხედვით ჯგუფი $-\text{COO}^-$ უნდა განვიხილოთ როგორც ტუტე, რომელსაც შეუძლია პროტონის (H^+) შეერთება.

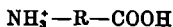


ამ განტოლების მიხედვით კი ჭკუფი NH_3^+ განხილული უნდა იქნეს როგორც ჰეა, რადგან ის კარგავს პროტონს.

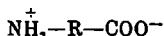
მაშასადამე, ტუტე არეში ამინომეჯავას ექნება შენება:



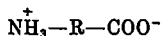
ხოლო მეავე არეში:



და ნეიტრალურში:



ამინომეჯავათა ამფოტერული ბუნება შედგენდება აგრეთვე იმაში, რომ მათ წყალხსნარებს ახასიათებს არაჩვეულებრივი დიდი დიელექტრული ინკრემენტი (დიელექტრული მუდმივის მატება). ეს იმით უნდა აიხსნას, რომ ამინომეჯავა, რომელიც ორ საწინააღმდეგო ნიშნის მქონე ელემენტს ატარებს, მთლიანად დისოცირებული უნდა იყოს:



მაშასადამე, ამინომეჯავები პოლარული ნაერთების ჭკუფს უნდა მივაკუთვნოთ. პოლარული ნაერთების მოლეკულებში დადებითი და უარყოფითი ელემენტების სიმძიმის ცენტრი მოლეკულის ცენტრში არ თავსდება. ამ ნაერთებისათვის დამახასიათებელია დიპოლური მომენტი M , რომლის სიდიდე ისაზღვრება ელემენტების e ნამრავლით მათ შორის მანძილზე (1).

$$M = el$$

ამინომეჯავათა პოლარულ შენებაზეა დამოკიდებული მათი ისეთი თავისებურებები, როგორც, მაგალითად, დამოკიდებულება გამხსნელთან, ელექტროლიტებთან და ელექტროდენტთან, რეაქციის უნარი სხვა ნაერთებთან, ადსორბციის მოვლენა და სხვ.

§ 8. ამინომეჯავათა ცალკე წარმომადგენლები

ამინისა და კარბოქსილის ჭკუფების რაოდენობის მიხედვით ყველა ცნობილი ამინომეჯავა შეიძლება დაიყოს შემდეგ ჭკუფებად:

1. მონოამინო-მონოკარბონის მქავეები. ამ ჭკუფს ეკუთვნის: გლიკოკოლი, ალანინი, ვალინი, ლეიცილინი, იზოლეიცილინი, ნორლეიცილინი, სერინი, ტრეონინი, ცისტეინი, მეთიონინი, ფენილალანინი და ტიროზინი.

2. მონოამინოდიკარბონის მქავეები: ეს ჭკუფი შეიცავს ამაჰარაგინისა და გლუტამინის მქავეს.

3. დიამინოკარბონის მქავეები: ორნიტინი, ლიზინი და არგინინი.

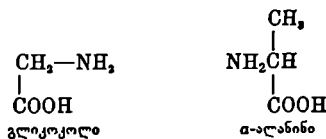
4. ჰეტეროციკლურ ამინომეჯავათა ჭკუფს ეკუთვნის ის ამინომეჯავები, რომლებიც ჰეტეროციკლურ ბირთვს შეიცავენ. ამ ჭკუფს ეკუთვნის: პისტუდინი, ტრიპტოფანი, პროლინი და ოქსიპროლინი.

მონოამინო-მონოკარბონის მქავეები

გლიკოკოლი ანუ ამინოქმრის მქავეა, ანუ გლიცილინი წარმოადგენს გამონაკლისს დანარჩენი ამინომეჯავეებიდან, რადგან ასიმეტრიულ ნახშირბადის ატომს არ შეიცავს; დიდი რაოდენობით გვხვდება ქელატინში და ფიბ-

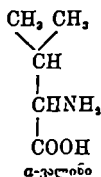
როინში; ნაპოვნია აგრეთვე გლობულინებში და მრავალ სხვა ცილაში. არ არის წარმოდგენილი ალბუმინში და კაზეინში. მისი ნაერთებიდან ყურადღებას იპყრობს ნაერთი β-ნაფტალინსულფოქლორიდთან, რომლითაც სარგებლობენ მისი აღმოჩენისათვის.

1(+) α-ალანინი წარმოადგენს α-ამინოპროპიონის მჟავას.

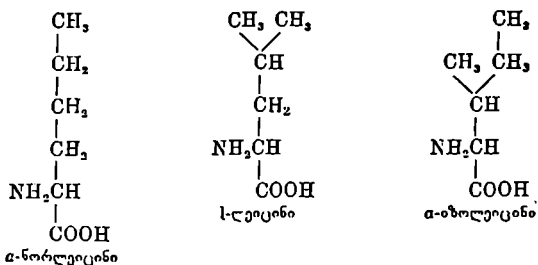


ის უკვე ასიმეტრიულ ნახშირბადს შეიცავს, ცილაში მონაწილეობას ღებულობს მისი მარჯვენა იზომერი; გავრცელებულ ამინომჟავას წარმოადგენს. ეს ამინომჟავა საყურადღებოა იმით, რომ მისი მეთილის ჯგუფში სხვადასხვა ნაშთის ჩანაცვლებისას წარმოიშობა ამინომჟავების მთელი რიგი. ალანინის ნაწარმს წარმოადგენს ფენილალანინი, თიროზინი, ჰისტიდინი, ტრიპტოფანი, სერინი და ცისტეინი.

1(+) α-ვალინი, α-ამინო-იზოვალერიანის მჟავა. ცილაში გავრცელებულია მარჯვენა მბრუნავი იზომერი. თავისი თვისებებით ძალიან წააგავს ლეიცინს, რისთვისაც მისი გამოცალკეება ლეიცინისა და იზოლეიცინისაგან სიძნელეს წარმოადგენს.



1(—) 1-ლეიცინი, α-ამინო-იზოკაპრონის მჟავა. ეკუთვნის ცილებში გავრცელებულ ამინომჟავათა ჯგუფს. გავრცელება აქვს მხოლოდ მარცხენა იზომერს.



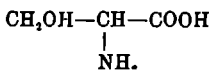
(—) ლეიცინის იზომერებია α-ნორლეიცინი და α-იზოლეიცინი.

α-ნორლეიცინი წარმოადგენს α-ამინო-ნორმალურ კაპრონის მჟავას. ის შედარებით მეტი რაოდენობით შედის ნერვული ქსოვილის ცილების შემად-

გენლობაში; დანარჩენ ცილებში ეს უმნიშვნელო რაოდენობით არის წარმოდგენილი.

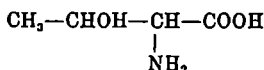
1(+)
 α -იზოლეიციანი, α -ამინო-, მეთილ-ეთილკაპრონის მჟავა შეიცავს ნახშირბადის ორ ასიმეტრიულ ატომს. წყლისა და მჟავე ხსნარებში აქვს მარჯვენა ბრუნვა. ნაკლებ გავრცელებული ამინომჟავაა, ვიდრე ლეიციანი. ამ სამი ლეიციანის ურთიერთდამორება საკმაოდ ძნელია, რადგან ქიმიური თვისებებით ისინი ერთიმეორეს უახლოვდებიან.

1(-)
 სერინი, α -ამინო-, β -ოქსიპროპიონის მჟავა წარმოადგენს ალანინს, სადაც წყალბადი β -ნახშირბადის ატომთან ჩანაცვლებულია ჰიდროქსილის ჯგუფით. პოლარიზებულ სხივს აბრუნებს მარცხნივ. აღდგენისას გადადის ალანინში და აზოტოვანი მჟავით დაჯანგვისას — გლიცერინის მჟავაში.



1(-) სერინი

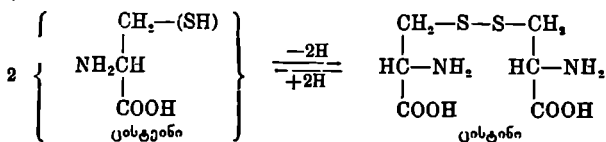
ტრეონინი, α -ამინო- β -ოქსი-ერბოს მჟავა.



ტრეონინი

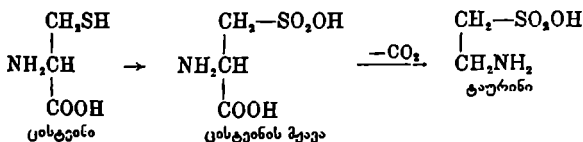
სერინის მსგავსად ტრეონინი შეიცავს, ამინისა და კარბოქსილის ჯგუფებს გარდა, კიდევ ოქსი-ჯგუფს. ის დიდ ყურადღებას იპყრობს, რადგან იმ ამინომჟავათა ჯგუფს ეკუთვნის, რომელთა შექმნის უნარი ცხოველს არა აქვს.

1(-)
 ცისტეინი, α -ამინო- β -თიოპროპიონის მჟავა მნიშვნელოვანი ამინომჟავაა. შეიცავს გოგირდს სულფჰიდრილის ჯგუფის სახით. ცისტეინი ძალიან ადვილად იჟანგება და გადადის ცისტინში.



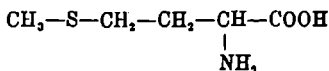
1(-)
 ცისტინი წარმოადგენს დიამინოდიკარბონის მჟავას. ცილაში გოგირდის არსებობა უმთავრესად დამოკიდებულია მასში შემავალ ცისტეინზე. ცისტინი წყალში არ იხსნება. შედარებით დიდი რაოდენობით წარმოდგენილია თმის ცილა კერატინში. ცისტინი — ცისტეინი დიდ ყურადღებას იპყრობს, ვინაიდან ამინომჟავათა ეს სისტემა მონაწილეობას ღებულობს ჟანგვა-აღდგენით პროცესებში. ცისტინი თავისუფალი სახით მოიპოვება შარდშიაც.

ენერგიული დაჯანგვისას ცისტეინი გარდაიქმნება ცისტეინის მჟავად, რომელსაც შეუძლია დაკარგოს კარბოქსილის ჯგუფი და მოგვეცეს ტაუ-რინი:



ტაურინი თავისუფალი სახით გვხვდება ცხოველის ქსოვილებში (ტვინში), სისხლში და შარდში. ნაპოვია ის აგრეთვე ნალექში ტაუროქოლის მეფას სახით, რომელიც წარმოადგენს ქოლის მეფას დაკავშირების პროდუქტს ტაურინთან.

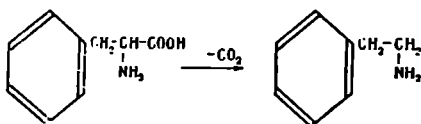
არსებობს კიდევ ერთი გოგირდშემცველი ამინომეფაე 1 (—) მ ე თ ი ნ ი ნ ი, რომელიც წარმოადგენს α-ამინო-γ-მეთილ-თიო-ერზოს მეფას.



მეთიონინი

მეთიონინს დიდი როლი ენიჭება როგორც მეთილის ჭგუფის დონატორს. ცისტეინთან ერთად მეთიონინი მონაწილეობას ღებულობს გოგირდშემცველი ნაერთების შექმნაში.

1 (—) ფ ე ნ ი ლ ა ლ ა ნ ი ნ ი, α-ამინო-β-ფენილპროპიონის მეფაე. ამ ამინომეფაეში წარმოდგენილია არომატული ნაშთი ფენილის სახით. გავრცელებულ ამინომეფაეათა ჭგუფს ეკუთვნის. ფენილალანინის გათბობით მძლავრი აზოტის მეფაესთან სითხე ყვითლად იღებება. ამ რეაქციას ქსანტოპროტეინის რეაქციას უწოდებენ. ქსანტოპროტეინის რეაქცია დამახასიათებელია ყველა იმ ცილისათვის, რომელიც ამ ამინომეფაეს შეიცავს.



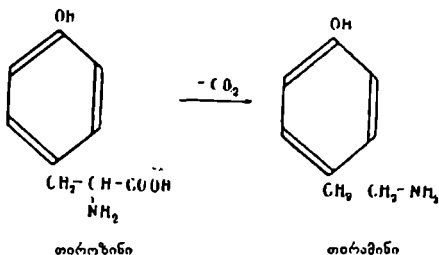
ფენილალანინი

ფენილეთილამინი

დეკარბოქსილირების შედეგად ფენილალანინი გადადის ამინში — ფენილეთილამინში. ამ პროცესს ადგილი აქვს ფენილალანინზე ბაქტერიების ზემოქმედებისას.

1 (—) თ ი რ ო ზ ი ნ ი, α-ამინო-β-პარა-ოქსი-ფენილ-პროპიონის მეფაეა. წარმოადგენს პარაოქსიფენილალანინს. ძალიან გავრცელებული ამინომეფაეა. ძნელად იხსნება წყალში. ვინაიდან თიროზინი შეიცავს არომატულ ბირთვის, ის იძლევა ქსანტოპროტეინის რეაქციას. გარდა ამისა მისთვის დამახასიათებელია ე. წ. მილონის რეაქცია (მილონის რეაქტივი წარმოადგენს ვერცხლისწყლის ჟანგისა და ზეჟანგის აზოტმეფაე მარილის ხსნარს). მილონის რეაქტივისაგან თიროზინის ხსნარი იღებება წითლად. ამ რეაქციას მიმართვენ ცილაში თიროზინის აღმოსაჩენად.

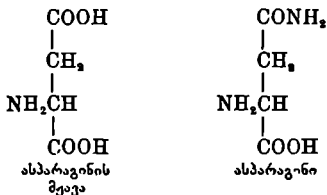
დამახასიათებელია ფერმენტ თიროზინაზას მოქმედება თიროზინზე. ეს ფერმენტი წარმოდგენილია აბრეშუმის კივის ჰემოლიმფაში და ზოგიერთ სოკოში. თიროზინაზას მოქმედებით თიროზინი კარგავს კარბოქსილის ჭგუფს და გადადის ქინონში. შედეგად თიროზინის ხსნარი ჭერ იღებება წითლად, შემდეგ კი მავდება, მელანინების წარმოშობით.



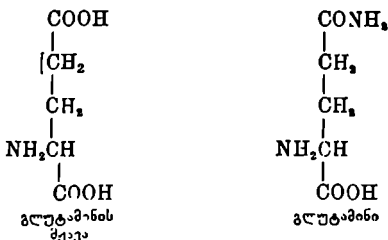
თიროზინის დეკარბოქსილირების შედეგად წარმოიშობა ამინი-თირამინი.

მონოამინო-დიკარბონის მუყავები

I (+) ასპარაგინის მუყავა. ასპარაგინის მუყავას მკაფიოდ გამოხატული აქვს მუყვეური ხასიათი, ვინაიდან ის ორი კარბოქსილის ჯგუფს შეიცავს. მცენარეში და საზოგადოდ ცილაში ასპარაგინის მუყავა წარმოდგენილია ამიდის ასპარაგინის სახით. ასპარაგინი არის ასპარაგინის მუყავას ამიდი. მცენარის ორგანიზმში მას განსაზღვრული მნიშვნელობა აქვს აზოტის ცვლის პროცესში.



I (+) გლუტამინის მუყავა, α-ამინოგლუტარის მუყავა. დიდი რაოდენობით წარმოდგენილია ცილა გლობულინებში. ზოგიერთი მცენარეულას ცილა მას შეიცავს 40%-მდე. ცილაში ის მონაწილეობს ამიდის გლუტამინის სახით.

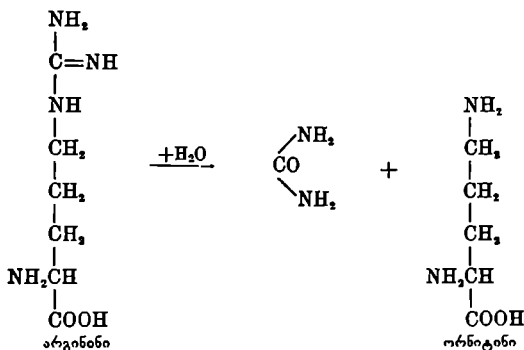


მუყავებისა და ფერმენტების მოქმედებისას ასპარაგინი და გლუტამინი ათავისუფლებენ ამონიაკს.

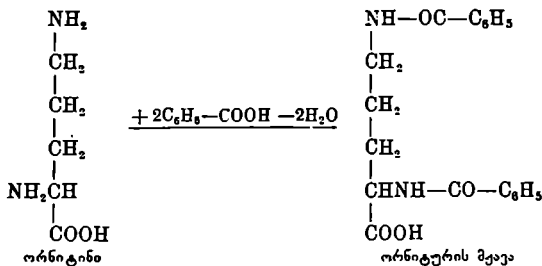
დიამინო-მონოკარბონის მუყავები

I (+) არგინინი, β-გუანიდინო-α-ამინოვალერიანის მუყავა. მონაწილეობას ღებულობს მრავალი ცილოვანი ნივთიერების შენებაში. მის ხსნარს ტუტე რეაქცია აქვს, ვინაიდან ერთი კარბოქსილის ჯგუფზე მიწ

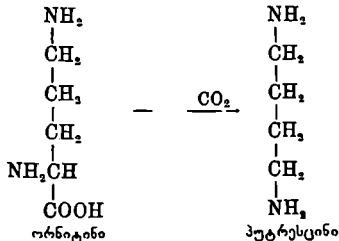
მოლეკულაში ორი ამინის ჯგუფი მოდის. ტუტის მოქმედებისას არგინინი განიცდის ჰიდროლიზურ დაშლას და წარმოიშობა შარდოვანა და ამინოჰეავა ორნიტინი. უჯრედში ამ პროცესს აწარმოებს ფერმენტი არგინაზა. არგინინის მოლეკულისათვის დამახასიათებელია გუანიდინის ნაშთი. ეს ნაშთი მონაწილეობას ღებულობს აგრეთვე კრეატინის შენებაში.



1 (+) ო რ ნ ი ტ ი ნ ი, ა-ბ-ღ ი ა მ ი ნ ო ვ ა ლ ე რ ი ა ნ ის მ ქ ა ვ ა. თავისუფალი სახით ცილის მოლეკულაში არ შედის. მიიღება მხოლოდ არგინინის ჰიდროლიზის შემდეგ. ორნიტინი მარჯვნივ მბრუნავია. როდესაც ფრინველში შეჰყავთ ბენზოის მჟავა, შარდში გამოიყოფა არა ჰიპურის მჟავა, როგორც აქვს ადგილი აქვს სხვა ცხოველებში, არამედ ორნიტურის მჟავა. ბენზოის მჟავა ფრინველებში წყვილდება არა გლიკოკოლთან, არამედ ორნიტინთან.

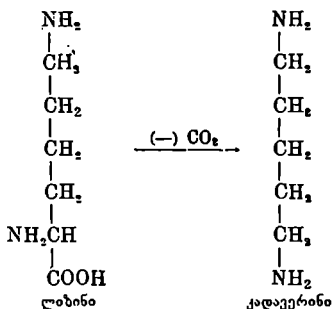


ორნიტინი ბაქტერიული ცვლის შედეგად შეიძლება გადავიდეს შხამში -- დიამინ-პუტრესცინში:



1 (+) ლიზინი, α-ε-დიამინოკაპრონის მჟავა. გავრცელებულ ამინომჟავაა ჯგუფს ეკუთვნის. პოლარიზებულ სხივს აბრუნებს მარჯვნივ. დიამინომჟავებით და კერძოდ ლიზინით მდიდარია ცილები პროტამინი და ჰისტონი. როგორც დიამინომჟავებს, ისე ლიზინსაც ტუტე რეაქცია ახასიათებს.

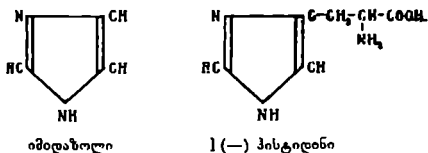
ცილის ლობის პროცესში ლიზინი კარგავს CO₂ და გადადის შხაში — კადავერინში.



ლიზინთან და არგინინთან ერთად ხშირად აერთიანებენ ჰისტიდინს, რომელსაც აგრეთვე ტუტე რეაქცია ახასიათებს; აშენებულია, როგორც ლიზინი და არგინინი, 6 ნახშირბადის ატომისაგან. ამინომჟავების ნარევისაგან ისინი გამოიყოფიან ერთი და იმავე დამლქვევლით. ამისათვის ეს სამი ამინომჟავა გაერთიანებულია ჰექსონის ფუძეების სახელწოდებით.

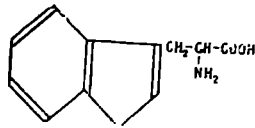
ჰეტეროციკლური ამინომჟავები

1 (-) ჰისტიდინი, α-ამინო, β-იმიდაზოლ-პროპიონის მჟავა. ეკუთვნის ჰექსონის ფუძეების ჯგუფს. გვხვდება ცილების ბევრ სახეობაში. განსაკუთრებით ბევრია ცილა გლობინში (გლობინი მონაწილეობას ღებულობს ჰემოგლობინის შენებაში). ჰისტიდინისათვის დამახასიათებელია დიაზორეაქცია; ამ რეაქციის მიღებისათვის ჰისტიდინის სოლის ხსნარს ემატება დიაზობენზოლ-ჟლოფონის მჟავა, ნარევი იღებება ინტენსიურ ალუბლისფერად.



ჰისტიდინის დეკარბოქსილირების შედეგად მიიღება ჰისტამინი, რომელიც წარმოადგენს ფიზიოლოგიურად ძლიერ მოქმედ ამინს.

1 (-) ტრიპტოფანი, ინდოლ-α-ამინოპროპიონის მჟავა წარმოადგენს რთულ ამინომჟავას, აშენებულს ალანინისაგან, სადაც ჩანაცვლებულია ინდოლის ბირთვი. ტრიპტოფანი მონაწილეობას ღებულობს თითქმის ყველა ცნობილი ცილის შენებაში.

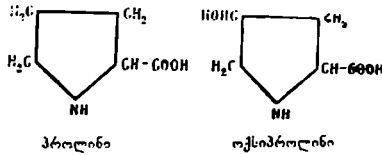


1-ტრიპტოფანი

ბაქტერიული ცვლის დროს ტრიპტოფანი კარგავს გვერდით ჯაჭვს და წარმოიშობა ინდოლი.

დამახასიათებელია ტრიპტოფანისათვის ე. წ. ა დ ა მ ე ვ ე ვ ი ჩ-პ ო პ კ ი ნ-ს ის რეაქცია. ტრიპტოფანის ალმოსაჩენად ცილის ზსნარს ემატება გლიოქსალის მჟავას (CHO—COOH) რამდენიმე წვეთი, და შემდეგ კონცენტრული გოგირდის მჟავა; წარმოიშობა იისფერი რგოლი. ეს რეაქცია ძალიან მგრძობიარეა და იხმარება ტრიპტოფანის რაოდენობითი განსაზღვრისათვის. ტრიპტოფანი აგურთვე იძლევა ქსანტოპროტეინის რეაქციას.

1 (—) პ რ ო ლ ი ნ ი. ა-პ ი რ ო ლ ი დ ი ნ-კ ა რ ბ ო ნ ის მ ჟ ა ვ ა. შეიცავს პიდრირებულ პიროლის ბირთვს. წარმოდგენილია შედარებით დიდი რაოდენობით პროლაპინებში, კაზეინში, ელატინში და სხვა ცილებში.



პროლინი

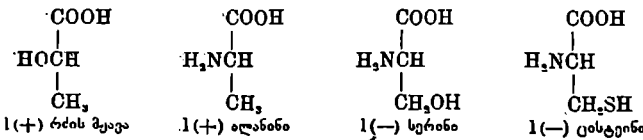
ოქსიპროლინი

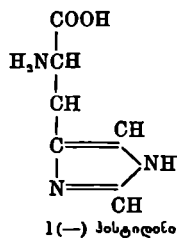
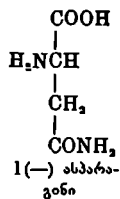
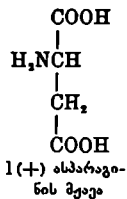
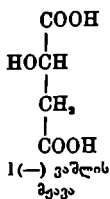
პროლინთან ახლო დგას 1 (—) ოქსიპროლინი. 1 (—) ოქსიპროლინი წარმოადგენს γ-ოქსი-α-პიროლიდინ კარბონის მჟავას. ოქსიპროლინი ნაკლებად გავრცელებული ამინომჟავაა.

პროლინი და ოქსიპროლინი არ წარმოადგენენ მათი შენების თვალსაზრისით ნამდვილ ამინომჟავებს. მიუხედავად ამისა, მათ იხილავენ ამინომჟავებთან ერთად, რადგან ცილების შენებაში ლებულობენ მონაწილეობას.

§ 4. ამინოჰაპათა აპოზირი ორბანულ შაპაჰათან

როგორც ნახსენები იყო, ბუნებრივი ამინომჟავები ოპტიკურად აქტიურ ნაერთებს წარმოადგენენ. ამა თუ იმ ამინომჟავას შექმნა უჯრედში დამოკიდებულია იმ მასალაზე, რომლისგანაც ის შენდება. ყურადღებას იპყრობს ის გარემოება, რომ ამინომჟავათა ფუნქციური ჯგუფების სივრცეში განწყობა ემსგავსება ოქსიმჟავების სივრცით სტრუქტურას. აქედან ის დასკვნა უნდა გამოვიტანოთ, რომ ნაერთთა ამ ორ ჯგუფს შორის მჭიდრო გენეზისური კავშირი უნდა არსებობდეს. ქვემოთ მოტანილია ოქსიმჟავებისა და ამინომჟავების სივრცითი ფორმულები, სადაც ეს დამოკიდებულება ნათლად ჩანს.





ზემოთ მოტანილი სტრუქტურული ფორმულებიდან ირკვევა, რომ ბუნებრივ ოქსი-და ამინომეფეებში ფუნქციური ჯგუფების სივრცეში განწყობა ერთი-მეორეს ეთანაბრება. ამინის ჯგუფის ჩანაცვლება ოქსიმეფეაში იწვევს ნაერთის თვისებების გარდაქმნას, მაგრამ ჯგუფის სივრცეში განწყობა არ იცვლება.

რადგან ნახშირწყლების ცელის შედეგად წარმოიშობა კეტო-და ოქსიმეფეები, ხოლო მათთან დაკავშირებულია ამინომეფეები, ამისათვის უნდა ვიფიქროთ, რომ ნახშირწყლებსა და ცილოვან ნივთიერებათა შორის კავშირი უნდა მყარდებოდეს კეტო-და ოქსიმეფეების საშუალებით.

ამინომეფეათა ოპტიკურ აქტივობას მარტო ის მნიშვნელობა კი არა აქვს, რომ ამინომეფეათა გენეზისი გაირკვეს. მრავალი გამოკვლევით დამტკიცებულია, რომ ცხოველთა და მცენარეთა ორგანიზმებში ანტიპოდები მსგავს გარდაქმნას არ განიცდიან. მაგალითად, სოკოები და საფუარები ლეციტინისა და გლუტამინის მხოლოდ α-ფორმას ითვისებენ. ცხოველთა ორგანიზმში ამინომეფეათა არა-ბუნებრივი ფორმების გარდაქმნა განსხვავებული, არანორმალური გზით მიზღინარეობს.

§ 6. ამინომეფეათა განსაზღვრის ქიმიური მეთოდები

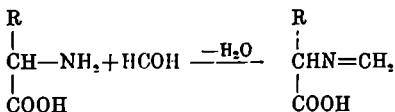
ამინომეფეები ხასიათდებიან ძალიან ახლო მონათესავე თვისებებით. ამის გამო მათი დაცალკეება ცილის ჰიდროლიზის შემდეგ დიდ სიძნელეს წარმოადგენს. ცილაში შემავალ ამინომეფეათა აღრიცხვა შესაძლებელი გახდა იმის შემდეგ, რაც ე. ფ. ი. შ. ე. რ. მ. ა. დაამუშავა სპეციალური მეთოდი ამ მიზნის განსახორციელებლად. ე. ფ. ი. შ. ე. რ. მ. ა. მეთოდის მიხედვით, პირველ ყოვლისა, წარმოებს ცილის ჰიდროლიზი კონცენტრული მეფეას საშუალებით. მიღებულ ამინომეფეათა ურთიერთდაცილების მისაღწევად ისინი გადაიყვანება ესთერებში. ამინომეფეათა ესთერების დუღილის წერტილი უკვე ერთიმეორისაგან დიდად განსხვავდება. ამის გამო ფრაქციული გამოხდის საშუალებით შესაძლებელი ხდება მათი ერთიმეორისაგან დაშორება.

მიუხედავად იმისა, რომ ე. ფ. ი. შ. ე. რ. მ. ა. მეთოდმა ცილის ქიმიკაში მთელი რევოლუცია მოახდინა, ის რაოდენობით მეთოდს მაინც არ წარმოადგენს. ანალიზის სრული აღრიცხვა შეუძლებელი ხდება, ვინაიდან ცილის ჰიდროლიზის დროს ამინომეფეები იმგვარად გარდაიქმნება, რომ მათი მთლიანი ესთერიფიკაცია ვერ ხერხდება.

ცილის ჰიდროლიზური დაშლის მსვლელობა შეიძლება აღირიცხოს განთავისუფლებული კარბოქსილისა და ამინის ჯგუფების მატებით. ეს გასაგებია, თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ ცილაში ამინომეფეათა ურთიერთდაკავშირება წარმოებს რეაქციით ერთი ამინომეფეას კარბოქსილის ჯგუფისა მეორე ამინო-

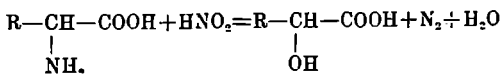
მეყავას ამინურ ჯგუფთან ე. წ. მეყავა-ამიდური ანუ პეპტიდური კავშირებით. ცილის ჰიდროლიზის დროს თავისუფლდება კარბოქსილისა და ამინის ჯგუფები.

1. ა მ ი ნ ო მ ე ყ ა ვ ა თ ა ფ ო რ მ ო ლ უ რ ი ტ ი ტ რ ა ც ი ა. ფორმალდეჰიდს აქვს უნარი დაუკავშირდეს ამინის ჯგუფის აზოტს მეთილენის ჯგუფის სახით:



აზოტი, რომელიც ახლა დაკავშირებულია —N=CH₂ სახით, ნეიტრალდება და ამინომეყავას ამფოტერული ბუნება იკარგება; მას ორგანული მეყავას თვისებები ენიჭება. ამის გამო შესაძლებელი ხდება კარბოქსილის ჯგუფი გაატიტროს ჩვეულებრივი წესით. ამინოჯგუფები და გუანიდინის ბირთვის ამინოჯგუფები ფორმალდეჰიდთან არ კავშირდებიან და ზემოხსენებული წესით არ ისაზღვრებიან.

2. ვ ა ნ - ს ლ ა ი კ ი ს მ ე თ ო ლ ი. ვინაიდან ამინომეყავაში პირველადი ამინის ჯგუფია წარმოდგენილი, ამის გამო მასზე აზოტოვანი მეყავას მოქმედებისას ამინის ჯგუფი ჩაინაცვლება ჰიდროქსილის ჯგუფით:

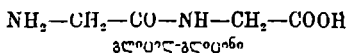


ამინის ჯგუფის ზემოხსენებული თვისება საფუძვლად უდევს ამინომეყავების რაოდენობით განსაზღვრას. როგორც განტოლებიდან გამომდინარეობს, გამოყოფილი აზოტის ნახევარი ეკუთვნის ამინის ჯგუფს. მამასადაამე. გამოყოფილი აზოტის რაოდენობის მიხედვით შეიძლება ვიმსჯელოთ თავისუფალი ამინის ჯგუფის და აქედან ამინომეყავების რაოდენობის შესახებ.

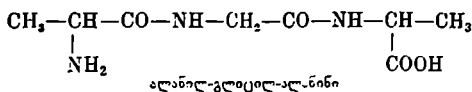
თუ ამინოჯგუფი დაკავშირებულია, როგორც ამას ცილაში აქვს ადგილი, მაშინ ის ამ რეაქციას უნარმოკლებული არის. ცილის ჰიდროლიზის დროს, როდესაც ამინოჯგუფები თანდათანობით თავისუფლდება, შესაძლებელია ვან-სლაიკის მეთოდით განისაზღვროს ჰიდროლიზის ხარისხი, თუ რამდენად დრმაღ წავიდა ცილის დაშლა.

3. გ ა ტ ი ტ ვ რ ი ს მ ე თ ო ლ ი. ეს მეთოდი დამყარებულია ამინომეყავა სპირტის ხსნარში გატიტრის უნარზე. როგორც ნახსენები იყო, წყლის ხსნარში ამინომეყავა ქმნის მოლეკულისშიგნითა მარილს, სპირტის ხსნარში კი ამინას ჯგუფის ფუძე ხასიათი ქრება და ამინომეყავას თავისუფალი მეყავას თვისებები ენიჭება. ვინაიდან სპირტის ხსნარში ამინომეყავას ჰიდროქსილის იონთა კონცენტრაცია პრაქტიკული თვალსაზრისით უმნიშვნელო ოდენობას აღწევს, თავისუფალი კარბოქსილის ჯგუფი იტიტრება ტუტის ალკოჰოლური ხსნარით ინდიკატორ ფენოლფტალეინის ან თიმოლფტალეინის თანდასწრებით.

უკანასკნელ დროს დამუშავებულია ამინომეყავათა განსაზღვრის ელექტროფორეზისა და ქრომატოგრაფიული მეთოდები, რომლებიც საშუალებას იძლევა სწრაფად და ზუსტად გაირკვეს ცილის ამინომეყავური შემადგენლობა. ელექტროფორეზის მეთოდის პრინციპი იმაში მდგომარეობს, რომ ელექტრულ ველში ამინომეყავები ერთმეორეს სცილდება და ყოველი ცალკე წარმომადგენელი ველის ერთ გარკვეულ ადგილზე გროვდება. ამინომეყავათა განსხვავებული ქვევა

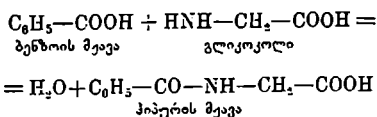


ამი მოლეკულა ამინომჟავას დაკავშირებისას მიიღება ტრიპეპტიდი:



პეპტიდების სახელწოდება მასში შემავალი ამინომჟავებისაგან გამომდინარეობს. პეპტიდების შესწავლის მნიშვნელობა იმაში გამოიხატება, რომ ცილის მოლეკულაში, როგორც ირკვევა, ამინომჟავები დაკავშირებულია მჟავა-ამიდური კავშირებით. ამ კავშირის ცილის მოლეკულაში არსებობა მტკიცდება იმით, რომ ცილის ფრაქციული ჰიდროლიზის შემდეგ გამოიყოფა ისეთი ნაერთი, რომელიც სავსებით ემსგავსება სინთეზური გზით დამზადებულ პეპტიდს. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ის ფაქტი, რომ ცილის ჰიდროლიზური დაშლისას ფერმენტებით, ე. ი. ისეთი რეაგენტებით, რომელთა მოქმედება დაბალ ტემპერატურაზე წარმოებს, შუალედი პროდუქტის სახით მიიღება ტიპური პეპტიდები. ფერმენტები მრავალ სინთეზურ პეპტიდზე მოქმედებენ და მათ შემადგენელ კომპონენტებად შლიან.

ორგანიზმისათვის პეპტიდური (მჟავა-ამიდური) კავშირი რომ უცხო არ არის და მას ასეთი კავშირების წარმოშობა შეუძლია, მტკიცდება აგრეთვე ჰიპურის მჟავას ფერმენტული სინთეზით. თუ ცხოველის ორგანიზმში შევიყვანეთ ბენზოის მჟავა, ის ორგანიზმიდან შარლში გაწვეილებული ნაერთის სახით გადადის. ბენზოის მჟავა წვეილდება გლიკოკოლთან შემდეგი რეაქციის მიხედვით:

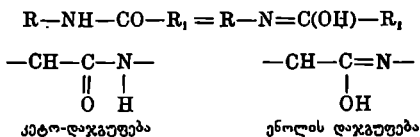


მასსადავს, წარმოიშობა ნაერთი, სადაც ორი კომპონენტი დაკავშირებულია მჟავა-ამიდური კავშირით.

ცილების შენების გარკვევისათვის დიდი მნიშვნელობა ჰქონდა აგრეთვე პოლიპეპტიდების შესწავლას. ე. ფ. ი. შ. ე. რ. მ. ა. შეძლო ისეთი პოლიპეპტიდების დამზადება, რომლებიც 18 ამინომჟავასაგან იყო აშენებული. მალალმოლეკულური პოლიპეპტიდების შესწავლამ ე. ფ. ი. შ. ე. რ. ი. მ. დასკვნამდე მიიყვანა, რომ პოლიპეპტიდები თავისი თვისებებით ბუნებრივ ცილებთან ახლოს დგანან. პოლიპეპტიდები ცილის ყველა ტიპურ რეაქციას იძლევიან. პოლიპეპტიდების წინარის გაცხელებისას ადგილი აქვს ისეთ მოვლენას, რომელიც მოგვაგონებს ცილის კოაგულაციას. მათთვის დამახასიათებელია ბიურეტის რეაქცია. ბიურეტის რეაქცია კი დამოკიდებულია ცილაში არსებულ პეპტიდურ კავშირებზე. პოლიპეპტიდები ცილის მსგავსად მარილების მიმატებისას კოაგულაციას განიცდიან. ამა თუ იმ ამინომჟავას არსებობა პოლიპეპტიდებში იწვევს იმავე ფერად რეაქციას, რომელიც ცილისათვის არის დამახასიათებელი.

დღეისათვის დადგენილია, რომ როგორც პოლიპეპტიდებში, ისე ცილებში ამინომჟავები დაკავშირებული არიან პეპტიდური, მჟავა-ამიდური კავშირითა.

ეს კავშირი ადვილად განიცდის ენოლიზაციას (კეტო-ჟგუფი წონასწორობაში ენოლის დაჟგუფებასთან):

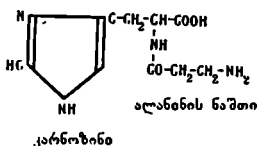


ენოლიზაციის შედეგად პეპტიდურ ჯაქს რეაქციის მეტი უნარი ენიჭება.

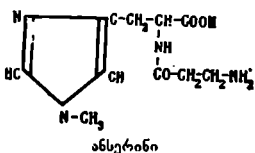
§ 7. ზუნაზარივი პეპტიდები

ორგანიზმში ცილის ცვლის შედეგად მოსალოდნელია მრავალი პეპტიდის წარმოშობა. უმეტეს შემთხვევაში მათ, როგორც შუალედ ნაერთებს, დიდი ხნის არსებობის უნარი არა აქვთ. აქ საკიროა განვიხილოთ ის პეპტიდები, რომლებიც უჯრედის მუდმივ შემადგენელ ნაწილს წარმოადგენენ.

კუნთიდან გამოყოფილია პეპტიდის შენების მქონე ნაერთი — კ ა რ ნ ო - ზ ი ნ ი, რომელიც თავისი სტრუქტურით β-ალანილ-პისტიდინს წარმოადგენს:

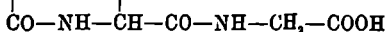
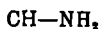


ბატის კუნთოვანი ქსოვილიდან გამოყოფილია ანსერინი, რომელიც N-მეთილ-კარნოზინს წარმოადგენს:



კარნოზინის მეთილირება ორგანიზმში წარმოებს მეთიონინის მეთილის ჯგუფის გადატანით, რის შედეგად მიიღება ანსერინი. მიუხედავად იმისა, რომ ეს ორი პეპტიდი დიდი ხანია აღმოჩენილია, ჯერ კიდევ არ არის გარკვეული მათი როლი. საყურადღებოა ის ფაქტი, რომ ანსერინი და კარნოზინი ხელს უწყობენ მაკროერგული ნაერთების (ადენოზინტრიფოსფატისა და კრეატინფოსფატის) სინთეზს და იმ ფერმენტების მოქმედებას, რომელთა აქტიური ცენტრის შენებაში მონაწილეობას ღებულობს ამინომჟავა პისტიდინი.

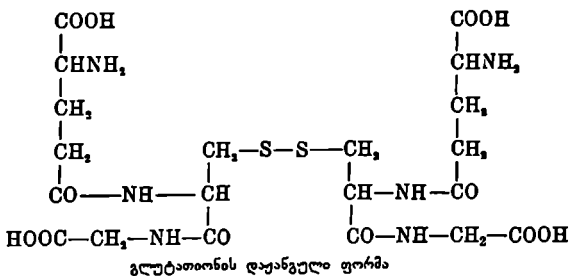
პეპტიდების ჯგუფს უნდა მიეკუთვნოთ გლუტათიონიც, რომელიც ტრაპეპტიდს წარმოადგენს. გლუტათიონი აშენებულია გლუტამინის მჟავასა, ცისტეინისა და გლიკოკოლისაგან.



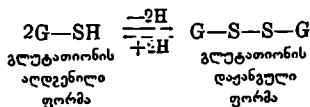
გლუტათიონი (ილდგენილი ფორმა)

ამ ტრიპეპტიდისათვის დამახასიათებელია სულფჰიდრილის ჯგუფი, რომელიც მას დიდ ბიოლოგიურ მნიშვნელობას ანიჭებს.

დადგენილია, რომ გლუტათიონი მონაწილეობს ღებულობს ჟანგვა-აღდგენით პროცესებში. გლუტათიონი ადვილად იჟანგება, კარგავს ორი წყალბადის ატომს და გადადის დაჟანგულ ფორმაში. დაჟანგული ფორმა წარმოადგენს ორი გლუტათიონის დაკავშირების პროდუქტს:



გლუტათიონის დაჟანგვა უკუქცევად რეაქციას წარმოადგენს, აქტიური წყალბადის ზემოქმედებით ის ხელახლა აღდგება:



გლუტათიონი, ზემოხსენებული გარდაქმნების მიხედვით, გამოდის ზან დამ-ჟანგველისა და ზან აღმდგენელის როლში, ე. ი. ის მონაწილეობს ღებულობს უჯრედში მიმდინარე ჟანგვა-აღდგენით პროცესში თავისი ლაბილური სულფ-ჰიდრილის ჯგუფის საშუალებით.

გამორკვეულია აგრეთვე გლუტათიონის მნიშვნელობა ნახშირწყლების ანა-ერობულ გარდაქმნებში. გლუტათიონი აქ როგორც კოფერმენტი ააქტიუებს სპეციფიკური დეჰიდროგენაზის მოქმედებას 3-ფოსფოგლიცერინის აღდგენაში.

გლუტათიონი გავრცელებული ნაერთია. მეტი რაოდენობით იგი წარმოდგე-ნილია საფუარების უჯრედში, ლეიქლში, სისხლში და კუნთოვან ქსოვილში.

ზემოხსენებული პეპტიდების გარდა ცნობილია ნაერთთა მთელი რივი, რომელთა შერევაში მონაწილეობას ღებულობს პეპტიდური ბმები, მაგალითად,

ვიტამინი — პანტოთენის მჟავა, ჰორმონები — ინსულინი, ვაზოპრესინი, ოქსიტოცინი, ანტიბიოტიკები — პენიცილინი და გრამიცილინი. ამგვარად, პეპტიდური კავშირი წარმოდგენილია არა მარტო ცილებში, არამედ არაცელოვან ნაერთებშიც.

§ 9. ცილების შენება

ცილის რთული მოლეკულის სტრუქტურულ ელემენტს ამინომჟავები წარმოადგენენ. ვინაიდან მოლეკულაში მონაწილეობას ღებულობს მრავალი სხვადასხვა თვისების მქონე ამინომჟავა, ამისათვის ცილას ახასიათებს ქიმიური გარდაქმნების მრავალფეროვნება.

ამინომჟავათა შენებისა და მათი ურთიერთდაკავშირების შესაძლებლობას ცილას მოლეკულაში ჩვენ უკვე გვეცანით. მაგრამ ყველაფერი ეს არ არის საკმარისი ცილის ნაწილაკის სტრუქტურისა და საერთოდ თვისებების ნათელი წარმოდგენისათვის.

ცილა მაღალმოლეკულური ნაერთი არის. ეს იმას ნიშნავს, რომ ჩვეულებრივი წარმოდგენები მოლეკულის შესახებ მასზე არ ვრცელდება. ცნობილია, რომ რაც უფრო დიდია მოლეკულა, მით უფრო მეტი სირთულით წარმოებს მასში მოძრაობა, მით უფრო ლაბილურია ნაერთი და უფრო ადვილად ხდება მასში ატომებისა და დაჯგუფებების ინტრამოლეკულური გადაჯგუფება. ამისათვის, არც ერთ შემთხვევაში ჩვენ არ ვართ დარწმუნებულნი, რომ ამა თუ იმ წესით გამოყოფილი ცილა ემსგავსება იმ ცილას, რომელიც ორგანიზმში იყო წარმოდგენილი.

ცილის უჯრედიდან გამოყოფას თან სდევს მოლეკულის ფიზიკურ-ქიმიური მდგომარეობის შეცვლა, ატომებისა და ჯგუფების განაწილება. შედეგად ბუნებრივი ცილა ისეთ ცვლილებებს განიცდის, რომ ის უკვე დენატურირებული ხდება. ცილის დენატურაცია შესაძლებელია არ ნიშნავდეს მოლეკულის ქიმიური შენების ღრმა ცვლილებებს, მაგრამ ის, რაც ცილის გამოყოფას თან სდევს, მას ახალ თვისებებს ანიჭებს.

ჯერ კიდევ 1888 წ. ა. დანილევსკიმ გამოთქვა მოსაზრება, რომ ცილის შედგენილი კომპონენტები ურთიერთდაკავშირებულია პეპტიდური კავშირებით. ეს დასკვნა მან გააკეთა, გამომდინარე ცილაზე ბიურეტის რეაქციის დაკვირვებიდან. რადგან ბიურეტის რეაქცია დამახასიათებელია პეპტიდური კავშირებისათვის, აქედან ის დასკვნა გამოიტანეს, რომ ცილა პეპტიდურ კავშირებს შეიცავს. შემდეგში ეს მოსაზრება განვითარებული იყო ე. ფიშერის მიერ, რომელმაც შეძლო მისი ექსპერიმენტული გზით დასაბუთება. მიუხედავად იმისა, რომ ცილის ქიმიის დარგში დიდი მუშაობა ჩატარდა, ა. დანილევსკისა და ე. ფიშერის მიერ დადგენილი ეს ძირითადი დებულება დღემდე უცვლელი დარჩა.

როგორც უკვე ნახსენები იყო, პოლიპეპტიდები ცილის დამახასიათებელ რეაქციებს იძლევა. მაგრამ ცილას დამატებით ახასიათებს ისეთი თვისებებიც, რომლებსაც ჩვენ პოლიპეპტიდებში ვერ ვპოულობთ. ეს ეხება მოლეკულური წონებში განსხვავებას, ცილის დამოკიდებულებას გამხსნელთან, მარილებთან, დენატურაციის გამომწვევ აგენტებთან და, ბოლოს, რაც მთავარია, განსხვავებას ბიოლოგიურ თვისებებში. ყველაფერი ეს იმაზე მიუთითებს, რომ პოლიპეპტიდები ცილის მხოლოდ შემადგენელ კომპონენტებს წარმოადგენენ. ამგვარად, უნდა მივიღოთ, რომ ცილა აშენებულია პოლიპეპტიდური ჯაჭვებისაგან. პოლი-

პექტიდების შენებაში კი მონაწილეობას ღებულობს სხვადასხვა ამინომჟავა, რომლებიც ურთიერთკავშირდებიან მჟავამილური (პექტიდური) კავშირებით.

იბადება კითხვა, რა რაოდენობით და როგორ კავშირდება ცილის მოლეკულაში პოლიპექტიდური ჯაჭვები? სხვადასხვა მეთოდით გარკვეულია, რომ ცილის მოლეკულის სიგრძე ისეთ ოდენობას აღწევს, რომელიც საკმარისი არ არის მასში ყველა შემადგენელი ამინომჟავას მოთავსებისათვის. ეს გასაგები რომ გახდეს, მოვიტანო ასეთ მაგალითს. ჰემოგლობინის მოლეკულა უდრის 68 000.

მისი მოლეკულა ისეთი მოყვანილობისაა, რომ სიგრძე უდრის 33,5 Å (ანგსტრემი უდრის 10^{-8} სმ), ხოლო დიამეტრი 5,7 Å. რადგან ერთი ამინომჟავას ნაშ-

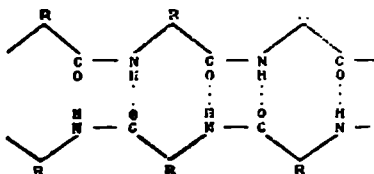
თის სიგრძე გაშლილ მდგომარეობაში 3,4 Å აღწევს, აქედან უნდა დავასკვნათ, რომ ჰემოგლობინი აშენებული უნდა იყოს 10 ამინომჟავას ნაშთებისაგან. მაგრამ, მეორე მხრივ, ცნობილია, რომ ჰემოგლობინის მოლეკულა შეიცავს 520--530 ამინომჟავას. ყველა ეს ამინომჟავა ერთ გრძელ ჯაჭვში რომ მოთავსდეს,

ძიილება 1780 Å სიგრძის მქონე პოლიპექტიდი. ეს შეუსაბამოა უნდა აიხსნას იმით, რომ ჰემოგლობინის მოლეკულა აშენებულია არა ერთი პოლიპექტიდის ჯაჭვისაგან, არამედ რამდენიმესაგან, რომლებიც ერთიმეორესთან მჭიდროდაა დალაგებული.

პოლიპექტიდური ჯაჭვის განლაგება ცილის მოლეკულაში დამოკიდებულია სუსტ მეორეულ ძალებზე, როგორცაა: წყალბადის კავშირები, გოგირდის ხიდაკები, დიპოლური ასოციაციები და ვანდერვაალსის ძალები.

როგორც აღნიშნული იყო, პექტიდური კავშირი ხორციელდება კარბოქსილისა და ამინის ჯგუფის ხარჯზე. წყალბადის ატომი, რომელიც წარმოდგენილია ამინის ჯგუფში, აქტივდება იმგვარად, რომ ის თავის ელექტრონს აზოტს გადააქვს, გარდაიქმნება პროტონად (H^+) და კარბოქსილის ნაშთის ეანგბადთან ქმნის არასაერთო ელექტრონის წყვილს.

სქემატურად ორი პოლიპექტიდური ჯაჭვის დაკავშირება წყალბადის ბმების საშუალებით ასე უნდა წარმოვიდგინოთ:



პოლიპექტიდური ჯაჭვი

წყალბადის ბმის არსებობა ცილის მოლეკულაში აღმოჩენილია სპექტრის ინტრაწითელი ნაწილის შთანთქმის შესწავლით. წყალბადის ბმის ენერჯია ათჯერ უფრო ნაკლებია იმ ბმასთან შედარებით, რომლითაც წყალბადი ქიმიურად კავშირდება აზოტთან. მაგრამ მხედველობაში უნდა მივიღოთ ის გარემოება, რომ ცილის ერთ მოლეკულაში საშუალოდ მოდის წყალბადის 150 ბმა, ხოლო ერთი ბმის ენერჯია უდრის დაახლოებით 570 კალ/მოლ. ამ რაოდენობაზე წარმოდგენა რომ ვიქონიოთ, საკმარისია მივუთითოთ, რომ პექტიდური კავშირის წარმოშობაზე იხარჯება 2000—5000 კალ/მოლ. მამასადამე, წყალბადის ბმის

ქაპური ენერგია მთელ პოლიმეტიდურ ჯაჭვზე გაანგარიშებით არც თუ ისე ციარე ოდენობისაა.

თითქმის ყოველი ცილა ბევრი თუ მცირე რაოდენობით შეიცავს გოგირდ-შემცველ ამინომჟავებს. თიო- ანუ სულფჰიდრილის ჯგუფი შეიძლება იყოს აღდგენილ —SH—და დაქანვულ —S—S— მდგომარეობაში. გოგირდის საშუალებით შესაძლებელია ერთი პოლიმეტიდური ჯაჭვი დაუკავშირდეს მეორეს, როგორც ამას ადგილი აქვს კაუჩუკის ვულკანიზაციის დროს. გოგირდის საშუალებით ხერხდება კაუჩუკის ძაფების გარდიგარდმო იმგვარად შეკერვა, რომ შეიქმნება დახლართული ბაფე მრავალ მარყუჟით. ცილის დენატურაციას დროს, რომელიც გაცხელებით გამოიწვევა, გოგირდის ხიდაკები ისპობა და პოლიმეტიდური ჯაჭვების ნაწილი თავისუფლდება.

ცილის მოლეკულის ფორმის დადგენაში, წყალბადისა და გოგირდის ბმების გარდა, დიდი მნიშვნელობა ენიჭება აგრეთვე ელექტროსტატიკურ ძალებს. როგორც უკვე ნახსენები იყო, ცილა აშენებულია პოლარული ნაერთებისაგან, დიპოლებისაგან. ელმუხტების მატარებელ დაჯგუფებათა გარკვეული რაოდენობა ცილაში თავისუფალი რჩება და ამიტომ ცილის მოლეკულა უნდა შეიცავდეს დადებითსა და უარყოფით მუხტებს. ამავე დროს, ცილის მოლეკულა იმისდა მიხედვით, თუ რომელ არეშია ის მოთავსებული, ფუნქციონირებს ან როგორც ანიონი, ან როგორც კატიონი, ე. ი. შეიცავს იონურ დაჯგუფებებსაც.

ცილის მოლეკულის ელმუხტები ძირითადად ისაზღვრება მის შენებაში ნონაწილე მონოამინოდიკარბონისა (გლუტამინის და ასპარაგინის მჟავები) და დიამინომონოკარბონის მჟავებით (ლიზინი, არგინინი, ჰისტიდინი). საქმე იმაშია, რომ ამინომჟავები პოლიმეტიდურ ჯაჭვებში კავშირდებიან კარბოქსილისა და მის მეზობლად არსებული ამინის ჯგუფებით, ხოლო კარბოქსილიდან დაშორებული ამინის ჯგუფები (ე. წ. ა-ჯგუფები) თავისუფალი რჩებიან. ცილის მოლეკულაში მყოფი გლუტამინის მჟავას თავისუფალი კარბოქსილის ჯგუფი დაიშუბტულია უარყოფითად, ხოლო ლიზინის თავისუფალი ამინის ჯგუფი — დადებითად.

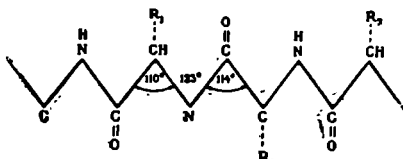
ელექტროსტატიკური მიმზიდველობის გამო როგორც იონური, ისე პოლარული ჯგუფები ერთიმეორეს უახლოვდება და ასოციაციები წარმოიშობა. გარკვეულია, რომ იონებს შორის მიმზიდველობა იცვლება r^{-2} პროპორციულად (r არის იონურ დაჯგუფებებს შორის მანძილი), ხოლო დიპოლებს შორის კავშირი იცვლება r^{-3} — r^{-6} პროპორციულად. ეს იმას ნიშნავს, რომ დიპოლთა შორის მოქმედება თვალსაჩინო ხდება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როდესაც მათ შორის მანძილი მცირეა და პოლიმეტიდური ჯაჭვები ერთიმეორესთან მჭიდროდაა განლაგებული. გამოანგარიშებულია, რომ იონური და დიპოლური კავშირების ენერგია ცილის მოლეკულაში წყალბადის კავშირებთან შედარებით მცირე ოდენობას აღწევს. მიუხედავად ამისა, მოლეკულის გეომეტრიული ფორმის დადგენაში მათ დიდი მნიშვნელობა აქვთ.

ვანდერვალსის ძალებს გარკვეული მნიშვნელობა ენიჭებათ იმ დაჯგუფებათა ურთიერთმიზიდულობაში, რომლებიც თავისუფალ მუხტებს არ ატარებენ. ეს დაჯგუფებებია ამინომჟავას ნახშირწყალბადის ჯაჭვები. მაგალითად, ამინომჟავა ლეიცინა და ვალინს ახასიათებს ნახშირწყალბადის გრძელი ნაშთი. როგორც ცნობილია, ორი სხეულის ურთიერთმიზიდულობის ძალა კლებულობს მათ შორის მანძილის კვადრატის პროპორციულად და ამიტომ ვანდერვალსის ძალები შესამჩნევ ოდენობას აღწევს მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როდესაც ამინომჟავას ნახშირწყალბადის ნაშთები ერთიმეორესთან დაახლოებულია.

ამგვარად, ცილის სტრუქტურული ერთეულები — ამინომჟავები კავშირდება პოლიპეპტიდურ ჯაჭვებში მჟავამიდური ბმებით. პოლიპეტიდური ჯაჭვები კი დამატებითი ბმების საშუალებით ქმნიან აგრეგატებს, რომელთა გეომეტრიული ფორმა დამოკიდებულია შემადგენელ ამინომჟავებზე, მათ შორის მოქმედი ძალების რაოდენობასა და მიმართულებაზე.

დამატებითი ძალების რაოდენობა, მიმართულება და სიძლიერე გარკვეულ დამოკიდებულებაშია გარემო არის თვისებებთან. ამიტომ გარემო არის თვისებების სულ მცირე ცვლილებას შეუძლია გამოიწვიოს ცილის მოლეკულის ფორმის ღრმა გარდაქმნა. ეს დამოკიდებულება კარგად არის შესწავლილი ცილის დენატურაციის შემთხვევაში.

ცილის მოლეკულის პირველადი სტრუქტურა ისაზღვრება პოლიპეტიდური ჯაჭვების შენებაში მონაწილე ამინომჟავების თანმიმდევრობით. ამინომჟავათა შორის კავშირი, როგორც ნათქვამი იყო, ხორციელდება მჟავა-ამიდური ანუ პეპტიდური ბმებით, რომლებიც უნივერსალურია ყველა ცილისათვის. მაგალითად, ფერმენტი რიბონუკლეაზა გრძელ პოლიპეტიდურ ჯაჭვს წარმოადგენს, რომლის მოლეკულური წონა 12.700 უდრის, ხოლო ამინომჟავათა ნაშთების რაოდენობა 100 აღემატება. როგორც უკვე ნახსენები იყო, ერთი ამინომჟავას კარბოქსილის ჯგუფი უკავშირდება მეორეს ამინოჯგუფს, ხოლო უკანასკნელის კარბოქსილის ჯგუფი მესამე ამინომჟავას ამინოჯგუფს და ა. შ. ეს დაკავშირება ქმნის პოლიპეტიდური ჯაჭვის ხერხემალს, ხოლო მის გარდვიარდმო მიმართულებით განლაგდება ამინომჟავათა სხვადასხვა შენების მქონე რადიკალები.



პოლიპეტიდური ჯაჭვის პირველადი სტრუქტურა

ვალენტობათა შორის კუთხეები პოლიპეტიდურ ჯაჭვში შეადგენს 110° და 114°. R₁, R₂ და R₃-თი აღნიშნულია ამინომჟავათა (გვერდითი) რადიკალები.

პოლიპეტიდები განსხვავდებიან ერთიმეორისაგან ამინომჟავათა შემადგენლობით და მათი თანმიმდევრობით. ძალიან სწორად პოლიპეტიდური ჯაჭვები ერთმანეთთან კავშირდებიან გოჯირდის გარდვიარდმო ხიდაკებით. ეს ხიდაკები იქმნებიან გოჯირდის შემცველ ამინომჟავა ცისტეინით. ერთი ცისტეინის თიო ჯგუფი (—SH) კავშირდება მეორე პოლიპეტიდურ ჯაჭვში შემავალ ცისტეინთან და იქმნება დისულფიდური ბმა (—S—S—). ცილის სტრუქტურაში წამყვანი როლი ენიჭება, პირველ ყოვლისა, მჟავამიდურ ბმას და შემდეგ — დისულფიდურს.

პოლიპეტიდური ჯაჭვი იშვიათად თუ რჩება სწორხაზოვნად, ის გარკვეულად იგრიბება და ქმნის ცილის ე. წ. მეორეულ სტრუქტურას. სწორად დაგეგმვა სპირალურია, რაც გამოწვეულია წყალბადის ბმებით. ეს ფორმა α-სპირალის კონფიგურაციის სახელწოდებას ატარებს. პოლიპეტიდური ჯაჭვის სპირალის ცალკეული ხვეული უკავშირდება მეორე ხვეულს წყალბადის ბმებით. სპირალის ხვეულები ამიტომ მკიდროდ ლაგდებიან და ქმნიან ცილის მოლე-

კელის კომპაქტურ სტრუქტურას. მასადადე, ცილის მეორეული სტრუქტურა ძირითადად დამოკიდებულია წყალბადის ბმებისაგან.

სპირალიზაცია პოლიპეტიდური ჯაჭვის გარკვეულ მანძილზე შესაძლებელია შეწყდეს. ეს ხდება იმ მონაკვეთში, სადაც წარმოდგენილია დისულფიდური კოვალენტური ბმები, პროლინისა და ზოგი სხვა ამინომჟავათა ნაშთი. ჯაჭვის სპირალური და გაშლილი ნაწილების სივრცითი ურთიერთგანლაგება იქმნება იმ ძალების მოქმედების შედეგით, რომელიც წარმოიშობა ამინომჟავათა გვერდითი რადიკალების ურთიერთმიზიდულობის შედეგად!

ცილის სივრცით კონფიგურაციას (ე. წ. მესამეულ სტრუქტურას) განაპირობებს ყველა ჩამოთვლილი ძალა: შიდამოლეკულური, კოვალენტური, დისულფიდური, წყალბადის ბმები, ელექტროსტატიკური, ვანდერვაალსისა და დიპოლებს შორის ურთიერთობა, ე. ი. საბოლოო ჯამში, პოლიპეტიდურ ჯაჭვში მონაწილე ამინომჟავები და მათი თანმიმდევრობა.

ცილის კონფიგურაციის დადგენაში დიდი როლი ეკუთვნის რენტგენოგრაფიულ ანალიზს. ჭერჭერობით შესწავლილია მიოგლობინის, ჰემოგლობინის, ლიზოციმის და ზოგი სხვა ცილის კონფიგურაცია.

უქანასკნელ დროს ყურადღებას აქცევენ აგრეთვე ცილის მეოთხეულ სტრუქტურას, რომელიც განპირობებულია ცილის ორი ანდა მეტი მოლეკულის ასოციაციის შექმნით. მეოთხეული სტრუქტურა ანიჭებს ცილას ახალ ბიოლოგიურ თვისებებს. მაგალითად, ჰემოგლობინი აშენებულია 4 სუბერთეული-საგან, რომელნიც ცალ-ცალკე აღებული არ იჩენენ მის ფუნქციურ თვისებებს; მიოზინის დაკავშირება აქტინთან იძლევა ახალი თვისებების მქონე ასოციაციას, რომელსაც წამყვანი როლი ენიჭება კუნთის შეკუმშვის პროცესში და სხვ.

ცილის მოლეკულის კონფიგურაციას და სტრუქტურას დიდი მნიშვნელობა ენიჭება მისი ბიოლოგიური თვისებების გამოვლინებაში, მაგალითად, ფერმენტულ აქტივობაში. ამინომჟავური შემადგენლობა, მათი თანამიმდევრობა (პირველადი სტრუქტურა), მეორეული, მესამეული და მეოთხეული სტრუქტურა ქმნის ცილის მოლეკულის კონფორმაციას. ცილა თავის აქტივობას ინარჩუნებს მანამდე, სანამ მას აქვს გარკვეული კონფორმაცია. ის კონფორმაცია, რომელიც საჭიროა მაქსიმალური აქტივობისათვის, იქმნება მთელ რიგ ზემოქმედებათა ზეგავლენით. მაგალითად, ცოცხალ უჯრედში ფერმენტის კონფორმაციას განაპირობებენ ჰორმონები. პირიქით, ცილის აქტივობა შეიძლება მოიხსნოს ამ კონფორმაციის შეცვლით. კონფორმაციული ცვლილების განსაზღვრისათვის მიმართავენ სხვადასხვა მეთოდებს, განსაკუთრებით ოპტიკური ბრუნვის დისპერსიას.

§ 8. ცილის მოლეკულური წონა

ცილა მაღალმოლეკულურ ნაერთს წარმოადგენს, რომლის ნაწილაკის სიდიდე ისეთ ოდენობას აღწევს, რომ მასზე უკვე არ ვრცელდება ის კანონზომიერება, რაც მიღებულია ჩვეულებრივ ნაერთებზე. რადგან ცილის მოლეკულის კონფიგურაცია, მისი აგრეგაციის ხარისხი და ზოგიერთ შემთხვევაში რეაქციულობის უნარი ადვილად იცვლება იმიტომ მიზეზით, თუ რა პირობებში იმყოფება ცილა, ანიჭომ მოლ. წონის განსაზღვრა იძლევა სულ სხვადასხვა რიცხვს. მხედველობაში მისაღებია ის გარემოება, რომ ერთსა და იმავე პირობებში წარმოდგენილია სხვადასხვა სიდიდის მოლეკულა და ჩვეულებრივად ისაზღვრება: არა ნამდვილი, არამედ საშუალო მოლეკულური წონა.

ცილის საშუალო მოლექულური წონის განსაზღვრისათვის იყენებენ მაღალ-მოლექულური ნაერთებისათვის სპეციალურად დამუშავებულ მეთოდებს, როგორცაა: წყლის ხსნარების ოსმოსური წნევა, დიფუზია და სედიმენტაცია. ამ მეთოდებიდან ყველაზე უფრო სრული მონაცემები ცილის მოლექულური წონის შესახებ მიღებულია სედიმენტაციის სიჩქარის განსაზღვრით.

სედიმენტაციის სიჩქარე გარკვეულ დამოკიდებულებაშია ნაწილაკის სიდიდისაგან. რაც უფრო მეტია ნაწილაკის სიდიდე, მით უფრო მეტი სიჩქარით ეშვება ის ქვევით. სედიმენტაციის სიჩქარის განსაზღვრისათვის სვედბერგმა ულტრაცენტრიფუგით ისარგებლა, სადაც შესაძლებელი ხდება არა მარტო მოლექულური წონების განსაზღვრა, არამედ ცილების ნარევის ფრაქციონირებაც. თანამედროვე ულტრაცენტრიფუგაში მიიღება ცენტრიდანული ძალის ველი, სადაც აჩქარება გრავიტაციის ძალას მილიონჯერ აღემატება.

ზოგიერთი ცილის მოლექულური წონა, მიღებული ულტრაცენტრიფუგის საშუალებით

ცილის დასახელება	მოწონა	ცილის დასახელება	მოწონა
კვერცხის ალბუმინი	45000	ფერმენტი ურეაზა	475000
შრატის ალბუმინი	63000	ფერმენტი პეპსინი	35000
ადამიანის კემოგლობინი	68000	ფერმენტი რიბონუკლეაზა	12700
ელესტინი	510000	თამბაქოს მოზაიკის ვირუსი	40000000

როგორც ზემოთ მოტანილი ცხრილიდან ირკვევა, სხვადასხვა ცილის მოლექულური წონა დიდ ოდენობას აღწევს. ზოგიერთი რთული ცილის წონა რამდენიმე მილიონამდე აღის. ცილების ექსპერიმენტულად ნაპოვნი მოლექულურა წონა პირობითი მაჩვენებელია. ის შეიძლება ერთ გარკვეულ ქიმიურ ინდივიდუუმს არ ეკუთვნოდეს. მაგალითად, ულტრაცენტრიფუგის საშუალებით დამტკიცდა, რომ ცილა ზეინი, შრატის გლობულინი და კაზეინი ჰომოგენური ცილა კი არ არის, არამედ ყოველი მათგანი რამდენიმე ცილის ნარევეს წარმოადგენს.

§ 10. ცილის მოლეკულის გეომეტრიული ფორმა

ელექტრონულმა მიკროსკოპიამ, რენტგენოგრაფიულმა ანალიზმა, დიფუზიის სიჩქარისა და სიბლანტის სიდიდის განსაზღვრამ შესაძლებლობა მოგვცა ვამაჩველოთ ცილის მოლექულის გეომეტრიული ფორმის შესახებ. გამორკვეულია, რომ ცილები, მათი მოლექულების ფორმის მიხედვით, შეიძლება დაიყოს ორ ჯგუფად: ფიბრილარული (ძაფისებური) და გლობულარული (სფერული) ცილები. პირველ ჯგუფს ეკუთვნის კუნთის ცილა — მიოზინი, თმის ცილა — კერატინი და აბრეშუმის ცილა — ფიბროინი. მეორე ჯგუფი აერთიანებს პროტოპლაზმატიური და ბიოლოგიური სითხეების ცილებს.

რენტგენოგრაფიული ანალიზისა და ელექტრონული მიკროსკოპიის საშუალებით დამტკიცდა, რომ პოლიპეტიდური ჯაჭვი შეიძლება იყოს α-სპირალისა და β-ფორმაში. მიოზინის, კერატინისა და სხვა ფიბრილარული ცილების β-ფორმა შეეფერება ფიბრილარული მოლექულების ისეთ მდგომარეობას, რომლის

დროს პოლიპეტიდური ჯაჭვები გაშლილ მდგომარეობაში სიგრძეზე ლაგდება. შეკუმშული ცილა კოლაგენის ძაფი ა-ფორმაში იმყოფება. ამ ცილის ა-ფორმიდან β-ფორმაში გადასვლა, და პირიქით ადვილად ხდება.

გლობულარული ცილებისათვის დამახასიათებელია სფერული, ანდა, უკეთ რომ ვთქვათ, ბრუნვის ელიფსოიდის ფორმის მოლეკულები. ცხადია, ელიფსოიდებში გრძელი ღერძის შეფარდება მოკლესთან ერთზე მეტია. გლობულარული ცილების ფორმის შესახებ შესაძლებელია ღერძების შეფარდების მიხედვით ვიმსჯელოთ.

ცილის დასახელება	ღერძების შეფარდება
შრატის ალბუმინი	6
რძის გლობულინი	4
კვერცხის ალბუმინი	5
ელესტინი	9

გლობულარულ ცილებში ღერძებს შორის შეფარდება 10-ზე ზევით არ აღის, მაშინ როდესაც ფიბრილარული ცილების β-ფორმის ღერძების შეფარდება რამდენიმე ათეულს და აქეულს აღწევს.

ცილაში შეიძლება გაიჩნეს ორგვარი დაჯგუფება. ჰიდროფილური ხასიათის დაჯგუფებებია: კარბოქსილის, ამინის, თიო, ოქსი, იმინისა და კარბონილის ჯგუფი. მეორე სახის დაჯგუფებები ცილაში ჰიდროფობური ხასიათისაა. ისინი წყალს არ იკავშირებენ. ამ დაჯგუფებებს ეკუთვნის ამინომჟეათა ნახშირბად-წყალბადის ნაშთები.

როგორც ფიბრილარულ, ისე გლობულარულ ცილებში ჰიდროფილური ჯგუფები მოლეკულის გარე შრეს ქმნიან, ხოლო ჰიდროფობური ჯგუფები მოლეკულის სიღრმეში იმალებიან. განსაკუთრებული მნიშვნელობა ამ მოვლენას ენიჭება გლობულარულ ცილებში. როგორც ნახსენები იყო, გლობულარული ცილების მოლეკულის გარე შრე წყლის ხსნარში ჰიდროფილური ჯგუფებისაგან უნდა იყოს აშენებული. მოლეკულის შიდა ფენებს ქმნის ჰიდროფობური ჯგუფები. წყლის ის მოლეკულები, რომლებიც გლობულის ზედაპირთან უფრო ახლოსაა მოთავსებული, ორიენტირდება დიპოლების ძალების მიმართულებით. ამ წყლის ჩამოშორებისათვის საჭიროა გარკვეული ენერჯის დახარჯვა. ამგვარად, წყლის შრე ხელს უწყობს ცილის გლობულების მდგომარეობას, აფერხებს ხსნარიდან მათ გამოყოფას.

წყლის მიზიდვის უნარი ფიბრილარულ ცილებშიაც მკაფიოდ არის გამოხატული. პოლარული დაჯგუფებების გარდა ამ ცილებს შეუძლიათ დაიკავშირონ პოლიპეტიდური ჯაჭვების მარყუებებში წყლის ძალიან დიდი რაოდენობა. პოლიპეტიდური ჯაჭვის კონფიგურაციის ცვლილებასთან ერთად იცვლება ცილის მიერ წყლის დაქერის უნარიც.

ამგვარად, ცილის მოლეკულის გეომეტრიული ფორმა წყალხსნარში, პირველ ყოვლისა, დამოკიდებულია პოლიპეტიდური ჯაჭვების ურთიერთგანწყობაზე. როდესაც პოლიპეტიდური ჯაჭვები სიგრძეზე განეწყობა, ჩვენ წინაშე ფიბრილარული ცილება. როდესაც პოლიპეტიდური ჯაჭვი იკეცება, წარმოიშობა გლობულარული ცილება. ცალკეული ჯაჭვების ურთიერთდაკავშირება წყალბადის ბმის, ელექტროსტატიკური, დიპოლების და ვანდერვალისის ძალების საშუალებით ხორციელდება.

პოლიპეტიდების ჯაჭვების გარდა მოლეკულის კონფიგურაცია გარკვეულ დამოკიდებულებაშია ადსორბირებული წყლის განლაგებასთან, რომლის მოლეკულები ორიენტირებულია ცილის მოლეკულაზე დიპოლური კავშირის ძალებით.

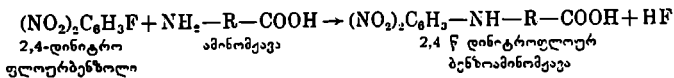
ბუნებაში გავრცელება აქვს ცილოვან ნივთიერებათა მრავალ წარმომადგენელს. მათი ურთიერთგანსხვავება, პირველ ყოვლისა, შემადგენელ ამინომჟავებზეა დამოკიდებული. პოლიპეპტიდურ ქაპეში წარმოდგენილია რამდენიმე ამინომჟავა; ეს ქაპეები, თავის მხრივ, ურთიერთაკავშირდება და ცილის რთულ მოლეკულას ქმნის. საგულისხმოა ის გარემოება, რომ ჩვეულებრივად ცილის ერთი ცალკეული პოლიპეპტიდური ქაპის ამინომჟავური შემადგენლობა შეიძლება მეორის მსგავსი არ იყოს. ამიტომ ცილების განსაზღვრება ისაზღვრება ქაპის შემადგენლობით. ხშირად ცილა წარმოადგენს სხვადასხვა შემადგენლობის მქონე ქაპეების დაკავშირების პროდუქტს. ამიტომ საჭირო ხდება ცილის ან მარტო საერთო ამინომჟავური შემადგენლობის გარკვევა, არამედ ცალკეული შემადგენელი ქაპეებისაც.

ცილის სტრუქტურის დადგენის მეორე დიდი სიძნელე იმაში მდგომარეობს, რომ ჩვენ არ ვიცით ქაპეში ამინომჟავების მორიგეობა, არ ვიცით, თუ რომელ ამინომჟავას რომელი მოსდევს.

ცილის ამინომჟავური შემადგენლობის დადგენაში უაღრესად დიდი როლი მიუძღვის ქრომატოგრაფიისა და ელექტროფორეზის მეთოდებს. შესაძლებელი გახდა გარკვეულიყო არა მარტო ის, თუ რომელი ამინომჟავა და რა რაოდენობით არის წარმოდგენილი ცილაში, არამედ შესაფერი ნაბიჯები გადაიდგა იმისათვის, რომ ქაპეში ამინომჟავათა განლაგება გარკვეულიყო. ამინომჟავათა განლაგების წესის შესახებ უკანასკნელ დროს მიღებულია ზოგიერთი შედეგები შედარებით მარტივი შენების მქონე ცილების შემთხვევაში.

პოლიპეპტიდურ ქაპეში ამინომჟავათა თანმიმდევრობის გარკვევის მიზნით, პირველ ყოვლისა, ისაზღვრება ის ამინომჟავები, რომელნიც ქაპის დასაწყისში და ბოლოშია მოთავსებული — კიდური (ტერმინალური) ამინომჟავები.

მათი გარკვევა დამყარებულია იმაზე, რომ ტერმინალურ ამინომჟავას ამინისა ან კარბოქსილის ჯგუფი თავისუფალია. ამინომჟავა თავისუფალი ამინის ჯგუფით იბოკება 2.4 დინიტროფლუორბენზოლით, ცილის მომდევნო ჰიდროლიზის შემდეგ ნაწარმის გამოცალკეება და იდენტიფიკაცია უკვე სიძნელეს არ წარმოადგენს.



მეორე ტერმინალური ამინომჟავა, რომლის კარბოქსილის ჯგუფია თავისუფალი, პოლიპეპტიდური ქაპისაგან ჩამოსცილდება ფერმენტ კარბოქსიპეპტიდაზის ხანმოკლე მოქმედებით. განთავისუფლებული ამინომჟავას რაობა ისაზღვრება ჩვეულებრივი წესით.

ცილის ტერმინალური ამინომჟავათა იდენტიფიკაციის შემდეგ წარმოებს პოლიპეპტიდური ქაპის ნარჩენის ფერმენტოლიზი სხვადასხვა პროტეაზებით. მიიღება პეპტიდების ფრაგმენტები, სადაც თანმიმდევრობით ისაზღვრება ამინომჟავური შემადგენლობა, ტერმინალური ამინომჟავები და მათი თანმიმდევრობა. კვლევის შემდეგი ეტაპი მდგომარეობს დისულფიდური ხიდაკების ლოკალიზაციის გარკვევაში.

ცილების ამინომჟავური თანმიმდევრობის დადგენა დაკავშირებულია დიდი სიძნელეების დაძლევისთან. ამიტომ ჯერჯერობით შესწავლილია მხოლოდ რამ-

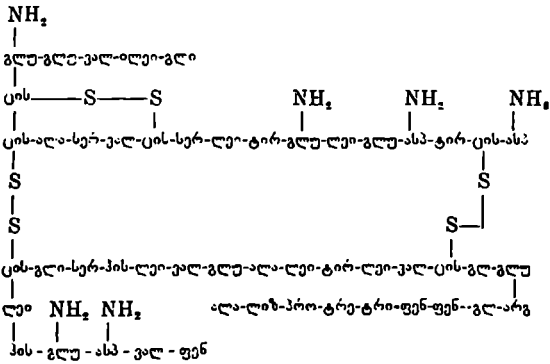
დენიშე ცილა. მათ რიცხვს ეკუთვნის: ინსულინი, რიბონუკლეაზა, თამბაკოს მოზაიკის ვირუსის ცილა, პეპსინი, ტრიპსინი, ქემოტრიპსინი, პაპაინი, მიოგლობინი, ჰემოგლობინი, პეპტიდები-ჰორმონები; ზოგიერთი პროტამინი. მაგალითისათვის ქვემოთ მოტანილია ის შედეგები, რაც მიღებულია ცილა ჰორმონის — ინსულინის შესწავლისას.

ინსულინის შემთხვევაში გარკვეულია, რომ ის აშენებულია 51 ამინომჟავასაგან. მისი მოლეკულა უდრის 6 000-ს. მის შენებაში მონაწილეობას ღებულვობს 2 პოლიპეტიდი, რომლებიც ურთიერთდაკავშირებულია ცისტეინის გოჯირდის ხიდაკებით. ერთი პოლიპეტიდური ჯაჭვის ბოლოებში მოთავსებულია ასპარაგინი და გლიკოკალი, ხოლო მეორე ბოლოვდება ფენილალანინით და გლიკოკალით.

ინსულინის მოლეკულაში წარმოდგენილია 16 სხვადასხვა ამინომჟავა, რომლებიც ზოგიერთი გამონაყლისის გარდა რამდენჯერმე მეორდება:

ამინომჟავა	განმეორება	ამინომჟავა	განმეორება
გლიკოკალი — გლ	4	ტიროზინი — ტირ	4
იზოლეუცინი — ილეი	1	ასპარაგინის მჟავა — ასპ	3
ვალინი — ვალ	5	ფენილალანინი — ფენ	9
გლუტამინის მჟავა — გლუ	7	ჰისტიდინი — ჰის	2
ციტეინი — ცის	6	არგინინი — არგ	1
ალანინი — ალა	3	ტრეონინი — ტრე	1
სერინი — სერ	3	პროლინი — პრო	1
ლეიცინი — ლეი	6	ლიზინი — ლიზ	1

ზემოთ ჩამოთვლილი 51 ამინომჟავა, სენგერის მიხედვით, დალაგებულია ინსულინის მოლეკულაში შემდეგი თანმიმდევრობით:



როგორც ნახსენები იყო, ინსულინის გარდა დღეისათვის ცნობილია აგრეთვე ზოგიერთი შედარებით მარტივი აღნაგობის ცილების პოლიპეტიდური ჯაჭვში ამინომჟავათა მორიგეობა. ცილების ამ ჯგუფს ეკუთვნის თევზის სპერმის

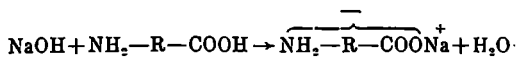
	კვერცხის ალბუმინი	მიოზინი	კაზეინი	ელესტინი	ზეინი
ალანინი	75	73	36	48	116
ვალინი	39	22	51	41	30
ლეიცინი	121	119	120	92	171
იზოლეიცინი					
პროლინი	28	16	92	31	91
ფენილალანინი	45	16	39	36	36
სერინი	77	57	56	60	67
ტრეონინი	34	41	38	32	29
თიროზინი	22	19	35	24	29
ოქსიპროლინი	0	0	17	—	—
ტრიპტოფანი	13	4	13	7	1
ლისტეინი	13	12	3	12	7
მეთიონინი	35	23	23	16	16
ამინომჟავათა საერთო რაოდენობა	805	745	829	812	830

ზემოთ მოტანილ ცხრილში საყურადღებოა ის ფაქტი, რომ მეტი რაოდენობით ცილაში წარმოდგენილია მონოამინობიკარბონის მჟავები.

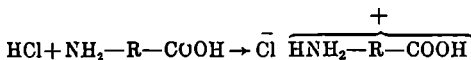
§ 12. ცილა როგორც კოლოიდი

მოლეკულის სიდიდის გამო ცილა ყოველთვის კოლოიდურ ხსნარს იძლევა, მაშინაც კი, როდესაც ის მოლეკულური დისპერსიის სახით არის წარმოდგენილი. ცილის ნაწილაკის (მიცელას) ტაბილობა ხსნარში დამოკიდებულია უმთავრესად მის კავშირზე დისპერსულ არესთან — წყალთან. ყველა აგენტი, რომელიც ამ კავშირზე მოქმედებს, იწვევს ცილის ხსნარების ფიზიკური მდგომარეობის ცვლილებას.

მეორე ფაქტორი, რომელსაც დიდი გავლენა აქვს ცილის ხსნარის ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებებზე, არის ნაწილაკის ელექტრული მუხტი. ცილა აშენებულია ისეთი სტრუქტურული ელემენტებისაგან, რომლებსაც ამფოტერული ბუნება აქვთ. ცილის მოლეკულაში ეს თვისება შენარჩუნებულია. იმისდა მიხედვით, თუ წყალბად-იონთა როგორი კონცენტრაციის მქონეა დისპერსული არე, იცვლება აგრეთვე ცილის მოლეკულის მუხტის ნიშანიც. მაგალითად, ტუტე არეში ცილის ნაწილაკი დამუხტული იქნება უარყოფითად:



ხოლო მევე არეში ნაწილაკი იმუხტება დადებითად:



შეიძლება არეში შევქმნათ წყალბად-იონთა ისეთი კონცენტრაცია, როდესაც ცილის ნაწილაკს უარყოფითი და დადებითი მუხტები თანაბარი რაოდენო-

ბით ექნება; წყალბად-იონთა ამ კონცენტრაციას ეწოდება ცილის იზოელექტრული წერტილი. სხვადასხვა ცილას ახასიათებს შემდეგი იზოელექტრული წერტილები:

ცილის ნაწილაკი იზოელექტრულ წერტილში იმყოფება არასტაბილურ მდგომარეობაში, რადგან ის შეიცავს დადებითი და უარყოფითი მუხტების თანაბარ რაოდენობას. ამიტომ, როდესაც სურთ ცილის ხსნარიდან გამოყოფა, უმჯობესია ხსნარი დაიყვანონ

პროტეინი	pH	პროტეინი	pH
გლიადინი	4,2	ოქსი-ჰემოგლობინი	6,7
ველატინი	4,7	შრატის ალბუმინი	4,7
კაზეინი	4,7	შრატის გლობულინი	5,4
მიოზინი	6,4	ელესტინი	6,7

იზოელექტრულ წერტილამდე. ამ დროს ცილა განიცდის უმცირეს ჰიდრატაციას, აქვს უმცირესი სიბლანტე და უფრო მგრძობიარეა ისეთი აგენტებისადმი, რომლებიც მას წყალს ართმევენ, მაგალითად, სპირტისა და აცეტონის მიმართ.

როგორც ყოველივე კოლოიდი, ცილა ელექტროლიტებისადმი მეტად მგრძობიარეა. ელექტროლიტის მიმატებისას ცილის ნაწილაკმა შეიძლება დაკარგოს ელექტრული მუხტი, მაგრამ ხსნარიდან ის არ გამოიყოფა, სანამ მისი კავშირი წყალთან არ შესუსტდება. მაშასადამე, ელექტროლიტების მიმატებით ცილა განიცდის კოაგულაციას უფრო იოლად, როდესაც ის დაყვანილი იქნება იზოელექტრულ წერტილამდე. მისი კავშირი გამხსნელთან შესუსტდება და ნაწილაკი დაკარგავს გამხსნელის უმეტეს ნაწილს. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ ცილის ჰიდროფილური ნაწილაკი გარდაიქმნება ჰიდროფობურ ნაწილაკად. ამ მიზნის მისაღწევად საჭიროა ან ისეთი ნივთიერების მიმატება, რომლის წყალთან კავშირი უფრო მეტი იქნება, ვიდრე ცილის, ან ისეთი პირობების შექმნა, რომლის დროს ცილის ჰიდროფილურ ნაწილს ირგვლივ ჰიდროფობური გარსი შემოეკვრება. ჰირველი შემთხვევის მაგალითს წარმოადგენს ცილის დალექვა სპირტის ან აცეტონის საშუალებით.

სპირტი და აცეტონი, როგორც ძლიერი ჰიდროფილური ნივთიერებებზე, ცილის ნაწილს წყალს ართმევენ. ასეთ ნარევეში ელექტროლიტის მიმატებისას ცილა ზედმეტ ელექტრომუხტს კარგავს და კოაგულაციას ადვილად განიცდის. ჰიდროფობური გარსის შესაქმნელად საჭიროა ისეთი ნივთიერების მიმატება, რომელსაც პოლარული შენების მოლეკულები აქვს; ცილის ნაწილაკის ჰიდროფილური მოლეკულების ჯგუფები ამ შემთხვევაში ორიენტირებული იქნებიან გამხსნელისაკენ. ჰიდროფობური ჯგუფების საწინააღმდეგო მიმართულებას გამო ჰიდროფილური ნაწილაკის ირგვლივ შეიქმნება ჰიდროფობური გარსი და კოლოიდი გადავა არასტაბილურ მდგომარეობაში.

ჰოფმისტერმა შეისწავლა სხვადასხვა ანიონისა და კათიონის გავლენა კვერცხის ალბუმინის ხსნარის კოაგულაციაზე; მან ანიონები ისეთ რიგში დაალაგა, სადაც ყოველი წინამორბედი წევრის ზემოქმედება მომდევნოზე უფრო ძლიერია:

პოფმისტერიის ანიონების რიგი: ციტრატი > ტარტრატი > სულფატი > აცეტატი > ქლორიდი > ნიტრატი > იოდიდი > როდანიდი.

პოფმისტერიის კათიონების რიგი: ლითიუმი > ნატრიუმი > კალიუმი > ამონიუმის იონი.

იმ შემთხვევაში, როდესაც ცილის ნაწილაკი უარყოფითადაა დამუხტული, მასზე მოქმედებას იჩენს კათიონები იმ თანმიმდევრობით, რომელიც მოტანილია

ბოფემისტერის რიგში. დადებითად დამუხტულ ცილის ნაწილაკზე მოქმედებს უარყოფითად დამუხტული ანიონები და იწვევს მის განმუხტვას. ამ მოვლენისაგან განირჩევა ცილის კოაგულაცია, გამოწვეული მარილის მიმატებით, რომელსაც გამომარილება ეწოდება. გამომარილება არის ცილის ხსნარის დეჰიდრატაცია — წყლის წართმევა. რაც უფრო პიღროფილურია მარილი, მით უფრო ბეტი სიძლიერით წარმოებს წყლის წართმევა; ხსნადობის შემცირების გამო ცილა ხსნარიდან ილექება.

გამომარილების პრინციპზეა აგებული ცილის პრეპარატების დამზადება. უჯრედში და ბიოლოგიურ სითხეებში ყოველთვის გვაქვს ცილოვან ნივთიერებათა ნარევი. როდესაც სურთ ამ ნარევიში ცილების ერთიმეორისაგან გამოცალკეება, ხსნარს მარილს უმატებენ. მარილის განსაზღვრული კონცენტრაციის მიღწევისას ერთ-ერთი ცილა იწყებს დალექვას. ეს არის გამომარილების ქვედა საზღვარი. მარილის კონცენტრაციის შემდეგი გადიდებისას ცილის ნალექი ძატულდება და ბოლოს დალექვა წყდება; ამით ვალწვეთ გამომარილების ზედა საზღვარს. თუ ხსნარი მეორე ცილასაც შეიცავს, მარილის ხელახალი მიმატებით აკრთვე მეორე ცილაც დაიწყებს დალექვას. გამომარილება შექცევად პროცესს წარმოადგენს, რადგან მარილის მოშორებისას ცილა ისევ ხსნარში გადადის. გამომარილები ათვის ხმარობენ:



ზოგიერთი ცილის ხსნარები გაცხელებისას განიცდის არაუქუქცევად კოაგულაციას, რის შედეგად ცილა დენატურირდება, შაგალითად, კვერცხის ალბუმინი. ამ დროს ცილა მაკრომოლეკულაში ხდება ფიზიკური და ქიმიური ხასიათის ცვლილებები. არსებობს ცილის დენატურაციის მრავალგვარი სახე იმისა და მიხედვით, თუ რომელი აგენტი იწვევს დენატურაციას: რადიოგამოსხივება, ულტრაინფრარე სხივები, ულტრაბგერები, პოლარული ნაერთები, წყალბადონთან კონცენტრაციის ცვლილება და სხვ. ყველა ზემოხსენებული აგენტის ზემოქმედებისას ცილა კარგავს პირვანდელი ხსნადობის უნარს და კატალიზურ აქტივობას. ცილის დენატურაცია თან სდევს იმ სუსტი ბმების მოსპობას, რომლებიც გარკვეულ როლს ასრულებენ პოლიპეტიდური ჯაჭვების მეორეული და მესამეული სტრუქტურის შექმნაში.

იმისა და მიხედვით. თუ რომელი აგენტი მოქმედებს, რა ხანგრძლიობითა და რა ინტენსივობით, ცილის სტრუქტურული ცვლილებები სხვადასხვა რაოდენობას აღწევს. გარკვეული მნიშვნელობა აქვს აგრეთვე თბიქტს, რაზედაც დენატურაციის გამოწვევი აგენტი მოქმედებს. რაც უფრო რთული შენების არის ცილა, მით უფრო დრმა ცვლილებები გამოიწვევა მასში დენატურაციის დროს.

გლობულარულ ცილებში დენატურაციის დროს ადგილი აქვს პოლიპეტიდური ჯაჭვების გაშლას. შედეგად ის დაჭგუფებები, რომლებიც დენატურაციამდე გარეშე ზემოქმედებისაგან დაცული იყო, ახლა შიშვლდებიან. ამის გამო დენატურირებული ცილის რეაქციის უნარი, ნატივურ ცილასთან შედარებით. მატულობს. ეს პირველად დადასტურებული იყო რეაქციით სულფჰიდრილის ჯგუფებზე. დენატურირებულ ცილას ახასიათებს ადსორბციის უნარის ზრდა ბთელი რიგი ნაერთების მიმართ. ამ მოვლენით უნდა აიხსნას ჯაღბავეების დაქროს უნარის მატება მკვლარი პროტოპლაზმის მიერ.

დენატურაციის დროს სუსტი ბმები ირღვევა და შეიძლება წარმოშვას ახა-

ლი ხიდაკები. ეს ხელს უწყობს წყალში უხსნადი აგრეგატების წარმოშობას და დენატურირებული ცილების შედედებას.

უკანაპენელ დროს დიდ ყურადღებას იპყრობს ცილების ხსნარების თვისებებზე სხივური ენერჯის გავლენა. რადიოგამოაჩივება, რენტგენის და ულტრა-აისფერი სხივები ცილის მოლეკულის სტრუქტურის ღრმა ცვლილებებს იწვევენ. ფიზიკური ხასიათის ცვლილებები დაკავშირებულია ცილის მაკრომოლეკულის დენაგრეგაციასთან. ქიმიური ხასიათის ცვლილებები გამოწვეულია სხივური ენერჯის შთანთქმით.

საწინააღმდეგო ნიშნის მქონე იონის მიზიდვის გამო იცვლება ცილის ელექტროქიმიური თვისებები, რის შედეგად ადგილი აქვს ცილის იზო-ელექტრული წერტილის ან მატებას, ან შემცირებას იმისდა მიხედვით, თუ რომელი იონის — ანიონის თუ კატიონის შერჩევით შთანთქმას ჰქონდა ადგილი. ფოსფატ-იონის შემთხვევაში ადგილი აქვს იზოელექტრული წერტილის გაზრდას, კალციუმის იონი კი მის შემცირებას იწვევს.

ელექტროსტატიკურ მიზიდულობას ადგილი აქვს არა მარტო დამატებული ელექტროლიტის მიმართ. თვით ცილის მოლეკულები ელექტროსტატიკურად კავსაობდება ერთიმეორესთან და იქმნება აგრეგატი. დაკავშირება წარმოებს საწინააღმდეგო ნიშნის მქონე დაჯგუფებებით.

განსაკუთრებულ ინტერესს იწვევს ცილის დაკავშირება სხვა ორგანულ ნაერთებთან. ეს დაკავშირება შეიძლება იყოს როგორც ელექტროსტატიკური. ისე მოლეკულთაშორისო (ვანდერვაალსის) ძალებით. მიიღება კომპლექსი, რომლის ერთი ნაწილი ცილოვანი ნივთიერებაა, ხოლო მეორე არაცილოვანი. ელექტროსტატიკური ბმა შეიძლება წარმოებდეს იონიზირებულ დაჯგუფებებს შორის (იონური კავშირი) და პოლარულ, მაგრამ არაიონიზირებულ დაჯგუფებებს შორისაც (დიპოლური კავშირი). ამ დაკავშირებათა ჯგუფს ეკუთვნის წყალბადის ბმაც. თუ დიპოლები ერთიმეორესთან ახლოსაა, მათ შორის მოქმედი ძალა უახლოვდება იმ ოდენობას, რაც იონთა შორის მოქმედების დროს არსებობს. მაგრამ თუ დიპოლები ერთიმეორეს დასცილდა, მაშინ მათ შორის მოქმედი ძალა შესამჩნევად მცირდება. ამიტომ ტემპერატურის მომატება ნაკლებ გავლენას ახდენს იონთაშორის მოქმედ ძალაზე და ძალიან ამცირებს დიპოლთაშორის მოქმედების ძალას. მიუხედავად ამისა, ბევრ შემთხვევაში დიპოლურ კავშირებს, მათი სიმრავლის გამო, უფრო მეტი მნიშვნელობა ენიჭებათ.

მესამე სახის კავშირი, რომელიც ცილის მოლეკულებს შორის მონაწილეობს, გაპირობებულია მოლეკულების არაპოლარულ ჯგუფებს შორის ურთიერთობით. ამ ურთიერთქმედების ენერჯია გაცილებით უფრო მცირეა, ვიდრე იონური და დიპოლური ბმის ენერჯია. მაგრამ მათ დიდი მნიშვნელობა ენიჭებათ იმ შემთხვევაში, როდესაც ადგილი აქვს გრძელი ჯაჭვების ურთიერთმოქმედებას, მაგალითად, ცხიმოვანი მჟავების შემთხვევაში. გრძელ ჯაჭვებს დეფორმირების უნარი აქვთ და ამით ადვილდება ნახშირწყალბადების ნაშთების მიახლოება ცილის შესატყვის დაჯგუფებებთან. როდესაც ლიპიდი ცილას უკავშირდება, არაპოლარულ ურთიერთქმედებას დიდი მნიშვნელობა ენიჭება.

ცილების რეაქცია ნუკლეინის მჟავებთან, ნახშირწყლებთან, ორგანულ ფუძეებთან ძირითადად ელექტროსტატიკური ხასიათისაა. მაგრამ ამასთანავე ამ ნაერთების ნახშირწყალბადების ნაშთებს ცილის არაპოლარულ დაჯგუფებებთან დაკავშირებაში გარკვეული მნიშვნელობა უნდა ენიჭებოდეს.

ცილის დაშლის უკანასკნელი პროდუქტი ამინომჟავებია. მაგრამ სანამდე ჰიდროლიზი ამინომჟავამდე დავიღოდეს, მიიღება შუალედი პროდუქტების მთელი რიგი: ჯერ მაღალმოლეკულური პოლიპეპტიდები და შემდეგ დაბალმოლეკულური და ტრიპეპტიდები. ფერმენტული ჰიდროლიზიც საფეხურებით წარმოებს. ცნობილია ფერმენტები, რომლებიც პოლიპეპტიდურ ჯაჭვში სხვადასხვა ამინომჟავას დაკავშირებაზე სპეციფიკურად მოქმედებს. პეპსინის მოქმედებისას ცილები პეპტონებად იშლება. პეპტონები თავისი თვისებებით პოლიპეპტიდებს უახლოვდებიან.

ცილის ჰიდროლიზური დაშლა მჟავების გავლენით რამდენიმე ათეული საათის განმავლობაში წარმოებს და ისიც შედარებით მაღალ ტემპერატურაზე. ამის გამო მჟავები მოქმედებენ არა მარტო იმ კავშირების მიმართ, რომელთა მოუხებით ამინომჟავები ერთიმეორესთან არიან დაკავშირებული ცილის მოლეკულაში; ჰიდროლიზურ დაშლას თან სდევს აგრეთვე ზოგი ამინომჟავას მერრადი გარდაქმნები (ამილის ჯგუფის ჩამოშორება ამონიაკის სახით, ანჰიდრიდების წარმოშობა და სხვ.).

ჰიდროლიზის სისრულის კრიტერიუმად მიჩნეულია ბიურეტის უარყოფითი რეაქცია, ხოლო ჰიდროლიზის ხარისხის განსაზღვრისათვის მიმართავენ ვ ა ნ ს ლ ა ი კ ის მეთოდს, რომლითაც თავისუფალი ამინის ჯგუფების მატება ისაზღვრება.

ვინაიდან ამინომჟავებს შორის კავშირი α-ამინოჯგუფებისა და კარბოქსილის ჯგუფებით ხორციელდება, მონოამინოდიკარბონმჟავას თავისუფალი რჩება ერთი კარბოქსილი, ხოლო დიამინომონოკარბონმჟავას—ერთი ამინოჯგუფი. ამიტომ ცილას ახასიათებს როგორც მჟავას, ისე ფუძის თვისებები. იმ შემთხვევაში, როდესაც მოლეკულაში თავისუფალი კარბოქსილის ჯგუფები ამინისას სკარბობენ, ცილა სუსტი მჟავას ფუნქციის მატარებელია. ცილის ამგვარ მაგალითს წარმოადგენს კაზეინი. კაზეინი ადვილად იხსნება ტუტის ხსნარებში და იძლევა ნატრიუმისა და კალიუმის კაზეინატებს. მეორე მხრივ, თუ ცილის მოლეკულაში თავისუფალი ამინის ჯგუფები სკარბობენ, მაშინ ცილას ფუძის ხასიათი უფრო გამოვლენებული აქვს, მაგალითად, პროტამინებისა და ჰისტონების შემთხვევაში. ცილის მოლეკულაში თავისუფალი კარბოქსილის ჯგუფების წყარო არის გლუტამინისა და ასპარაგინის მჟავები, ხოლო თავისუფალი ამინის ჯგუფების—დიამინომჟავები (ლიზინი, არგინინი და ჰისტიდინი).

მაშაადამე, ცილას მარილების მოცემის უნარი აქვს ისევე, როგორც ამინომჟავებს. ცილას თავისი თავისუფალი ამინის ჯგუფის საშუალებით შეუძლია დაუკავშირდეს მთელ რიგ ორგანულ და მინერალურ მჟავებს და ზოგიერთ შემთხვევაში მოგვეცეს მარილები ნალექის სახით. მაგალითად, წყალში უხსნადი მარილები მიიღება ტანინის, ტრიქლორმმრის, მეტაფოსფორის, ვოლფრამის, ფოსფოროლფრამის, მოლიბდენის, პიკრინისა და სულფოსალიცილის მჟავების ზემოქმედებით. ცილის რაოდენობით დალექვისათვის შესაძლებელია მიემართოთ მძიმე მეტალების მარილებსაც. მაგალითად, ვერცხლისწყალი, ბისმუტი, სპილენძი და ტყვია დიდი რაოდენობით ლექვენ ცილას განსაზღვრულ პირობებში. ეს ნალექი უნდა წარმოვიდგინოთ როგორც მეტალის შეერთება ცილის კარბოქსილთან.

ცილის მნიშვნელოვან დამახასიათებელ თვისებად უნდა ჩაითვალოს აგრეთვე ცილის ხსნარის ფერადი რეაქციები. ამ რეაქციების საშუალებით შესაძლე-

ბელია სხვადასხვა ობიექტში ცილის არსებობის დამტკიცება. ვინაიდან ცილის ფერადი რეაქცია, პირველ ყოვლისა, დამოკიდებულია მასში შემავალ ამინომჟავებზე, ამ რეაქციებში საშუალებით ჩვენ ვსაზღვრავთ ამა თუ იმ ამინომჟავას არსებობას. იმ შემთხვევაში, როდესაც რომელიმე ამინომჟავა არ არის წარმოდგენილი ცილაში, მაშინ ცილაზე დამახასიათებელი რეაქცია უარყოფით შედეგს იძლევა. მაგალითად, ეგრეთ წოდებული მილონის რეაქცია იმაში მდგომარეობს, რომ ცილის ხსნარის ადუღებისას ვერცხლისწყლის ჟანგისა და ქვეყანგის მარილის ხსნართან აზოტის მჟავაში მიიღება ალუბლისფერი. ეს რეაქცია დამახასიათებელია ამინომჟავა ტიროზინისათვის. ცილა, რომელიც ტიროზინს არ შეიცავს, მილონის რეაქციას არ იძლევა.

დიდი მნიშვნელობა მიენიჭა ამინომჟავას რეაქციას ნინჰიდრანთან. უკანასკნელ დროს ამ რეაქციას მიმართავენ ცილის ჰიდროლიზატის ქრომატოგრაფიის შემდეგ გამოცალკეებულ ამინომჟავათა იდენტიფიკაციისათვის და რაოდენობითი განსაზღვრისათვის.

საკუთრივ ცილისათვის დამახასიათებელია ბიურეტის რეაქცია. ეს რეაქცია დამყარებულია ცილის მოლეკულაში არსებულ ისეთ კავშირზე, რომელიც იმავე დროს ბიურეტშიც არის წარმოდგენილი, სახელდობრ, მჟავა-ამიდური კავშირი —CO—NH—. ბიურეტის რეაქციის ჩასატარებლად საჭიროა ცილის ხსნარს დაუმატოთ სპილენძის სულფატი და შემდეგ ტუტის ზედმეტი რაოდენობა. სითხე იისფრად იღებება. იმ შემთხვევაში, როდესაც ცილამ ჰიდროლიზური დაშლა განიცადა და ზემოხსენებული კავშირი დაშლის პროდუქტებში უკვე წარმოდგენილი არ არის, ბიურეტის რეაქცია უარყოფით შედეგს იძლევა. ვინაიდან მჟავა-ამიდურ კავშირს ყოველი ცილა შეიცავს, ამისათვის ბიურეტის რეაქცია დამახასიათებელია ყველა ცილისათვის და მას რაოდენობითი განსაზღვრისათვის იყენებენ. ფართო გამოყენება აქვს აგრეთვე ლოურის მეთოდს, რომლის საფუძველს წარმოადგენს ფერადი რეაქცია ეოლფრამსა და არომატულ ამინომჟავას შორის.

§ 14. ცილის სარეაქციო უნარი

საჭიროა ცალკე განვიხილოთ ცილის ის რეაქციები, რომლებიც საფუძვლად უდევს მის ქცევას ცოცხალ სისტემებში.

ამინომჟავები ცილაში ურთიერთკავშირდება მჟავა-ამიდური კავშირით, ე. ი. იმ ჯგუფებით, რომლებიც ამინომჟავას ამფოტერულ ბუნებას ანიჭებს. ცილაში ამ ჯგუფების რეაქციის უნარი წყალბადის ბმების წარმოშობაში ელანდება. გარდა ამისა, ცილის მოლეკულის რეაქციის უნარი დამოკიდებულია ამინომჟავებში კიდევ დამატებით არსებულ დაჯგუფებებზე. ამ დაჯგუფებებს ამინომჟავათა გვერდითი ჯაჭვები წარმოადგენს. ამ თვალსაზრისით ყველა ამინომჟავა შეიძლება დაიყოს შემდეგ ოთხ ჯგუფად:

1. ამინომჟავები არაპოლარული გვერდითი ჯაჭვით (გლიკოკოლი, ალანინი, ვალინი, ლეიცილი, იზოლეიცილი, პროლინი, ფენილალანინი, ცისტეინი, მეთიონინი, ტრიპტოფანი).
2. ამინომჟავები, რომელთა გვერდითი ჯაჭვი დისოცირდება როგორც მჟავა (გლუტამინისა და ასპარაგინის მჟავები).
3. ამინომჟავები, რომელთა გვერდითი ჯაჭვი დისოცირდება როგორც ფუძე (არგინინი, ჰისტიდინი, ლიზინი).

4. ამინომჟავები პოლარული, მაგრამ არაიონიზირებული გვერდითი ჯაჭვებით (ცისტეინი, სერინი, ტრეონინი, ტიროზინი, ასპარაგინი, გლუტამინი).

ამინომჟავების ზემოხსენებული ფუნქციური ჯგუფები ცილაში თავისუფალ მდგომარეობაშია და მათი საშუალებით ცილა სხვა ნაერთებთან რეაგირებს. იზოელექტრული ცილა ელექტრულ ველში არ მოძრაობს. ეს იქიდან გამომდინარეობს, რომ ცილა ჩვენ უნდა წარმოვიდგინოთ როგორც დიდი დიპოლი. მკვვე არეში ის გადაადგილდება კათოდისაკენ, ხოლო ტუტე არეში — ანოდისაკენ. ეს იმაზეა დამოკიდებული. რომ მკვვე არეში ცილა ანთავისუფლებს პროტონს, ხოლო ტუტე არეში ის იძენს პროტონს. ეს იმის მიზეზია, რომ წყალბად-იონთა კონცენტრაციის შეცვლა ძალიან დიდ გავლენას ახდენს ცილის ფიზიკურ-ქიმიურ მდგომარეობაზე.

წყალბად-იონთა გარდა ცილა ადვილად რეაგირებს სხვა იონებთან, კერძოდ, კალიუმის, კალციუმის, მაგნიუმის და ფოსფატის. ერთვალენტოვანი იონები (კალიუმი, ნატრიუმი, ქლორი) ცილასთან გაცილებით უფრო ნაკლებ მჭიდროდ კავშირდება, ვიდრე ორვალენტოვანი იონები. უკანასკნელ შემთხვევაში კავშირი იმდენად მჭიდროა, რომ დიალიზითა და ელექტროფორეზით მათი ჩამოცილება ვერ ხერხდება. ეს გარემოება მრავალვალენტოვანი იონების შედარებით დიდი ელექტროსტატიკური მიმზიდველობით აიხსნება.

§ 15. იმუნური რეაქცია

იმუნიტეტის მოვლენას საფუძვლად უდევს სისხლის შრატის ცილების გარკვეული ფრაქციის რეაგირების უნარი ორგანიზმში გარედან შემოსული ზოგი უცხო აგენტის მიმართ. დიდი ხანი ცნობილია, რომ თუ ორგანიზმში შემოიჭრა მისთვის უცხო ნივთიერება, უჯრედების, ცილების ანდა ტოქსინების სახით, სისხლში ჩნდება გარკვეული შენების მქონე ცილა, რომელსაც მინიჭებული აქვს უნარი გააბათილოს მათი უარყოფითი ზემოქმედება. უცხო ნივთიერებას, რომელსაც შეუძლია ეს ძვრები გამოიწვიოს ორგანიზმში, ეწოდება ანტიგენი, ხოლო იმ ცილას, რომელიც იქმნება სისხლში მის საწინააღმდეგოდ — ანტისხეული. საკულისხმოა ის ფაქტი, რომ ანტისხეულის წინთების უნარს ორგანიზმში ინარჩუნება ანტიგენის მოცილების შემდეგაც და ამიტომ ორგანიზმში იმუნური რჩება, ე. ი. ანტიგენის ხელშეორედ შეჭრის შემთხვევაში ის უკვე არსებული ანტისხეულის საშუალებით ნეიტრალდება.

ანტისხეული სისხლის პროდუქტს წარმოადგენს, ის ცილოვანი ბუნების არის და იმყოფება შრატის ცილების გამა-გლობულინების ფრაქციაში. ანტისხეულები, იმისდა მიხედვით, თუ რა ბუნებისა არის ანტიგენი, სხვადასხვა თვისებების და შენების ცილებს წარმოადგენენ. შთი მოლწონა იცლება 160.000—320.000 ფარგლებში. მათ შორის არჩევენ ლიზინებს (აქვთ უცხო უჯრედის ლიზინის, დაშლის უნარი), აგლუტინინებს (აქვთ უცხო უჯრედების ურთიერთშერთების უნარი), ანტიტოქსინებს (ანეიტრალვებენ ტოქსინებს), პრეციპიტინებს (ლექავენ ცილას) და სხვ. ცალკე უნდა აღინიშნოს ცილოვანი ბუნების კომპლექსი — პროპერდინი, რომელიც ინაქტივირებს ვირუსებს და სპობს ბაქტერიებს. პროპერდინი რთული კომპლექსია, რომელიც შეიცავს ცილის გარდა ლიპიდებს და პოლისაქარიდებს. მისი მოლწონა დაახლოებით ერთ მილიონს უდრის.

იმუნური რეაქცია, ე. ი. რეაქცია ანტიგენსა და ანტისხეულს შორის. უაღრესად სპეციფიკურია. ეს იმას ნიშნავს, რომ ყოველი ცალკეული ანტიგენის საწინააღმდეგოდ ერთი გარკვეული ანტისხეული სინთეზირდება. დიდი შრომა იყო გაწეული, ერთი მხრივ, იმის გასარკვევად, თუ რა მექანიზმი უდევს საფუძვლად ანტისხეულების სინთეზს და, მეორე მხრივ, თუ როგორ, რა ზემოქმედება აქვს ანტიგენი ანტისხეულთან. ანტისხეულის სინთეზი, როგორც გამოირჩევა, წარმართება გენეტიკური მექანიზმით, ხოლო ანტიგენის დაკავშირება ანტისხეულთან უნდა ხორციელდებოდეს ძირითადად იმ მექანიზმების საშუალებით, რაც უდევს საფუძვლად ფერმენტის მოქმედებას სუბსტრატზე. ეს იმას ნიშნავს, რომ ანტისხეულში წარმოდგენილი უნდა იყოს ანტიგენის შემბოჭველი დაჭკუფებები. არსებობს მონაცემები იმის შესახებ, რომ ანტისხეულის ამ დაჭკუფებაში მოცემულია გარკვეულ ამინომჟავათა ანსამბლი მათი სარეაქციო ჯგუფებით, პოლარული და არაპოლარული გვერდითი ჯაჭვები და სხვ.

§ 16. ცილოვან ნივთიერებათა კლასიფიკაცია

ცხადია, რომ ცილოვან ნივთიერებათა კლასიფიკაცია ხელოვნური იქნება, სანამ ყველა ცილის სტრუქტურა არ გაირკვევა. დღესდღეობით მიღებული კლასიფიკაცია დამყარებულია, ერთი მხრივ, ცილების წარმოშობაზე და, მეორე მხრივ, მათ მოლეკულაში შემავალ ამინომჟავათა რაოდენობის განსხვავებაზე.

ჩვეულებრივად, ცილოვან ნივთიერებებს ორ დიდ ჯგუფად ყოფენ იმისდა მიხედვით, მცენარეული თუ ცხოველური წარმოშობისაა ცილა. ეს ორი ჯგუფი ერთიმეორისაგან განსხვავდება, მაგრამ მათ შორის არსებობს განსაზღვრული გენეზისური კავშირი. ცხოველი ვერ ქმნის ცილას არაორგანული ნაერთებიდან. ცხოველის ორგანიზმში ცილა მზადდება იმ სტრუქტურული ელემენტებისაგან, რომლებიც საკვების ცილის სახით ეძლევა ცხოველს. ცილა უჭრედში დაკავშირებულია სხვა ნივთიერებებთან, რომელნიც არააცილოვანი ხასიათისაა, ეს დაკავშირება შეიძლება იყოს წმინდა ფიზიკური ხასიათის. ამ შემთხვევაში დანართი ნივთიერების ჩამოშორება წარმოებს იმგვარად, რომ ცილოვანი კომპლექსი გარდაქმნას არ განიცდის. ამავე დროს ცნობილია ცილის მოლეკულაში ისეთი ნაერთების არსებობა, რომელთა ჩამოშორება მხოლოდ ცილის ღრმა ქიმიური გარდაქმნის შემწეობით ხერხდება. ზემოხსენებულის მიხედვით ცილები შეიძლება დაიყოს ორ დიდ ჯგუფად. პირველ ჯგუფს ეკუთვნის მარტივი ცილები ანუ პროტეინები, მეორე ჯგუფს კი რთული ცილები ანუ პროტეიდები. ამათგან განცალკევებით დგას ცილოვან ნივთიერებათა მესამე ჯგუფი, რომელიც ცნობილია პროტეინოიდების ანუ ალბუმინოიდების სახელწოდებით. ალბუმინოიდები გვხვდება მხოლოდ ცხოველებში, ისინი ასრულებენ მექანიკურ ფუნქციას. რთულ პროტეინებს ეკუთვნის ის ცილები, რომლებიც აშენებულია, ერთი მხრივ, მარტივი ცილებისაგან და მეორე მხრივ რომელიმე კომპლექსისაგან. ეს დანამატი ნაერთი შეიძლება იყოს ან ფოსფორის მქონე, ან ნახშირწყალი, ან ნუკლეინის მქონე, ან რომელიმე ბიგენტი.

მხედველობაში მისაღებია ის გარემოება, რომ ორგანიზმში არც ერთი ცილა არ არის სუფთა ქიმიური ინდივიდუუმის სახით წარმოდგენილი. მარტივი ცილებიც კი გასუფთავების შემდეგ მეტი თუ ნაკლები რაოდენობით შეიცავს არააცილოვანი ხასიათის ნაერთებს. მეორე მხრივ, ძნელი ხდება რთული ცილების ქიმიური დახასიათება, რადგან არააცილოვანი ნაშთის დაკავშირება სხვადასხვა ცილაში იცვლება წმინდა ადსორბციული ბმებიდან დაწყებული და გათავებული.

კვალენტური ბმებით. მაგალითად, ლიპოპროტეინებში ლიპიდის დაკავშირება ხშირად აღსორბციით ისაზღვრება, მაშინ როდესაც გლუკოპროტეიდებში ნახ-ნილწყლის ცილისაგან ჩამოშორება ღრმა ქიმიური გარდაქმნის გარეშე ვერ ხერხდება.

საკიროა აღინიშნოს აგრეთვე ის ფაქტი, რომ ცილის პრეპარატის ჩვეულებ-რები გზით დამზადებისას ის წარმოდგენს რამდენიმე ცილოვანი სხეულის ნარ-ეჯს. ასეთი ნარევის ცალკეულ ინდივიდუუმებად ფრაქციონირებისათვის მიმარ-თავენ სელიმენტაციას ულტრაცენტრიფუგაში, ქრომატოგრაფიას, ელექტრო-ფორეზსა და გამომარილების სპეციალურ ხერხებს. გამომარილების პროცესში ცილა შეაძლებელია დაკრისტალდეს, მაგრამ კრისტალების მიღება გარანტიას არ იძლევა, რომ მიღებულია ინდივიდუალური ცილა და არა ნარევი. ამგვარად, ცილოვან ნივთიერებათა არსებულ კლასიფიკაციას მხოლოდ პირობითი ღირე-ბულება აქვს.

I. მარტივი ცილები ანუ პროტეინები:

ალბუმინები
გლობულინები
პროლაინები
გლუტელინები
ჰისტონები
პროტამინები
პროტეინოიდები

II. პროტეიდები ანუ რთული ცილები:

ნუკლეოპროტეიდები
მუკოპროტეიდები
ფოსფოპროტეიდები
ქრომოპროტეიდები
ლიპოპროტეიდები

ცილები, როგორც აღნიშნული იყო, წარმოდგენილია ყოველ უჯრედში ნახევრად თხევად გელის მდგომარეობაში. იმ ცილის გარდა, რომელიც უშუ-ალო მონაწილეობას ღებულობს უჯრედში მიმდინარე ქიმიურ პროცესებში, მცენარე აგროვებს ცილას სპეციალურ საწყობებში (ნაყოფი, თესლი). მცენ-არეული ცილებიდან ყველაზე უკეთ შესწავლილია სათადარიგო ცილა.

ცხოველთა ორგანიზმში უჯრედის გარეშე ცილა წარმოდგენილია გაცილე-ნით მეტი რაოდენობით, უმთავრესად, საყრდენ ქსოვილებში და ბიოლოგიურ სითხეებში (ლიმფა, სისხლი, რძე).

§ 17. მარტივი ცილები ანუ პროტეინები

ცილოვან ნივთიერებათა ყველაზე უფრო გავრცელებულ ჯგუფს წარმოად-გენა მარტივი ცილები. მარტივი ცილების ჯგუფი აერთიანებს ცხოველთა და მცენარეთა ცილოვან ნივთიერებათა მრავალ წარმომადგენელს.

ალბუმინები მცენარეულობაში წარმოდგენილია უმნიშვნელო რაო-დენობით; სამაგიეროდ, ცხოველთა უჯრედში და ცხოველური წარმოშობის პრო-

დ ექტებში ალბუმინებს დიდი მნიშვნელობა აქვთ. ალბუმინების დამახასიათებელ თვისებად უნდა ჩაითვალოს მათი ხსნარების კოაგულაცია გაცხელების დროს. კოაგულატი დენატურირებულ ცილას წარმოადგენს. ალბუმინები იხსენებიან წყალში და მცირე კონცენტრაციის მარილის ხსნარებში. ხსნარიდან გამომარილდებიან ამონიუმ-სულფატით გაჭერებისას. ალბუმინების იზოელექტრული წერტილი უდრის 4,7-ს. მათი მოლეკულის შენებაში გლიკოკოლი მონაწილეობას ღებულობს შედარებით მცირე რაოდენობით ან ის სრულებით არ არის წარმოდგენილი. ამით განსხვავდება ალბუმინები გლობულინებისაგან. თითქმის ყველა დანარჩენი ამინომჟავა ღებულობს მონაწილეობას ალბუმინების შენებაში. დამინომჟავების რაოდენობა მერყეობს მთელი აზოტის 10—15%-მდე.

ცნობილია შემდეგი ალბუმინები: კვერცხის ალბუმინი, რძის ალბუმინი, სისხლის შრატის ალბუმინი (სერუმ-ალბუმინი) და ზორბლულ მცენარეთა თესლის ალბუმინები. კვერცხის ცილა უმთავრესად აშენებულია ალბუმინისაგან. რძეში ალბუმინი გლობულინთან ერთად გადადის რძის შრატში. რძის შედედების შემდეგ მიღებული შრატის შემჟავებისას და მომდევნო გაცხელებისას ალბუმინები და გლობულინები გამოიყოფიან ე. წ. ნაღლის სახით.

სისხლის პლაზმაში წარმოდგენილია სამი სახის ცილა: ფიბრინოგენი, გლობულინი და ალბუმინი. მათი საერთო რაოდენობა ადამიანის სისხლის პლაზმაში დაახლოებით 7% -ს უდრის. აქედან ნახევარზე მეტი ალბუმინზე მოდის, როგორც ეს ქვემოთ მოტანილი ტაბულიდან ჩანს:

ფიბრინოგენი	0,4%
ალბუმინი	4,0%
გლობულინი	2,8%

სისხლის შედედებისას შრატში გადადის როგორც ალბუმინი, ისე გლობულინი. ზორბლულის თესლში ალბუმინების რაოდენობა მხოლოდ 0,4% -ს უწევს. ალბუმინებს ადვილად ღებულობენ კრისტალურ მდგომარეობაში.

გლობულინები ალბუმინებისაგან იმით განსხვავდება. რომ წყალში არ იხსნება, ხსნარიდან გამომარილდება ამონიუმის სულფატის ნახევრად გაჭერებისას. ადვილად განიცდის კოაგულაციას როგორც გაცხელებისას, ისე შეჟავების მცირე რაოდენობით მიმატებისას. განზავებული ნეიტრალური მარილებს ხსნარებში კარგად იხსნება.

გლობულინებს, დანარჩენ ცილებთან შედარებით, განსაკუთრებული გავრცელება აქვს. მცენარეულობაში გლობულინები წარმოდგენილია თესლის სათადარიგო ცილის სახით, ხოლო ცხოველთა ორგანიზმში გავრცელებულია სხვადასხვა ორგანოში და ქსოვილში, როგორც მთავარი შემადგენელი ნაწილი.

ცნობილია გლობულინების მრავალი წარმომადგენელი, რომელთა განსხვავება დამყარებულია ამინომჟავა შემადგენლობაზე და დალექვის უნარიანობაზე სხვადასხვა კონცენტრაციის მარილის ხსნარებში. განსაკუთრებით მდიდარია გლობულინებით ზეთოვან და ცერცოვან მცენარეთა თესლი, სადაც მათი რაოდენობა 35% -ს აღწევს. ცხოველური გლობულინების ჯგუფს ეკუთვნის კუნთის ცილები, შრატის, კვერცხისა და რძის გლობულინები.

მცენარეული გლობულინები:	}	ლეგუმინი: მუხდოს, ვიკას, ცერცვის თესლში
		ვიცილინი: იმავე მცენარეთა თესლში; განსხვავდება ლეგუმინიდან დამინომჟავების ნაკლები შემადგენლობით
		ფაზილინი: ლობიოში
		ედესტინი: სელის თესლში

გლობულისათვის დამახასიათებელია გლუტამინის მკვას (საშუალოდ 6—14%) და დამინომეპების (საშუალოდ 8—20%) შედარებით დიდი რაოდენობა. გამორკვეულია, რომ ცხიმით მდიდარი მცენარეული თესლის გლობულისები შეიცავს ზედმეტ არგინინს, რომლის აზოტი მთელი აზოტის თითქმის ერთ მეოთხედს აღწევს.

კუნთოვანი ქსოვილის ცილები. კუნთის ქსოვილი უმთავრესად ცილებისაგანაა აშენებული. კუნთში მყარ ნივთიერებათა რაოდენობა დაახლოებით 25%-ს უდრის, აქედან ცილოვან ნივთიერებაზე მოდის თითქმის 16—20%. კუნთში ორგვარი წარმოშობის ცილას ანსხვავებენ: ცილა, რომელიც წარმოადგენილია მითფობრილებში და ცილა, რომელიც გახსნილია პლაზმაში.

სტრომა უმთავრესად შეიცავს მექანიკური დანიშნულების ცილას. გლუვი კუნთი, რომელიც ნელა იკუმშება, შეიცავს მეტ სტრომის ცილებს, ვიდრე სწრაფად შეკუმშვადი ჩონჩხის კუნთები, სადაც პლაზმისა და მითფობრილების ცილების რაოდენობა 90%-ს აღწევს.

კუნთის პლაზმაში წარმოდგენილია:

მიოგენი (მიოზინოგენი) გლობულისისაგან იმით განსხვავდება, რომ წყალში ხსნადია. პლაზმის კოაგულაციის დროს მიოგენფიბრინში გადადის. მიოგენის კოაგულაციის ტემპერატურა უდრის 55°, 56°. ამ ცილაში წარმოდგენილია მთელი რიგი ფერმენტების აქტივობა. პირველად ა. ენგელგარდტმა აღმოაჩინა, რომ მიოგენის ერთ-ერთი ფრაქცია აღდოლაზური აქტივობით ხასიათდება. შემდეგში მიოგენის სხვადასხვა ფრაქციაში აღმოჩენილი იყო კიდევ სხვა ფერმენტული აქტივობაც.

მითფობრილებში წარმოდგენილია:

მიოზინი წარმოადგენს გლობულისის თვისებების მქონე ცილას. წყალში არ იხსნება. მიიღება ქსოვილის დამუშავებით 0,5—0,6 M KCl ხსნარით. ამ ცილასთან არის დაკავშირებული კუნთის შეკუმშვის ფუნქცია. ა. ენგელგარდტისა და მ. ლიუბიმოვას მიერ აღმოჩენილია, რომ მიოზინის უნარი აქვს აღდოზინტრიფოსფორის მკვას დაშალოს. ეს დაშლა დაკავშირებულია მიოზინის ხსნარის ფიზიკურ-ქიმიური მდგომარეობის ცვლილებასთან. მიოზინის ხსნარი იკუმშება და გელის მდგომარეობაში გადადის.

აქტინი წარმოდგენილია კუნთის ქსოვილში მცირე რაოდენობით. მაგრამ მას შეკუმშვის აქტში დიდი მნიშვნელობა ენიჭება. აქტინი იმყოფება ორ ფორმაში: გლობულარულსა და ფიბრილარულ ფორმაში. გლობულარული ფორმის გადასვლა ფიბრილარულში დაკავშირებულია გლობულების ასოციაციასთან გრძელი ჯაჭვების წარმოშობით.

აქტინი უკავშირდება მიოზინს და იქმნება აქტომიოზინის ბლანტი ხსნარი. ეს პროცესი გარკვეულ დამოკიდებულებაშია კალიუმისა და მაგნიუმის იონებთან. გამორკვეულია, რომ აღდოზინტრიფოსფორის მკვას მოქმედება აქტომიოზინზე (რის შედეგად აღდოლი აქვს აქტომიოზინის გელის სინერჯის) საფუძვლად უდევს კუნთის შეკუმშვის მოვლენას.

გლობულინი X. წარმოდგენილია კუნთოვან ქსოვილში შედარებით დიდი რაოდენობით. ამ ცილის დანიშნულება ჯერ კიდევ შესწავლილი არ არის.

მიოსტრომინი კუნთის სტრომის მთავარი შემადგენელი ნაწილია. მიოსტრომინის სახელწოდებით გაერთიანებულია ყველა ის ცილოვანი ნივთიერება, რომელიც პლაზმისა და ფიბრილების ცილების მოშორებისას ქსოვილში რჩება. მიოსტრომინები თავისი თვისებებით უახლოვდებიან პროტეინოიდებს. ფერმენტების ზემოქმედებისაღმ მიდგრადი არიან და ძნელად იშლებიან.

გ ლ უ ტ ე ლ ი ნ ე ბ ი. ცილების ეს ჯგუფი გავრცელებულია მცენარეულობაში, სახელობრ, პურეულ ხორბლებში. გლუტელინებისათვის დამახასიათებელია ის, რომ წყალში მარილებს ხსნარებში და ალკოჰოლში ხსნადობის უნარი არა აქვთ. მათი გავრცელება უმნიშვნელოა: გვხვდება ბურთს, ქერის, სიმინდის მარცვლებში და მათ მწვანე ნაწილებში.

პ რ ო ლ ა მ ი ნ ე ბ ი მცენარეული ცილების ჯგუფს ეკუთვნის. დამახასიათებელია პროლამინებისათვის მათი ადვილი ხსნადობა ალკოჰოლში: წყალში არ იხსნებიან. პროლამინების მარილები ტუტესთან ან ჰეავსათა წყალში უკვე კარგად იხსნებიან. ამ ცილების მთავარ შემადგენელ ნაწილს პროლინი (საიდანაც წარმოიშვა მათი სახელწოდება) და გლუტამინის მჟავა წარმოადგენს. პროლამინები გავრცელებულია მხოლოდ ხორბლეულ მცენარეებში.

პ რ ო ლ ა მ ი ნ ე ბ ი ს ჯ გ უ ფ ს ე კ უ თ ვ ნ ი ს:

გ ლ ი ა დ ი ნ ი — კ უ რ ი ს ხ ო რ ბ ა ლ შ ი
ჰ ო რ დ ე ი ნ ი — ქ ე რ შ ი
ზ ე ი ნ ი — ს ი მ ი ნ დ შ ი

პროლამინებისათვის დამახასიათებელია აგრეთვე რომ მათი მოლეკულას შენებაში მონაწილეობას არ ღებულობს გლიკოკოლი და ლიზინი. ზეინის მოლეკულაში არ არის აგრეთვე ტრიპტოფანი. ვინიდან ლიზინისა და ტრიპტოფანის შექმნა ცხოველს არ შეუძლია, ამისათვის მათ, საკვები ღირებულების თვალსაზრისით, არასრული ღირებულებას ცალად სთვლიან.

ჰ ი ს ტ ო ნ ე ბ ი. ჰისტონები შეიცავენ არჯინის დიდი რაოდენობით. დიამინომჟავეების აზოტი შეადგენს მთელი აზოტის 19—30%-ს. ამისათვის ჰისტონებს ფუძე-ხასიათი აქვთ. სხვა ცილებთან შედარებით ჰისტონები უფრო მარტივი შენებისაა; ბუნებაში ჰისტონი გავრცელებულია როგორც რთული ცილების შემადგენელი ნაწილი. მონაწილეობას ღებულობენ დეზოქსირიბოზოტეიდის შენებაში. ჰისტონები წარმოდგენილია აგრეთვე თევზის სპერმაში. ჰისტონები გავრცელებულია ცხოველთა ისეთ ქსოვილებში, რომლებიც მდიდარია ბირთვის ნივთიერებით. ჰემოგლობინში შემავალი ცილა გლობინი აგრეთვე ჰისტონია.

ჰისტონები ნუკლეინის მჟავეებთან ერთად მონაწილეობას ღებულობენ ბიოლოგიური ინფორმაციის გადაცემის საქმეში (იხ. ნუკლეინის მჟავეები).

წყალში ჰისტონი იხსნება, განსაკუთრებით მეავე არეში: ტუტეების ზემოქმედებით ილექება. მეავე თვისების მქონე ცილების ზემოქმედებით ჰისტონი გამოიყოფა ხსნარიდან. მაგალითად, კაზეინთან ის ქმნის მარილისმავაარ არახსნად ნაერთს.

პ რ ო ტ ა მ ი ნ ე ბ ი თავისუფალი სახით არ გვხვდება: ისინი დაკავშირებულია ნუკლეინის მჟავეებთან; მცენარეულობაში ჯერ-ჯერობით ნაპოვნი არ არის. პროტამინები პირველად გამოყოფილი იყო კ ო ს ე ლ ი ს მიერ თევზის სპერმიდან. პროტამინების მოლეკულისათვის დამახასიათებელია დიამინომჟავეების არაჩვეულებრივი დიდი რაოდენობა. ზოგიერთ შემთხვევაში მარტო არგინინის რაოდენობა აღწევს 90%-ს. არგინინთან ერთად წარმოდგენილია ლიზინი და ჰისტიდინი. დიამინომჟავეების ასეთი რაოდენობის გამო პროტამინები იჩენენ ძლიერ ფუძე ხასიათს. დიამინომჟავეების გარდა პროტამინების მოლეკულაში მცირე რაოდენობით წარმოდგენილია აგრეთვე მონოამინომჟავეები, მათ-

გან ნაპოვნია კალინი, პროლანი, ტიროზინი, სერინი, ალანინი და ტრიპტოფანი. ცისტინს არც ერთი პროტამინი არ შეიცავს.

ენაიდან პროტამინების შენება შედარებით მარტივია, ამისათვის ისინი დიდ ყურადღებას იპყრობენ როგორც გამოსავალი წერტილი ცილების შენების გარკვევისათვის.

ალბუმინოიდების ანუ პროტეინოიდების ანუ სკლეროპროტეინების ჯგუფს ეკუთვნის განსაკუთრებული თვისებების მქონე ცილები. ეს ცილები გავრცელებულია მხოლოდ ცხოველთა ორგანიზმებში. სკლეროპროტეინები აშენებულია უმთავრესად მონოამინომჟავებისაგან. ამ მჟავებიდან მათთვის დამახასიათებელია გლიკოკოლი, რომელიც ზოგიერთ წარმომადგენელში დიდ რაოდენობას აღწევს.

ცხოველის საკვები სითხეები, როგორცაა ლიმფა, სისხლი და აგრეთვე უჯრედები. ალბუმინოიდებს არ შეიცავს. ალბუმინოიდები მონაწილეობასღებულობენ საფარი და მექანიკური დანიშნულების ქსოვილებში. წინათ ალბუმინოიდებს კემარტი ცილების ჯგუფს არ აკუთვნებდნენ. მაგრამ, როგორც შემდეგში გამოირკვა, ალბუმინოიდები ცილის ყველა თვისების მატარებელია, სახელობრ, ჰიდროლიზური დაშლით იძლევა პეპტიდებს და ამინომჟავებს, ქმნის მარილებსა და იძლევა ცილის დამახასიათებელ ფერად რეაქციებს. ამისათვის ტერმინი „ალბუმინოიდი“ (ცილისმაგვარი), ზოგიერთი ავტორის წინადადებით, უნდა შეიცვალოს „სკლეროპროტეინის“ სახელწოდებით.

ელასტინი წარმოდგენილია უმალეს ცხოველთა შემაერთებელ ქსოვილში, ზოგიერთ შემთხვევაში ისეთი რაოდენობით, რომ ახალი ქსოვილის შთაბეჭდილებას ქმნის. ელასტინისაგან აშენებულია უმთავრესად აპკები, ნაწლავები, სისხლის ძარღვები და სხვ. სუფთა ელასტინი ყვეთელი ფერისაა, წყალში არ იხსნება და ქიმიური რეაგენტების ზემოქმედებას წინააღმდეგობას უწევს; ელასტინი პროტეოლიზური ენზიმების გავლენით ძნელად, მაგრამ მაინც მოიხლევა. ის დიდი რაოდენობით შეიცავს პროლინს (11,5%), არ შეიცავს ტრიპტოფანსა და ზოგიერთ მნიშვნელოვან ამინომჟავას.

კერატინი წარმოადგენს რქოვანი ნივთიერების. თმის. მატყლის, ბუმბულის, ეპიდერმისის მთავარ შემადგენელ ნაწილს. ამინომჟავებიდან კერატინისათვის დამახასიათებელია ცისტინი. ცისტინის რაოდენობა სხვადასხვა წარმოშობის კერატინში დიდ ფარგლებში მერყეობს. ადამიანის თმაში ის შედარებით დიდ რაოდენობას აღწევს — 14%-მდე. კერატინი სუსტი ქიმიური რეაგენტების მოქმედებას კარგად უძლებს. კონცენტრირებულ ტუტეებში იხსნება თანდათანობით. იხსნება აგრეთვე გადაცხელებულ წყალში (200°). კერატინზე პროტეოლიზური ფერმენტები არ მოქმედებს. კერატინის მოლეკულის წინასწარი გამარტივების შემდეგ მძლავრი მჟავას ზეგავლენით მასზე მოქმედების უნარს იჩენენ პროტეოლიზური ფერმენტები.

კოლაგენი შემაერთებელი ქსოვილის მთავარ შემადგენელ ნაწილს წარმოადგენს. ძელის ორგანული საფუძველი კოლაგენია. ხრტილოვან ქსოვილში კოლაგენი წარმოდგენილია სხვა ნივთიერებებთან ერთად. კოლაგენი წყალთან ხანგრძლივი დუღილისას იძლევა წებოს ნივთიერებას, გლუტინს. გლუტინი არ შეიცავს ტრიპტოფანსა და ტიროზინს, სამაგიეროდ, დიდი რაოდენობით შეიცავს გლიკოკოლსა და ოქსიპროლინს. კოლაგენისაგან ამზადებენ ცილა ჟელატინს.

კოლაგენი წყალში, მარილების ხსნარში, განზავებულ მჟავებში და ტუტეებში არ იხსნება. პროტეოლიზური ენზიმების მოქმედებისას ის ძნელად იშლება.

მთრიმლავი ნივთიერებით დამუშავებისას იკუმშება და მექანიკურ გამძლეობას იჩენს. ამ თვისებაზეა დამყარებული ტყავის პრაქტიკული გამოყენება.

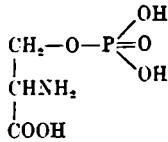
ფიბრონი აბრეშუმის ძაფის მთავარი ცილაა. ფიბრონისათვის დამახასიათებელია მისი გამძლეობა გარეშე ზეგავლენისაღმი. სუსტი მჟავა და ტუტე მასზე ვერ მოქმედებს, ფერმენტულ დაშლას ღიდ წინააღმდეგობას უწევს. ამინომჟავებთან მის მოლეკულაში ღიდი რაოდენობით წარმოდგენილია გლიკოკოლი და ალანინი.

სპონგიონი ღებულობს მონაწილეობას სპონგიების ჩონჩხის შენებაში — აბასიათებს ალბუმინოიდების ყველა თვისება.

§ 18. პროტეინი

ცილოვან ნივთიერებათა უკანასკნელ ჯგუფს ეკუთვნის რთული პროტეინები, ანუ პროტეიდები. მათ შენებაში, ერთი მხრივ, მონაწილეობას ღებულობს მარტივი ცილა და, მეორე მხრივ, არაცილოვანი ნაერთი, როგორცაა ნახშირწყალი, ნუკლეინის მჟავა, საღებავი ნივთიერება ან ფოსფორის მჟავა.

ფოსფოროპროტეიდები დანარჩენი ცილებისაგან იმით განირჩევა, რომ მათი მოლეკულის შენებაში მონაწილეობას ღებულობს ფოსფორის მჟავა. თვისებებით ფოსფოპროტეიდები გლობულინებს უახლოვდება. ფოსფოპროტეიდის დამუშავებით 1% NaOH-ით მთელი ფოსფორი გამოიყოფა ფოსფორის მჟავას სახით. ამის გამო უნდა დავეშვათ, რომ ფოსფორის მჟავა ცილის მოლეკულაში მკიდროდ არ უნდა იყოს დაკავშირებული. ლიპმანმა კაზეინიდან სერინ-ფოსფორის მჟავა გამოკყო.



სერინ-ფოსფორის მჟავა

ეს ნაერთი წარმოდგენას იძლევა კაზეინის მოლეკულაში ფოსფორის მჟავას დაკავშირების შესახებ.

კაზეინი ეკუთვნის ფოსფოპროტეიდების ჯგუფს. მისი რაოდენობა რძეში აღწევს საშუალოდ 3%-ს. ვინაიდან რძიდან კაზეინის პრეპარატი დამზადება ადვილი მოახერხებელია და მას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ეძლევა, როგორც საკვებ ნივთიერებას, ამიტომაც მრავალი მკვლევრის ყურადღება მიქცეულია მისი შენების გამორკვევისაღმი. კაზეინის შენებაში მონაწილეობას ღებულობს, გარდა გლიკოკოლისა, თითქმის ყველა მნიშვნელოვანი ამინომჟავა.

ცისტინი კაზეინში წარმოდგენილია უმნიშვნელო რაოდენობით. სამაგიეროდ გლუტამინის მჟავას კაზეინი ღიდი რაოდენობით შეიცავს.

კაზეინი სუსტი მჟავას თვისებების მატარებელია. რძეში ის წარმოდგენილია კალციუმის კაზეინატის სახით. სუფთა კაზეინის იზოელექტრული წარტილი მღებარეობს pH 4,7-ზე. რძის მჟავური კოაგულაცია წარმოებს ყოველთვის ამ წერტილზე ქვევით. მაწონი წარმოდგენს რძის ცილების მჟავური შედედების პროლექტს.

ვიტელინი ეკუთვნის ფოსფოროტელების ჯგუფს, რადგან მის შენებაში მონაწილეობას ღებულობს ფოსფორის მჟავა სერინფოსფორის მჟავას სახით. გარდა ამისა ვიტელინთან დაკავშირებულია ლეციტინი. ლიპიდების დაკავშირება ცილასთან უფრო ფიზიკურ-ქიმიური ხასიათისაა, ვიდრე წმინდა ქიმიურა. ამგვარი ცილების წარმომადგენელი არის აგრეთვე ლეციტალბუმინი. ვიტელინები გავრცელებულია კვერცხის გულში და სისხლის პლასმაში, შეიცავს 2,5—4%—მდე ფოსფორს და მცირე ოდენობით ნახშირწყალს.

უქანასკნელ ღროს დიდ ყურადღებას იპყრობს ქსოვილის ფოსფოროტელები. როგორც ირკვევა, ეს ცილები მონაწილეობას უნდა ღებულობდნენ ფოსფორის მჟავას ნაშთების ცვლაში. რადიკტიური ინდიკაციის მეთოდით მტკიცდება, რომ ქსოვილის ფოსფოროტელებში ფოსფორის მჟავას განახლების სიჩქარე არაჩვეულებრივად დიდია.

მიღებულია მონაცემები იმის მტკიცებისათვის, რომ ფოსფოროტელები მონაწილეობას ღებულობენ მემბრანების შერჩევით განვლადობაში, როგორც აქტიური ტრანსპორტის ფერმენტული სისტემის კომპონენტები.

მუკოპროტეიდების სახელწოდებით გაერთიანებულია რთული ცილების ის ჯგუფი, რომლის შენებაში ცილასთან ერთად მონაწილეობას ღებულობენ ნახშირწყლები. ეს ჯგუფი იყოფა ორ ნაწილად: გლიკოპროტეიდებად და მუკოპროტეიდებად. გლიკოპროტეიდები შეიცავენ ნეიტრალურ პოლისაქარიდებს შედარებით მცირე რაოდენობით (15%—მდე), ხოლო მუკოპროტეიდებში წარმოდგენილია შედარებით მეტი რაოდენობით მჟავე პოლისაქარიდები, ე. წ. მუკოიდები და მუციინები. მაშინ როდესაც პოლისაქარიდების დაკავშირება გლიკოპროტეიდებში კოვალენტურია, მუკოპროტეიდებში ეს კავშირი უფრო სუსტია და იონური ბმების ხასიათს ატარებს.

მუკოიდების წყლის ხსნარი ხასიათდება დიდი სიბლანტით. მათი მოლეკულები ფაზილარული ფორმის არიან. მუკოიდებით ხასიათდება ქსოვილებსა ლორწოვანი გარსი, საყრდენი ქსოვილების უჭრედის გარეშე ძირითადი ნივთიერება, კვერცხის ცილა და შუშისებრი სხეულა. მუციინი წარმოდგენილია ნერწყვში, რომლისაგანაც მისი გამოყოფა შესაძლებელია ძმარმეავით შეჟავებისას

გლუკოპროტეიდები და მუკოპროტეიდები აღმოჩენილია ნერვული უჯრედებსა მემბრანებში. ფიქრობენ, რომ ამ ნაერთებს შერჩევით განვლადობაში დიდი როლი ენიჭება.

ქ რ ო მ ო პ რ ო ტ ე ი დ ე ბ ი ა შენებულია რომელიმე პიგმენტისაგან და ცილისაგან. ამ ჯგუფიდან ყველაზე უკეთ შესწავლილია ჰემოგლობინი. ჰემოგლობინის ეანგბადთან დაკავშირებას ეწოდება ოქსი-ჰემოგლობინი. ჰემოგლობინის მინიკებული აქვს ეანგბადის ფიქსაციის უნარი. ტუტის ან მჟავების მოქმედებისას ჰემოგლობინი იშლება ჰემოქრომოგენად და ცილა გლობინად.

ჰემოგლობინში გლობინი წარმოდგენილია 96%—ის, ხოლო ჰემოქრომოგენი — 4%—ის რაოდენობით (იხ. პიგმენტები).

ნ უ კ ლ ე ო პ რ ო ტ ე ი დ ე ბ ი. პიდროლიზის შედეგად ნუკლეოპროტეიდი იძლევა ცილასა და ნუკლეინის მჟავას. ცილა ნუკლეოპროტეიდში უმეტეს შემთხვევაში წარმოდგენს პროტამინს ან ჰისტონს. ზოგიერთი ნუკლეოპროტეიდის შენებაში მონაწილეობას სხვა ცილაც ღებულობს. ვინაიდან ნუკლეინის მჟავებს ორგანიზმისათვის განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს და შედარებით კარგად არის შესწავლილი, ამისათვის მათ ცალკე განვიხილავთ.

ლიპოპროტეინების ძირითადი მასა წარმოდგენილია პროტოპლაზმაში. აქ ის სასიცოცხლო პროცესებში აქტიურ როლს ასრულებს. პროტოპლაზმატიური ლიპოპროტეინების გარდა ცნობილია ისეთებიც, რომლებიც უჯრედის მემბრანებში, კვერცხში, რძეში და სისხლში მოიპოვება.

ლიპოპროტეინების ელექტროფორეზულმა ანალიზმა ცხადყო, რომ ცილის ელექტროქიმიური თვისებები მკვეთრად იცვლება მისი ფოსფატიდებთან დაკავშირების შემდეგ. ზოგიერთ ცილებს (წყალში ხსნად პროტოპლაზმატიურ ცილებსა და სისხლის შრატის გლობულინებს) კარგად გამოხატული უნარი აქვთ დაიკავშირონ ლიპიდები.

თ ა ვ ი მ ი ც ხ რ მ

ცილოვან ნივთიერებათა ცვლა

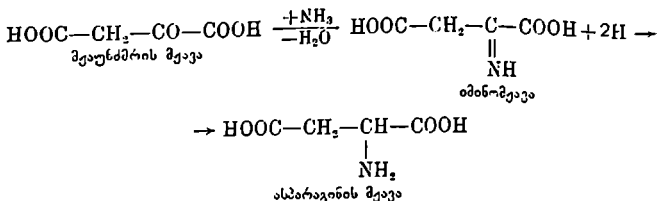
როგორც აღნიშნული იყო, მცენარისა და ცხოველის ორგანიზმს შორის ცილის ცვლის მიმართ ის განსხვავებაა, რომ მცენარეს აქვს უნარი შექმნას ორგანული აზოტი არაორგანული აზოტიდან, მაშინ როდესაც ცხოველის ორგანიზმს ეს უნარი ნაკლებად გააჩნია. მცენარის მიერ დამზადებული ცილოვანი ნივთიერება მოიხმარება ცხოველის ორგანიზმში მიმდინარე სინთეზური პროცესებისათვის. მეორე დიდი განსხვავება იმაში მდგომარეობს, რომ მცენარე ერთხელ შეთვისებულ აზოტს უკვე არ კარგავს, მაშინ როდესაც ცხოველი გააუღმეობა ათავისუფლებს მას შარდში. ამიტომ ცხოველისათვის საჭიროა ცილის მუდმივი მიწოდება აზოტის დანაკლისის შესავსებად.

მცენარეული და ცხოველის ორგანიზმის დაღუპვის შემდეგ მას დაეუფლება მიკროორგანიზმები და ცილოვანი ნივთიერების გარდაქმნის უკანასკნელი პროდუქტი გადადის ნიადაგში ამონიაკის სახით, ე. ი. ცილა მინერალიზაციას განიცდის. მინერალიზებული აზოტი ხელახლა უბრუნდება მცენარეს ნიადაგიდან. ამ პროცესში დიდი მნიშვნელობა აქვს მიკროორგანიზმებს. ისინი აწარმოებენ აზოტოვანი ნაერთების გარდაქმნას მცენარისათვის შესათვისებელ ფორმაში. მცენარის მიერ ორგანული აზოტის შექმნისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს აგრეთვე ნიტრიფიკაციის ბაქტერიებს. ამ ბაქტერიებს შეუძლიათ მოიხმარონ ატმოსფერული აზოტი და გადაიყვანონ ის აზოტის მქადაში. აზოტის მქადას ამონიაკამდე აღდგენა კი წარმოებს მცენარის მიერ. ამგვარად მიმდინარეობს ბუნებაში აზოტის ბრუნვა.

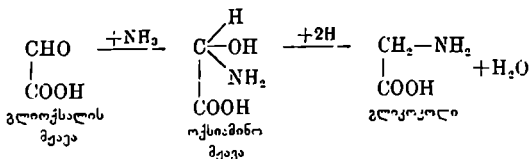
§ 1. ცილის უამრნა მცენარეულ ორგანიზმში

ცილოვანი ნივთიერების შესაქმნელად, პირველ ყოვლისა, საჭიროა ამინომჟავების არსებობა. ამინომჟავების წარმოშობა ამონიაკიდან ცილის შენების პირველ სტადიას წარმოადგენს. ეს პროცესი ფოთლებში მიმდინარეობს, ე. ი. იქ, სადაც ნახშირწყლები შენდება. უქლოროფილო უმდაბლესი მცენარეები (სოკოები და ბაქტერიები) ამინომჟავას სინთეზისათვის ამონიაკისა და ნიტრატის გარდა საჭიროებენ მზამზარეული ნახშირბადის კვების წყაროს, რომელიც ჩვეულებრივად შექარს წარმოადგენს. მწვანე ფოთოლში ამინომჟავას სინთეზისათვის იხმარება ნახშირწყლის გარდაქმნის შუალედი პროდუქტები: უნდა დავუშვათ, რომ ამ როლს რამდენიმე შუალედი პროდუქტი ასრულებს.

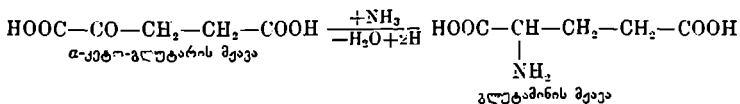
ამინომჟავათა შექმნის წყაროდ მცენარეში მიჩნეულია კეტო-მჟავები. კეტო-მჟავები მცენარეულ უჯრედში წარმოიშობა ნახშირწყლების გარდაქმნის დროს. ლამტიკებულია, მაგალითად, რომ გაღივებული თესლიდან აღმოცენებული მოზარდი მცენარის მკაუნძმრის მქადას მარილებით კვებისას მცენარეში სწრაფად მატულობს ასპარაგინი.



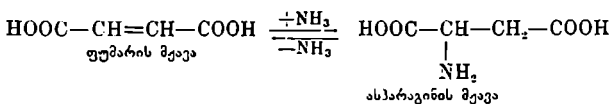
დასაშვებია აგრეთვე, რომ გლიკოკოლის შექმნა წარმოებს გლიოქსალის მჟავადან იმავე რეაქციის გზით:



მეაუნძმარამჟავა და აკეტო-გლუტარის მჟავა მცენარეულ ორგანიზმში ნახშირწყლების გარდაქმნის მნიშვნელოვან წევრება წარმოადგენენ. მათი ამინორება ადვილად ხერხდება მცენარეულ უჯრედში არსებული მძლავრი ფერმენტული სისტემებით. შედეგად მიიღება:

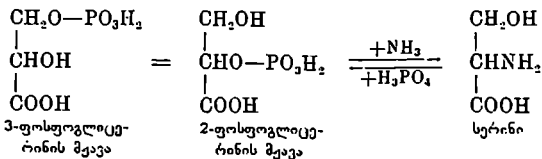


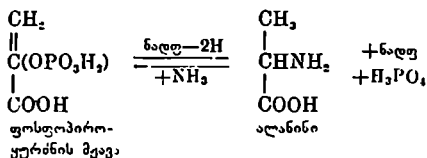
ასპარაგინის მჟავა შეიძლება შეიქმნას მიკროორგანიზმებში ფუმარის მჟავადან ამონიაკის უშუალო დაკავშირების შედეგად. ამ რეაქციას ფერმენტი ასპარტაზა ააქტივებს.



ამინომჟავათა შექმნა მცენარეში ხორციელდება აგრეთვე ერთი ამინომჟავას მეორეში ფერმენტული გზით გარდაქმნის შემწეობით. ამ გზით პროლინისაგან წარმოიშობა ოქსიპროლინი, ფენილალანინისაგან — ტიროზინი, ჰისტიდინისაგან — გლუტამინის მჟავა.

ფოტოსინთეზის დროს ამინომჟავების სინთეზის სპეციფიკური გზები იუა აღმოჩენილი, სახელდობრ, ჰერინის სინთეზი 3-ფოსფოგლიცერინის მჟავადან და ალანინის ფოსფოპირუვინის მჟავადან:



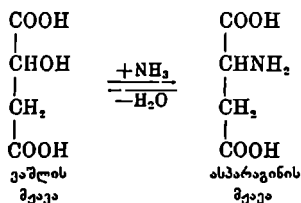


ამინომჟავათა დაკავშირებით ცილის მოლეკულაში მთავრდება სინთეზური პროცესი ფოთოლში. ეს ცილა შემდეგში სხვადასხვა ორგანოში უნდა განაწილდეს. განაწილება წარმოებს მისი ჰიდროლიზური დაშლის პროდუქტების — ამინომჟავების საშუალებით, ე. ი. პროცესს პირუტყუ მსვლელობა ეძლევა. მოსალოდნელია ფოთოლში ორგვარი წარმოშობის ამინომჟავას არსებობა. ამინომჟავათა პირველი ჯგუფი იქმნება ნახშირწყლებიდან და მინერალური აზოტოვანა ნაერთიდან და მეორე წარზაოდგენს ამინომჟავათა ურთიერთგარდაქმნის პროდუქტს.

§ 2. ამინომჟავათა გარდაქმნების თავისებურება მცენარეში

გალიკებისას ცილის რაოდენობა თესლში ძალიან მცირდება, განსაკუთრებით სიბნელეში. როდესაც თესლიდან მცენარე აღმოცენდება და ფოტოსინთეზის პროცესები იწყება, მცენარე ხელახლა მიმართავს ცილის შენებას. ცილის დაშლა სპეციფიკური ფერმენტების საშუალებით წარმოებს, რომელთა რაოდენობა აღმოცენების პირველ დღეებში სწრაფად იზრდება. ცილის ჰიდროლიზის შედეგად წარმოიშობა ამინომჟავები; მაგრამ აქ მცენარე ერთ თავისებურებას იჩენს.

თესლში წარმოშობილი დაშლის პროდუქტები გადადის სხვა ორგანოებში არა ამინომჟავების სახით, არამედ მათი უმეტესი ნაწილი წინასწარ ასპარაგინში ან გლუტამინში გადადის და ეს ნაერთები შემდეგში ცილის შესაქმნელად მოიხმარება. ამინომჟავების გარდა ასპარაგინისა და გლუტამინის წყაროდ შეიძლება მივიჩნიოთ ნახშირწყლების გარდაქმნის დროს წარმოშობილი ორგანული მჟავები, მაგალითად:



შესაძლებელია, რომ ამ სახით წარმოებდეს არა მარტო გლუტამინის ან ასპარაგინის მჟავას შექმნა, არამედ დანარჩენ ამინომჟავათა სინთეზიც.

ასპარაგინისა და გლუტამინის მჟავების გარკვეული ნაწილი წარმოადგენს მცენარულ ორგანიზმში ამილდების სახით. ამ ნაერთებში დაგროვილია მოძრავი აზოტის ძირითადი მასა. საჭიროების მიხედვით მცენარეში ამიდის ჯგუფი ადვილად სცილდება ასპარაგინსა და გლუტამინს და მოიხმარება სხვადასხვა სინთეზურ პროცესებზე.

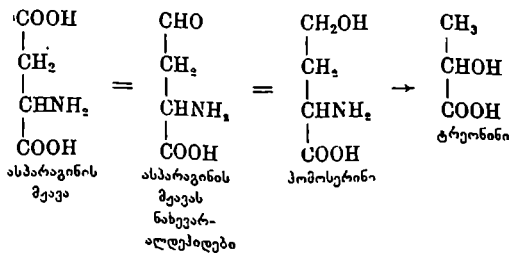
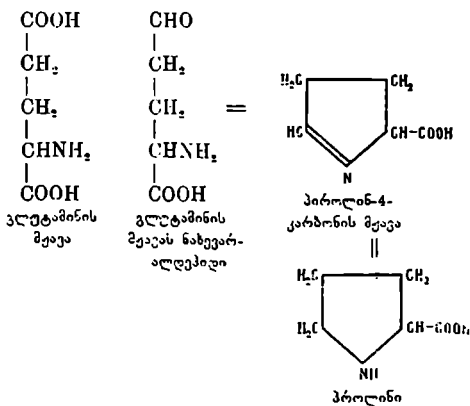
ასპარაგინისა და გლუტამინის როლი მცენარეში მხოლოდ იმით არ ისაზღვრება, რომ ამ ნაერთების საშუალებით წარმოებს აზოტის მობილიზაცია. არა-

ნაკლები მნიშვნელობა ენიჭება ამ ნაერთებს როგორც დიკარბონის მჟავების რეზერვს. საქმე იმაშია, რომ ასპარაგინისა და გლუტამინის მჟავები მცენარეულ უჯრედში სწრაფად განიცდიან ეანგვით ღეზამინირებას. ეს რეაქცია აიცილება იმით, რომ თავისუფალი მჟავები ამონიაკს იკავშირებენ და ამილებად გარდაიქმნებიან.

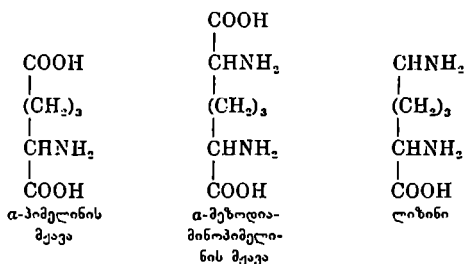
გლუტამინისა და ასპარაგინის მჟავების როლი საერთოდ და კერძოდ მცენარეულ უჯრედში მატულობს, რადგან ეს ორი ამინომჟავა ე. წ. გადაამინირების რეაქციებში მონაწილეობას ღებულობს. როგორც აქას ქვემოთ დავინახავთ გადაამინირების დროს დიკარბონის მჟავათა ამინის ჭკუფი გადაიტანება კეტომჟავებზე და ახალი ამინომჟავა წარმოიშობა. გლუტამინისა და ასპარაგინის მჟავას რომ განსაკუთრებული ადგილი უკირავს მცენარეულ უჯრედში მიმდინარე აზოტოვან ნაერთთა ცვლაში, მტკიცდება ცდებით, სადაც ნიშანდებული აზოტის განაწილება შეისწავლებოდა. მცენარის ნიშანდებული აზოტოვანი ნაერთით კვების შემდეგ ნიშანდებული აზოტი მეტი რაოდენობით ყოველთვის ზემოხსენებულ მჟავებში გროვდებოდა.

ამასთანავე გაირკვა, რომ ასპარაგინისა და გლუტამინის მჟავების განახლების სიჩქარე ყველა დანარჩენ ამინომჟავათა განახლების სიჩქარეს სჭარბობს.

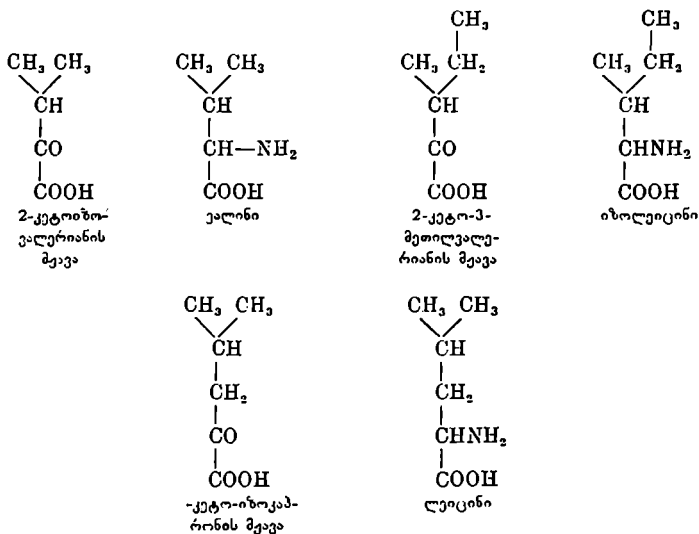
იმ მონაცემებით, რაც დღეისათვის არის ცნობილი, გლუტამინის მჟავას გარდაქმნა მცენარეში და მიკროორგანიზმებში დაკავშირებულია პ რ ო ლ ი ნ ი ს ა და ო ქ ს ი პ რ ო ლ ი ნ ი ს უშუალო სინთეზთან. ასპარაგინის მჟავა კი მონაწილეობას ღებულობს ტ რ ე ო ნ ი ნ ი ს სინთეზში.



შეუცვლელ ამინომჟავათა სინთეზის გზები უმაღლეს მცენარეებში ჯერ კიდევ არ არის შესწავლილი ბოლომდე. უნდა ვიფიქროთ, რომ სინთეზი მიმდინარეობს იმის მსგავსად, როგორც ეს გარკვეულია მიკროორგანიზმებში, ობებში და სოკოებში. ჰავალითად, ლ ი ზ ი ნ ის სინთეზისათვის სოკოები და ობები გამოიყენებენ α-ამინოაღიპინის მჟავას, ხოლო მიკროორგანიზმები და წყალმცენარეები — მეზო-დიამინოპიმელინის მჟავას

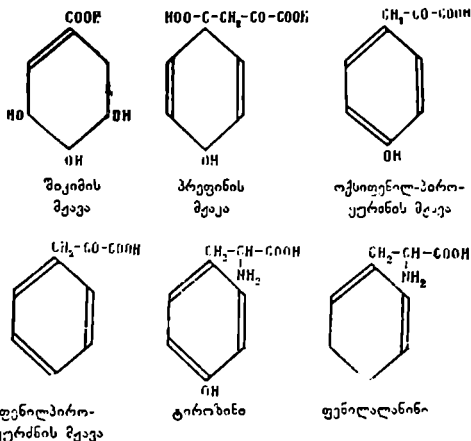


ვ ა ლ ი ნ ის, ი ზ ო ლ ე ი ც ი ნ ის ა და ლ ე ი ც ი ნ ის სინთეზისათვის მიკრობებში და სოკოებში მოიხმარება შესატყვისი α-კეტომჟავები, სახელდობრ, 2-კეტოიზოვალერიანის, 2-კეტო-3-მეთილ-ვალერიანისა და α-კეტოიზოკაპრონის მჟავები

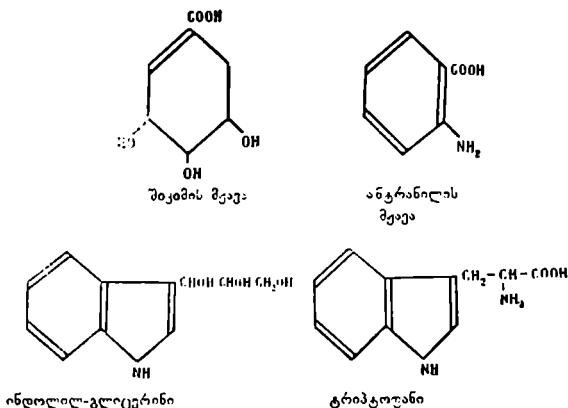


პ ი ს ტ ი ზ ი ნ ის ბიოსინთეზი დაკავშირებულია მიკროორგანიზმებში პურინის ფუძეების ცვლასთან. ა რ ო მ ა ტ უ ლ ი ა მ ი ნ ო მ ე ჯ ა ვ ე ბ ი ს (ფენილალანინის, ტიროზინის და ტრიფტოფანის) წყაროდ გამოიყენება მცენარეულ ორგანიზმში შიკიმის მჟავა, რომელიც ჯერ იძლევა პრეფენის მჟავას. პრეფენის

მევა უნდა წარმოადგენდეს იმ არომატული რგოლის წინამორბედს, რომლის ამინირება იძლევა ფენილანინს ან ტიროზინს.



ტრიპტოფანის სინთეზი მიმდინარეობს შემდეგი სქემის მიხედვით:



§ 3. ცილოვან ნივთიერებათა ცვლა მთავრობანიზმებასა და სოკოებაში

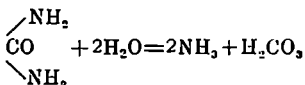
ცილოვან ნივთიერებათა ცვლის მიმართ მიკროორგანიზმები შეიძლება დაიყოს ორ ჯგუფად. ერთი ჯგუფი ხასიათდება ისეთი ფერმენტებით (ენდოენზიმებით), რომლებიც უჭრედს არ ტოვებენ და უჭრელის გარეშე ცილების დაშლას არ აწარმოებენ. ამ ჯგუფს ეკუთვნის, მაგალითად, რძისმევა ბაქტერიების მრავალი წარმომადგენელი. მეორე ჯგუფს ახასიათებს, ზემოხსენებულის გარდა, ისეთი ფერმენტებიც (ექზოფერმენტები), რომლებიც გამოდიან უჭრელიდან,

აწარმოებენ უჯრედის გარეთ საკვებ არეში ცილების დაშლას და ქმნიან ისეთ ნაერთებს, რომელთა გასვლა უჯრედის აკეში გაადვილებულია. მიკროორგანიზმების ამ ჯგუფს ეკუთვნის ცილის ლპობის გამომწვევი ბაქტერიები.

მიკროორგანიზმებისათვის აზოტის წყაროს წარმოადგენს როგორც მინერალური აზოტის ნაერთები, ისე ორგანული აზოტი, ამინომჟავები და პეპტონები. ამ მხრივ მათ საშუალო ადგილი უჭირავთ მცენარეთა და ცხოველთა შორის.

აზოტის ცვლის თვალსაზრისით მიკროორგანიზმებისათვის დამახასიათებელია მათი დამოკიდებულება შარდოვანას მიმართ. შარდოვანა აქ ასრულებს ასპარაგინის როლს, ე. ი. ამონიაკის სათადარიგო ნაერთია. ამრიგად ბაქტერიები აზოტს არ კარგავენ, როგორც ამას ცხოველების შემთხვევაში აქვს ადგილი.

შარდოვანა დიდი რაოდენობით გროვდება, როგორც სათადარიგო ნაერთი, სოკოებში, სადაც მისი რაოდენობა 12%-ს აღწევს. ფერმენტი, რომელიც შარდოვანას შლის ამონიაკად და ნახშირმჟავა გაზად, ცნობილია ურეაზას სახელწოდებით.

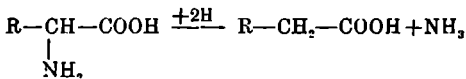


ურეაზათი მდიდარია მიკროორგანიზმები, სოკოები, მცენარეები. ცხოველის ორგანიზმში ურეაზა არ არის, ამისათვის შარდოვანას მოხმარება მათ არ შეუძლიათ.

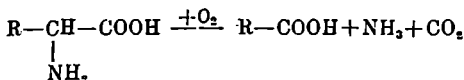
მიკროორგანიზმების დამოკიდებულება ამინომჟავათა მიმართ მრავალფეროვანია, იმისდა მიხედვით, თუ როგორ არეში წარმოებს მიკროორგანიზმების ცხოველმოქმედება და მიკროორგანიზმების რომელი სახეა წარმოდგენილი, ამინომჟავებისაგან შესაძლებელია წარმოიშვას ნაერთების მთელი რიგი. ბაქტერიული ცვლის შედეგად წარმოიშობა ოქსი-მჟავები, ამინები, სპირტები და სხვ.

ანაერობების ზემოქმედებით ამინომჟავები უმეტეს შემთხვევაში განიცდიან დაჟანგვას ან აღდგენას.

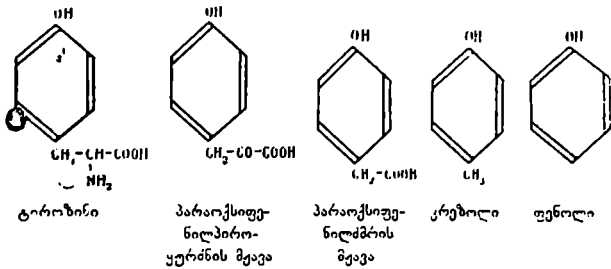
მაგალითად, ამინომჟავების აღდგენისას წარმოებს ღეზამინირება და თავისუფლდება ამონიაკი.



თუ ერთდროულად დაჟანგვა მიმდინარეობს, ამონიაკი თავისუფლდება. მაგრამ მიღებული კარბონის მჟავას ჯაჭვი მოკლდება.



ზემოხსენებულ რეაქციებს ადგილი აქვს ცილის ბაქტერიული ცვლის დროს ცხოველთა მოშენებულ ორგანოებში; მაგალითად, ტიროზინიდან წარმოიშობა კრეზოლი და ფენოლი:

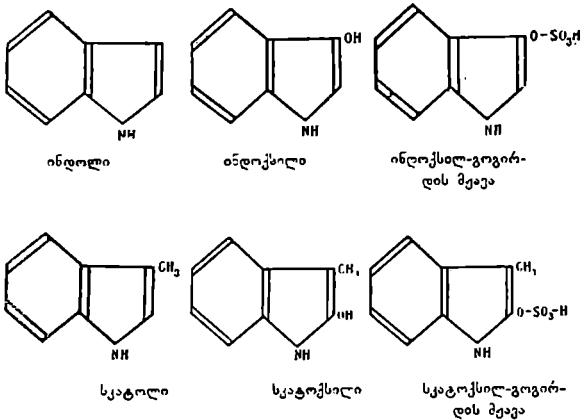


კრეზოლი და ფენოლი წარმოადგენენ შხამებს; ლეიძლში მათი განეიტრალება ხდება გოგირდის ან გლუკურონის მჟავებთან დაკავშირებით. შარდში კრეზოლი გამოიყოფა კრეზოლგოგირდის ან კრეზოლგლუკურონის მჟავების სახით.

ფენოლი, როდესაც ის წყვილდება გოგირდის ან გლუკურონის მჟავესთან, იძლევა ფენოლგოგირდისა და ფენოლგლუკურონის მჟავეს.

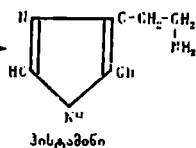
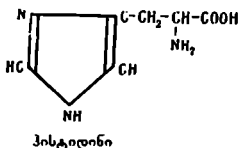
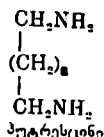
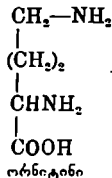
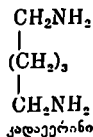
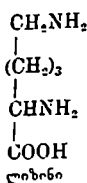
ბაქტერიების ცხოველშოქმედების შედეგად ტრიპტოფანის ანაერობული გარდაქმნისას წარმოიშობა სკატოლი და ინდოლი.

სკატოლი და ინდოლი, ხანამდე ისინი ლეიძლში გაწყვილდებოდნენ გოგირდის ან გლუკურონის მჟავესთან, იჟანგებიან ინდოქსილში და სკატოქსილში და მხოლოდ შემდეგ დაუკავშირდებიან მჟავეებს.

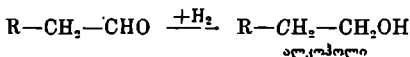
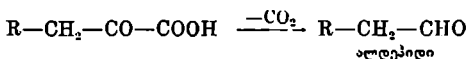
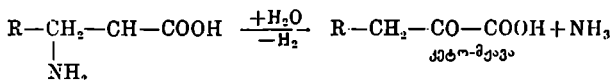


ყველა ზემოხსენებული გაწყვილებული ნაერთი გადადის შარდში. მათი შარდში ზედმეტი რაოდენობით დაგროვებას ადგილი აქვს ნაწლავებში ლობობის პროცესების გაძლიერებისას.

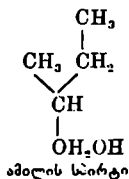
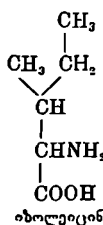
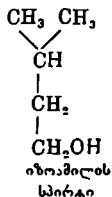
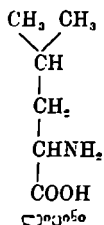
ლობობის გამომწვევი ბაქტერიების ცხოველშოქმედების შედეგად შეიძლება წარმოიშვას ამინომჟავეთა დეკარბოქსილირების პროდუქტები — ამინები. ზოგიერთი ამინი წარმოადგენს ძლიერ შხამს; მაგალითად პუტრესცინი, კადავერინი, ჰისტამინი.



საფუარებისათვის დამახასიათებელია ამინომჟავათა ისეთი ქანგითი დეზინირება, რომელს დროსაც წარმოიშობა ალკოჰოლები.



ამ რეაქციის საშუალებით უნდა ხდებოდეს რახის ზეთების წარმოშობა სპირტის ჯუღილის დროს. პროცესისათვის მოიხმარება ლეიცილი და იზოლეიცილი, რომელთა გარდაქმნა საფუარების უჯრედის მიერ იზოამილისა და ამილის სპირტს იძლევა.



უქლოროფილო მცენარეთა უმეტეს ნაწილს — სოკოებსა და მიკრობებს — შეუძლია იკვებოს არაორგანული აზოტის ნაერთებით — ამონიაკითა და ნიტრატებით. ამასთანავე, მათ უნდა ეძლეოდეს გამზადებული ნაერთების სახით ნახშირწყლები. არაორგანული აზოტის გარდა მათ შეუძლიათ შეითვისონ აგრეთვე აზოტის ორგანული ნაერთები. ცალკე დგას მიკროორგანიზმების ის ჯგუფი, რომელიც ატმოსფერულ აზოტს ითვისებს. მიკროორგანიზმების ამ ჯგუფში წარმოდგენილია ანაერობული ბაქტერიები Clostridium-ის გვარიდან და აერობული ბაქტერიები Azotobacter-ის გვარიდან.

აზოტის შეთვისების შედეგად შემოხსენებულ მიკროორგანიზმებში იქმნება აზოტის ისეთი ნაერთები, რომელთა დაკავშირება ნახშირწყლების გარდაქმნის შუალედ პროდუქტებთან ამინომჟავას იძლევა. უნდა ვიფიქროთ, ასეთი პირველადი პროდუქტი არის გლუტამინის მჟავა, რომელიც შემდეგ, განიცდის რა დეკარბოქსილირებას და გადააპირებას, ახალ ამინომჟავებს იძლევა.

ზოგიერთ მიკროორგანიზმს არ შეუძლია ცილა მხოლოდ არაორგანული აზოტიდან ააშენოს და მათ აუცილებლად უნდა მიეწოდოს ამინომჟავები უცვლელი სახით. ეს მიკროორგანიზმები ემსგავსება ცხოველებს, რომელთაც ზოგიერთი ამინომჟავას სინთეზი არ შეუძლიათ. მიკროორგანიზმებს შემოხსენებულ ჯგუფს ეკუთვნის, მაგალითად, სტაფილოკოკი, რომელიც კრილობებს დაჩირქებას იწყევს, ჰემოლიზური სტრეპტოკოკი და რძის მჟავა ბაქტერიები. სტაფილოკოკისათვის აუცილებელია საკვებ არეში დაემატოს 2 ამინომჟავა — ტრიპტოფანი და ცისტეინი, სტრეპტოკოკს — 17 ამინომჟავა (ასპარაგინის მჟავას გარდა) და რძის მჟავა ბაქტერიებს — 16 ამინომჟავა (პროლინისა და გლიკოკოლის გარდა). ამგვარად, რძის მჟავა ბაქტერიებისა და სტრეპტოკოკების განვითარებისათვის საჭიროა აუცილებელ ამინომჟავათა გაცილებით მეტი რაოდენობა. ვიდრე ცხოველებისათვის.

§ 4. ცილის მონელება სხვადასხვა მხარე

ცილა, რომელსაც ცხოველი ღებულობს საკვების სახით, პირის ღრუში ქიმიურად არ გარდაიქმნება. ვინაიდან ნერწყვის შემადგენლობაში არ მოიპოვება პროტეოლიზური ფერმენტების საგრძნობი რაოდენობა. პრაქტიკულად ცილის ქიმიური გარდაქმნა იწყება კუჭის წვენი მოქმედებით. კუჭის წვენის შემადგენლობაში შედის ფერმენტი პეპსინი და მარილის მჟავა.

მარილის მჟავა პეპსინის აქტივატორის როლს ასრულებს და ქმნის ისეთ არეს, სადაც პეპსინის მუშაობა გაადვილებულია. გამოთქმულია აზრი, რომ პეპსინი მოქმედებს მხოლოდ ისეთ ცილებზე, რომლებიც წინასწარ დამუშავებულია მჟავათი. პეპსინის მოქმედება ცილების მიმართ ძირითადად პეპტონების წარმოშობით განისაზღვრება.

მასწავლამდე, ცილა კუჭში იშლება არა ბოლომდე, არამედ რთულ, ჯერ კიდევ მაღალმოლეკულურ ნაერთებამდე. პეპსინის მოქმედება არ საზღვრავს რომელიმე გარკვეული სხეულის წარმოშობას. პეპტონები დაშლის სხვადასხვა პროდუქტის ნარევი, რომლის შემადგენელი ნაწილები ერთიმეორისაგან ამინომჟავების რიცხვითა და სახეებით განსხვავდება.

პეპსინის ამგვარი მოქმედება განსხვავდება მეორე პროტეაზას—ტრიპსინის მოქმედებისაგან. ტრიპსინი შედის პანკრეასის წვენის შემადგენლობაში; ის განაგრძობს პეპტონებისა და ზოგიერთ შემთხვევაში თვით ცილის პიდროლიზურ დაშლას. მიღებული პროდუქტები შედარებით უფრო მარტივი შემადგენლობისაა. როდესაც საკვების ცილა კუჭში პეპსინის მიერ დამუშავდება და წვრილ ნაწილაკში გადავა, მასზე მოქმედებს პანკრეასისა და ნაწლავების წვენი. ტრიპსინი აქტივდება განსაზღვრული ნაერთის — ენტეროკინაზას გავლენით. ენტე-

როკინაზათი გააქტივებული ტრიპსინი უშუალოდ ცილებზეც მოქმედებს. ტრიპსინისათვის დამახასიათებელია აგრეთვე უნარი ჩამოაშოროს ცილის რთულ მოლეკულას კიდურა ამინომჟავა. ამის გამო ტრიპსინური მონელების შემდეგ შესაძლებელია ჰიდროლიზატში თავისუფალ ამინომჟავათა აღმოჩენა. უმთავრესად კი ტრიპსინის მუშაობა პეპტიდების წარმოშობით მთავრდება.

ტრიპსინის მსგავს მუშაობას ცილის მონელების დროს ქიმოტრიპსინი აწარმოებს. ეს ფერმენტი ტრიპსინით აქტივდება. ქიმოტრიპსინი შეავსებს ცილაზე ტრიპსინის მოქმედებას, რადგან ის შლის ისეთ პეპტიდურ კავშირებს, რაზეც ტრიპსინი ვერ მოქმედებს.

ნაწლავებში ცილების დაშლის უკანასკნელ ეტაპებში მონაწილეობას ლებულობს პეპტიდაზები — ფერმენტები, რომლებიც პოლიპეპტიდებს და პეპტიდებს ჰიდროლიზურად შლის. კუჭის ქვედა ჯირკვლის წვენში წარმოდგენილია კარბოქსიპეპტიდაზა, ხოლო ნაწლავების წვენში — ამინოპოლიპეპტიდაზა. პირველი მოქმედებს პოლიპეპტიდის დაბოლოების იმ მხრიდან, სადაც კარბოქსილის ჯგუფია მოთავსებული, ხოლო მეორე იმ მხრიდან, სადაც ამინის ჯგუფია. ამ ორი პოლიპეპტიდაზას გარდა ნაწლავებში არის აგრეთვე რამდენიმე დიპეპტიდაზა, რომელიც შლის სხვადასხვა სახის დიპეპტიდებს.

საკვების ცილის ჰიდროლიზურ დაშლას მომწოდებელ ორგანოებში ის ფიზიოლოგიური დანიშნულება აქვს, რომ ცხოველს ენიჭება უნარი მიღებული ამინომჟავებიდან ააშენოს საკუთარი ცილა. ნაწლავების კედლებიდან ამინომჟავები სისხლში გადადის. დაუშლელი ცილა ამ უნარს მოკლებულია. ეს დებულება მტკიცდება იმ ფაქტით, რომ რა შემადგენლობის არ უნდა იყოს საკვები ცილა ამინომჟავების მხრივ და როგორც არ უნდა განსხვავდებოდეს მისი შემადგენლობა ცხოველის ცილებისაგან, ცხოველი მაინც მისთვის დამახასიათებელ ცილას აშენებს. აქედან ის დასკვნა უნდა გამოვიტანოთ, რომ მიღებული ცილა ჯერ შემადგენელ კომპონენტებად უნდა დაიშალოს, რათა შეიქმნეს ორგანიზმისათვის საჭირო მასალა სპეციფიკური ცილების ასაშენებლად. ცილების შეცვლა საკვებში შემადგენელ ამინომჟავებით არავითარ გავლენას არ ახდენს ცხოველის სასიცოცხლო პროცესებზე. ორგანიზმის მოთხოვნილება მხოლოდ ამინომჟავებით იფარება. ამგვარად, ცილოვანი ნივთიერების წინასწარი დაშლა შემადგენელ ამინომჟავებად ნაწლავებში შეწოვების პროცესისათვის აუცილებელ პირობას წარმოადგენს.

ამინომჟავათა ცვლა სისხლში გადასვლისას შესაძლებელია ორი მიმართულებით წარმოებდეს. ამინომჟავა ან გარდაუქმნელად გადაიტანება სისხლის მიერ სხვადასხვა ორგანოში ცილის შესაქმნელად, ანდა სისხლშივე წარმოებს ცილოვანი ნივთიერების სინთეზი. დამტკიცებულად უნდა ჩაითვალოს, რომ ყოველივე ორგანო თვითონვე აშენებს საკუთარ ცილებს სისხლის მიერ მოტანილი ამინომჟავებიდან და არა იმ ცილებსაგან, რომლებიც სისხლშია წარმოდგენილი. ნაწლავებიდან სისხლში ამინომჟავების გადასვლა თანდათანობით წარმოებს. ამინომჟავები სისხლში დიდი რაოდენობით არაპდროს არ გროვდება, რადგან სისხლიდან ამინომჟავები უჯრედს გადაეცემა, სადაც იწყება ახალი ცილის სინთეზი. მხედველობაშია მჩაღები ის გარემოება, რომ ნაწლავებიდან ამინომჟავები კა-

რის ენის საშუალებით მოექცევიან, პირველ ყოვლისა, ღვიძლში, სადაც მრავალგვარ გარდაქმნას განიცდიან. ღვიძლი წარმოადგენს იმ ორგანოს, სადაც წარმოებს ამინომჟავათა მომზადება ორგანიზმისათვის შესათვისებლად.

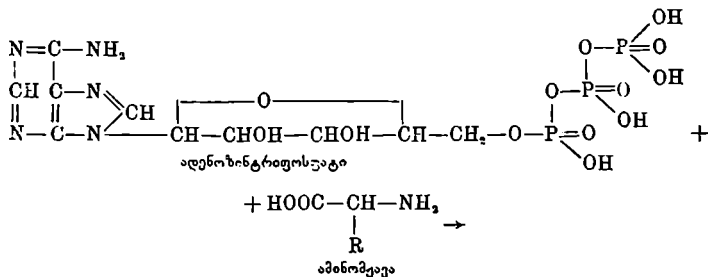
სისხლში ამინომჟავათა სიმცირის გამო საეჭვოდ მიიჩნდათ უჯრედში ცილის შექმნა და ფიქრობდნენ, რომ ცილის სინთეზა სისხლშივე მთავრდებოდა. ამ თვალსაზრისით უჯრედის კვება უნდა წარმოებდეს სისხლის ცილების საშუალებით. შემდგომში, როდესაც დამუშავდა ამინომჟავათა განსაზღვრის ზუსტი მეთოდიკა, დამტკიცდა მონელების დროს წარმოშობილი ყველა ამინომჟავას სისხლში გადასვლა.

მაშასადამე, ცილის ჰიდროლიზურ დაშლას არა მარტო ის ფიზიოლოგიური დანიშნულება აქვს, რომ წარმოიშვას ნაწლავის კედლებში გასვლის უნარმქონე ნაერთები, არამედ ამ პროცესის მნიშვნელობა მატულობს იმ მხრივაც, რომ ამინომჟავათა და მათი გარდაქმნის პროდუქტების შერჩევით ორგანიზმს საშუალება ეძლევა ააშენოს სხვადასხვა სტრუქტურის მქონე ცილა. ამ გზით მყარდება ცილოვან ნივთიერებათა მრავალფეროვნება.

§ 5. ცილოვან ნივთიერებათა სინთეზი

გამოდიოდნენ რა იმ დებულებიდან, რომ პროტეოლიზურ ფერმენტებს უნდა ჰქონდეს არა მარტო დაშლის, არამედ სინთეზის უნარიც, ჩატარებული იყო დიდი მუშაობა ცილის დაშლის პროდუქტებიდან ხელახლა ცილის მოლეკულის მისაღებად. არც ერთ შემთხვევაში არ იყო დადასტურებული, რომ მიიღება იმ ცილის მსგავსი ნაერთი, რაც თავიდანვე იყო აღებული. ანალიზი უჩვენებდა, რომ უკეთეს შემთხვევაში სინთეზი მთავრდებოდა პოლიპეტიდის ჩაჭვის წარმოშობით. ის სისტენა, რომელიც განაგებს ცილებს სინთეზს უჯრედში დაკავშირებულია გენეტიკური ინფორმაციის მექანიზმთან და ამის შესახებ ცალკე იქნება ლაპარაკი. აქ ჩვენ ჯერჯერობით დავკმაყოფილდებით ამინომჟავათა გააქტივების საკითხით, რომელიც წინ უსწრებს ცილის სინთეზს.

ცილის სინთეზი უჯრედში დაკავშირებულია ენერჯის ხარჯვასთან. ამ პროცესის პირველი ეტაპი იმაში მდგომარეობს, რომ ამინომჟავები აქტივდებიან და მათი რეაქციის უნარი ძლიერდება. ამინომჟავას აქტივირებაში მონაწილეობას ეტულობს ადენოზინტრიფოსფორის მჟავა (ატფ) და ეს პროცესი ფერმენტული ხასიათის არის: ამინომჟავას მოლეკულა რეაგირებს ადენოზინტრიფოსფატთან, რის შედეგად მიიღება ანჰიდრილის მსგავსი ნაერთი, სადაც ამინომჟავას კარბოქსილის ჯგუფი კავშირდება ადენოზინმონოფოსფატის ფოსფორის მჟავას ნაშთთან და ერთდროულად თავისუფლდება პიროფოსფატი:



ცილის კალორიანობა. აქედან ნათელია, რომ ენერგეტიკული თვალსაზრისით უპირატესობა აქვს ცხიმსა და ნახშირწყალს ცილასთან შედარებით. ცილის ბალანსის გარკვევა შესაძლებელი ხდება, თუ განისაზღვრა აზოტის რაოდენობა მოცემული საკვების რაციონში, აზოტი, რომელიც მოუნელებელი დარჩა განავალში და აზოტის რაოდენობა შარდში. ასეთი აღრიცხვით მრავალი საინტერესო ფაქტი იქნა აღმოჩენილი.

მრავალვარი ფუნქციის შესრულებისათვის უკრედს სჭირდება განახლება. ამ მიზეზის გამო ცილის მოთხოვნილება ცხოველის მიერ არააღროს არ წყდება. ნორმალური ცხოველმოქმედების დაცვის მიზნით საჭირო ხდება ცილის ხარჯის შეესება. ამისათვის საკვები მასალა ცილის საკმაო რაოდენობას უნდა შეიცავდეს. შიმშილობის დროს, როდესაც ცილის მიწოდება შემცირებული ან სრულე-ბით შეწყვეტილია, ორგანიზმი ხარჯავს საკუთარ ცილას. შარდში უკვე საკუთარი ცილის ცვლის პროდუქტები გადადის.

ცილის იმ უმცირეს რაოდენობას, რომელიც ორგანიზმისათვის საკმარისია სხვადასხვა ხარჯის აანაზღაურებლად, ეწოდება ცილის მინიმუმი. როდესაც მიღებულ საკვებში ცილის რაოდენობა მინიმუმზე ნაკლებია და ის ორგანიზმს არ ყოფნის საკუთარი ცილის განახლებისათვის, მაშინ შარდში საკვები-დან გამოყოფილი აზოტი შეთვისებულ აზოტზე მეტი იქნება. ამ შემთხვევაში ცხოველის აზოტის წონასწორობა ირღვევა და იწყება ქსოვილების ცილის განუწყვეტლივ კარგვა.

ცილის მინიმუმი, დანარჩენი პირობების გარდა, დამოკიდებულია ცილოვან ნივთიერებათა ბუნებაზე. ვინაიდან ზოგიერთი ამინომჟავას შექმნის უნარი ცხოველს არ გააჩნია, მას ვერ დააკმაყოფილებს ისეთი საკვები ცილა, რომელიც ორგანიზმისათვის საჭირო ამინომჟავებს არ შეიცავს. ცილის ბიოლოგიური ღირებულება ამ შემთხვევაში შემცირებულ იქნება და ცხოველი კვების ეულ პირობებში ჩაეარდება. განსაკუთრებით ეს ეხება მოზარდ ორგანიზმს.

ცილა სრულფასოვანია იმ შემთხვევაში, თუ ის შეიცავს შემდეგ ათ ამინომჟავას: ლიზინს, ტრიპტოფანს, ჰისტიდინს, ფენილალანინს, ლეიცინს, იზოლეიცინს, ტრეონინს, მეთიონინს, ვალინას და არგინინს. საინტერესოა აღინიშნოს, რომ ეს სია არ შეიცავს ტიროზინსა და ცისტეინს, რომელთა შესაბამე წინათ ფიქრობდნენ, რომ მათი უქონლობა იწვევს ზრდის შეჩერებას.

არასრული ღირებულების ცილების ჯგუფს, მაგალითად, ეკუთვნის:

ზეინი სიმინდიდან	არ შეიცავს ტრიპტოფანსა და ლიზინს
პორდენი ჭერიდან	ლიზინს
გლიადინი პურის ხორბლიდან	ლიზინს
ელატინი	ტრიპტოფანსა და ტიროზინს

არასრული ღირებულების ცილების ჯგუფს ეკუთვნის აგრეთვე ისეთებიც. სადაც ამინომჟავების მცირე რაოდენობაა წარმოდგენილი. აზოტის უკეთეს წყაროდ ცხოველისათვის მიჩნეულია რძის ალბუმინი. ცხოველის ნორმალური ზრდის მისაღწევად საჭიროა, მაგალითად, კაზეინის 50%-ით და ელესტინის 90%-ით მეტი რაოდენობის მიწოდება რძის ალბუმინთან შედარებით. ცხოველ-მა თავისი მოთხოვნილება ამინომჟავათა მიმართ რომ დაფაროს ისეთი ცილით,

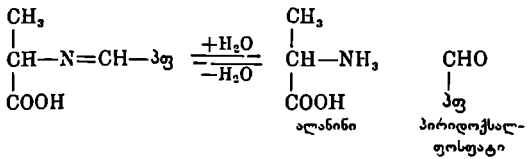
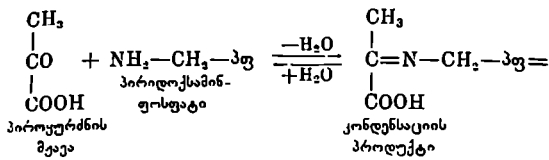
სადაც საჭირო ამინომჟეავა მცირე რაოდენობით არის წარმოდგენილი, მან ამ ცილის გაცილებით მეტი რაოდენობა უნდა მიიღოს. ამისათვის რაციონალურ კვებაში ცილის შემადგენლობას დიდ ყურადღებას აქცევენ. ჩვეულებრივად ცხოველი ცალმხრივად არ იკვებება, ის არ ღებულობს ერთ რომელიმე ცილას. საკვებში თითქმის ყოველთვის წარმოდგენილია რამდენიმე ცილა, სადაც ერთი ცილის დანაკლისის კომპენსაცია წარმოებს მეორე ცილაში შემავალი ამინომჟეავით. მაგალითად, რძის კაზეინში ძალიან მცირე რაოდენობითაა წარმოდგენილი ისეთი საჭირო ამინომჟეავა, როგორიც არის ცისტეინი; ამავე დროს რძე შეიცავს მეორე ცილას, ალბუმინს, რომელშიც ცისტეინი საკმაო რაოდენობითაა. ამგვარად, კაზეინის არასრულფასოვნება იესება რძის ალბუმინით.

ცხიმია და ნახშირწყლების ზედმეტი რაოდენობით კვების დროს ცხოველს შეუძლია ეს ნაერთები სათადარიგოდ შეინახოს გლიკოგენისა და ცხიმის სახით. ზედმეტი ცილით კვებისას სხვა მდგომარეობა შეიქმნება. ცილა სათადარიგო ნივთიერების სახით არ ინახება. როდესაც ცილა საკვებში ფარავს მოთხოვნილების მინიმუმს, მაშინ ცხოველი აზოტის წონასწორობაშია: შეთვისებული აზოტის მთელი რაოდენობა ისევ ბრუნდება შარდში. როდესაც რაციონში ცილა კიდევ გაიზრდება, შარდში აზოტი მეტი რაოდენობით გამოიყოფა და ცხოველი ისევ აზოტის წონასწორობაში იქნება. მაგრამ საყურადღებოა ის გარემოება, რომ ცილას განაჯთრებული გავლენა აქვს საკვების დანარჩენ კომპონენტებზე. რაციონში ცილის რაოდენობის გადიდებისას ორგანიზმს უნარი ენიჭება უკეთ მოიხმაროს ცხიმები და ნახშირწყლები. ამ დროს უჯრედში ნივთიერებათა ცვლა უფრო ინტენსიურად წარმოებს. ნივთიერებათა ცვლაზე ცილის ამ დადებით გავლენას უწოდებს ცილის სპეციფიკურ-დინამიკური გავლენა.

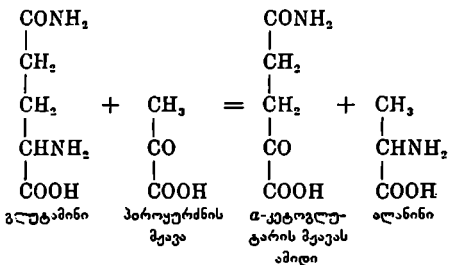
§ 7. ამინომჟეავათა სინთეზი ცხოველთა უჯრედში

ამინომჟეავათა შექმნის შესაძლებლობის მხრივ ცხოველის ორგანიზმში მცენარისაგან დიდად განსხვავდება, მიუხედავად იმისა, რომ ცხოველთა სხვადასხვა უჯრედში შეიძლება შეიქმნას ამინომჟეავა, ისე როგორც მცენარეულ უჯრედში, ამონიაკისა და ნახშირწყლების გარდაქმნის შუალედი პროდუქტისაგან. განსხვავება, პირველყოელისა, ამ პროცესის მოცულობაშია, მაშინ როდესაც მცენარეში ამონიაკის მოხმარების პროცესი მკაფიოდ არის გამოხატული, ცხოველთა უჯრედში ის დაჩრდილულია სხვაგვარი სინთეზური რეაქციებით. მეორე დიდი განსხვავება იმაში მდგომარეობს, რომ ცხოველის უჯრედს არა აქვს უნარი მოიხმაროს აზოტის დაქანგული ფორმები.

მცენარისა და ცხოველის ორგანიზმისათვის ამინომჟეავათა სინთეზის მთავარი გზა არის გადაამინირება ამინოდიკარბონის მჟავებიდან α-კეტომჟეავებზე. მაგრამ ცხოველის ორგანიზმში ამ მიზნისათვის ყველა საჭირო კეტომჟეავას სინთეზი ვერ ხერხდება და ამიტომ მისი ნორმალური განვითარებისათვის საჭიროა საკვები თავიდანვე შეიცავდეს ყველა იმ ამინომჟეავას, რომლის შექმნა ცხოველს არ შეუძლია. აქედან გამომდინარე უნდა დაეუშვათ, რომ ცილის არასრულფასოვნება ისაზღვრება იმით, თუ რომელი კეტომჟეავას სინთეზის უნარი აქვს ცხოველს.



ალანინიშნავია ის გარემოება, რომ გლუტამინი და ასპარაგინი მონაწილეობას ლებულობენ აგრეთვე ტრანსამინირების რეაქციებში. ეს რეაქცია აქტივდება სპეციფიკური ამინოფერაზებით, სადაც პროსტეტული ჯგუფის სახით წარმოდგენილია პირიფლოქსალფოსფატი.



ის კეტომჟავას ამიდი, რომელიც ზემოთ მოტანილი რეაქციის დროს წარმოიშობა შუალედი პროდუქტის სახით სპონტანურად განიცდის დეზამინირებას და თავისუფლდება ამონიაკი. ფერმენტს, რომელიც ააქტივებს გლუტამინისაგან ამონიაკის განთავისუფლებას კეტომჟავების თანდასწრებით, ეწოდება გლუტამინაზა.

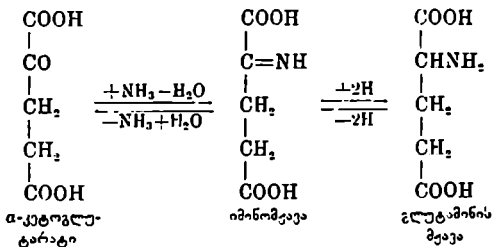
როგორც უკანასკნელ დროს გამოირკვა, შეუცვლელ ამინომჟავათა სინთეზი აგრეთვე გადაამინირების გზით უნდა ხდებოდეს. თუ ამას ადგილი არა აქვს ცხოველთა ორგანიზმში, ეს იმიტომ, რომ სინთეზისათვის საჭირო α-კეტომჟავა ცხოველს არ მოეპოვება. ეს დებულება, პირველ ყოვლისა, დამტკიცდა ცდებით, სადაც სინთეზს ადგილი ჰქონდა იმ შემთხვევაში, როდესაც ფერმენტულ არეში მიმატებული იყო გლუტამინის მჟავასთან ერთად შესაფერი α-კეტომჟავა. გარდა ამისა, ზემოთ აღნიშნული დასკვნა უნდა გამოვიტანოთ ცდებიდან, სადაც იხმარებოდა ნიშანდებული აზოტი. თუ ასეთი აზოტი წარმოდგენილია, მაგალითად, გლუტამინის მჟავას ამინის ჯგუფის სახით და ეს ნაერთი მიეცა საცდელ ცხოველს, ნიშანდებული აზოტი აღმოჩნდება ყველა ამინომჟავაში, ლიზინის, ოქსიპროლინისა და ტრეონინის გარდა. ეს იმას ნიშნავს, რომ ცხოველის ორგანიზმში ზემოჩამოთვლილ ამინომჟავათათვის არ არის შესაფერისი კეტომჟავა, რომელზეც შესაძლებელია გადაცემულიყო ნიშანდებული აზოტი, მეორე

მხრივ, ამ ცდებიდან ის დასკვნა უნდა გაკეთდეს, რომ დანარჩენი შეუცვლელი ამინომჟავას სინთეზი ცხოველთა ორგანიზმში შესაძლებელია იმ შემთხვევაში, თუ მას მიეცა შესატყვისი α-კეტომჟავას წყარო. ამგვარად, ცხოველის ორგანიზმისათვის აუცილებელია შეუცვლელი ამინომჟავების მიწოდება საკვებში იმიტომ, რომ ნივთიერებათა ცვლის დროს ისეთი α-კეტომჟავა არ წარმოიშობა, რომელიც საჭიროა ამა თუ იმ შეუცვლელი ამინომჟავას შესაქმნელად.

გადაამინირების გარდა ცხოველთა უჯრედში არსებობს კიდევ ამინომჟავათა სინთეზის მეორე გზა, რომელიც დაკავშირებულია α-კეტომჟავების უშუალო ამილირებასთან.

ეს პირველ ყოვლისა, ეხება გლუტამინის მჟავას.

გლუტამატდეჰიდროგენაზა ააქტივებს α-კეტოგლუტარის მჟავას ამინირებას და გლუტამინის მჟავას ენაგვიტ დეზამინირებას. კოფერმენტის როლს ენაგვიტ-აღდგენითი რეაქციაში ასრულებს ნად-ი.



უჯრედში ზემოთ მოტანილი რეაქცია გადაბრლია მარცხნიდან მარჯვნივ და ამიტომ ადგილი აქვს გლუტამინის მჟავას სინთეზს. ამ რეაქციას უაღრესად დიდი მნიშვნელობა ენიჭება, პირველ ყოვლისა, იმიტომ, რომ გლუტამინის მჟავას სინთეზით მყარდება ამინომჟავათა გარდაქმნების კავშირი ლიმონის მჟავა ციკლთან და, მეორე მხრივ, ის სათავეში უდგას დანარჩენ ამინომჟავათა ცვლას.

ზემოთ ჩვენ ვიხილავთ. თუ რა გზით წარმოებს ამინომჟავათა სინთეზის ერთი მხარე. სახელდობრ, როგორ წარმოებს ამილირება. საჭიროა წარმოდგინა ვიქონიოთ ამინომჟავათა სინთეზის მეორე მხარეზე, გვერდითი ჯაჭვების შექმნაზე. გვერდითი ჯაჭვის სახით ამინომჟავაში გვევლინება ღია ნახშირბად-წყალბადის ჯაჭვი, ციკლური შენების მქონე ნაშთი და ნაშთი, სადაც წარმოდგენილია თიო, ოქსო, გუანიდინის, ამინის, ამიდისა და კარბოქსილის ჯგუფი.

პირველ ყოვლისა. უნდა აღინიშნოს, რომ ციკლური ბირთვის (ფენილას. იმიდაზოლის, ინდოლის), გუანიდინის, თიოჯგუფის შექმნის უნარი ცხოველს არ გააჩნია. ამიტომ ამინომჟავა, რომელიც ამ ჯგუფებს შეიცავს, იქმნება მხოლოდ შესაფერისი წყაროს მიწოდების შემთხვევაში. დანარჩენ ამინომჟავათა გვერდითი ჯაჭვების შექმნა მიმდინარეობს მეტი თუ ნაკლები ინტენსივობით სხვადასხვა სპეციფიკური ფერმენტის საშუალებით.

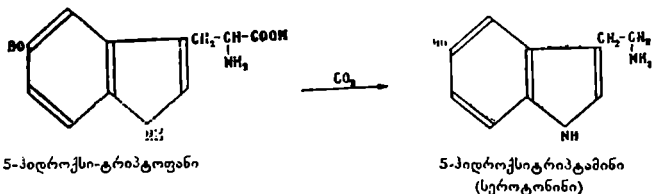
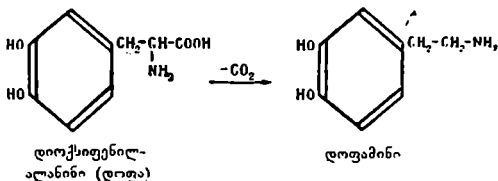
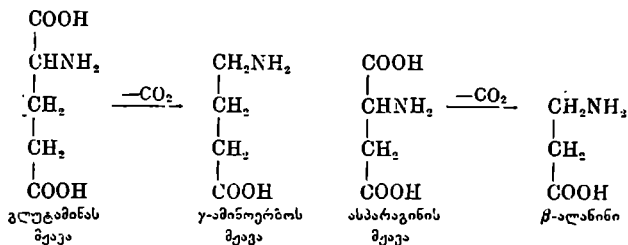
§ 8. ამინომჟავათა დეკარბოქსილირება

ამინომჟავათა დეკარბოქსილირება მცენარეებში და მიკროორგანიზმებში გავრცელებულ ფერმენტულ გარდაქმნას წარმოადგენს. ამინომჟავათა დეკარბოქსილაზის კოფერმენტი არის პირიდოქსალფოსფატი, რომელიც კავშირდება ამინომჟავასთან შუალედი ნაერთის წარმოშობით და მომდევნო რეაქციაში კარ-

გავს კარბოქსილის ჯგუფს. ამ გზით იქმნება ქვემოთ მოტანილი ამინები: პუტრესცინი, კადავერინი, ჰისტამინი, თიოეთილამინი და სხვ.

ცხოველთა ორგანიზმში ამინომჟავათა დეკარბოქსილირების რეაქცია გავრცელებული არ არის. გამოწყლის წარმოდგენს მხოლოდ ნერვული ქსოვილი. აქ აღმოჩენილია გლუტამინისა და ასპარაგინის მჟავათა, ჰისტიდინის, დიოქსიფენილალანინისა და 5-ჰიდროქსიტრიპტოფანის დეკარბოქსილირება, რის შედეგად წარმოიშობა თიოეთილამინი აქტიური ამინები.

გლუტამინის მჟავას დეკარბოქსილირება იძლევა γ -ამინოებრთს მჟავას, ხოლო ასპარაგინის მჟავას — β -ალანინს. γ -ამინოებრთს მჟავა მონაწილეობას დებულობს ნერვულ სისტემაში შეკავების პროცესში, ხოლო β -ალანინი შემადგენელი კომპონენტია დიპეპტიდის — კარნოზინისა და ვიტამინის — პანტოთუ-რის მჟავასი.



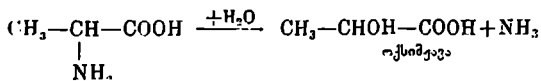
ლოფამინი კატექოლამინების ერთ-ერთი წარმომადგენელია. ამინების ამ ჯგუფს ეკუთვნის ადრენალინი და ნორადრენალინი. ფენილალანინი და ტროპინი ითვლება მათ წყაროდ.

§ 8. ამინომჟავათა დეჰამინირების სხვა გზები

ამინომჟავათა გარდაქმნა უმეტეს შემთხვევაში იწყება ან დეკარბოქსილირების, ანდა დეჰამინირების გზით; კარბოქსილის ჯგუფის დაკარგვის შემდეგ მიიღება ამინები. უმეტეს შემთხვევაში კი ამინომჟავას გარდაქმნა იწყება ამინის

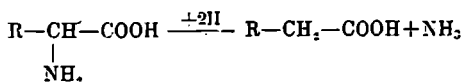
ჯგუფის დაკარგვით, რომელიც საბოლოოდ თავისუფლდება ამონიაკის სახით. დარჩენილი ორგანული ჩონჩხი მოხმარდება ან სინთეზურ პროცესებს, ან განიცადის გარდაქმნას როგორც ენერგეტიკული მასალა. ღეზამინირება შეიძლება წარმოებდეს რამდენიმე გზით:

1) ჰიდროლიზური ღეზამინირების დროს წარმოიშობა ოქსიმჟავები:



ამგვარ ღეზამინირებას განიცდიან მხოლოდ ნორმალური რიგის ამინომჟავები. ეს პროცესი გავრცელებულია მიკროორგანიზმებში და მიმდინარეობს ანაერობულ პირობებში.

2) რედუქციული ღეზამინირების დროს წარმოიშობა ცხიმოვანი რიგის მჟავები:

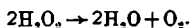
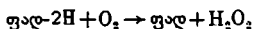
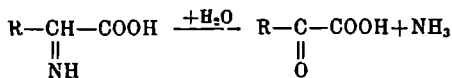
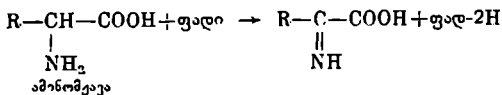


ამ პროცესს ნაკლები გავრცელება აქვს ბუნებაში.

3) ღეზამინირების უფრო გავრცელებულ სახეა ეანგვითი ღეზამინირება. ამგვარი ღეზამინირებისას ამინომჟავა გადადის კეტომჟავაში და ამონიაკი თავისუფლდება სპეციალური სისტემების საშუალებით.

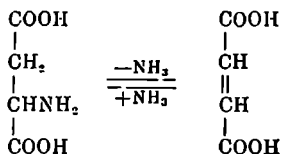
ეანგვითი ღეზამინირების პროცესი აერობულ პირობებში წარმოებს. ე. ა. ეანგბადის თანდასწრებით.

ამინომჟავათა ოქსიდაზები ხასიათდებიან აბსოლუტური სტერეოსპეციფიკურობით: მათი ერთი ჯგუფი ააქტივებს ფართოდ გავრცელებულ L-რიგის, ხოლო მეორე — იშვიათი D-რიგის ამინომჟავებს. ორივე ჯგუფისათვის კოფერმენტის როლს ასრულებს ფლავინადენინდინუკლეოტიდი (ფად-ი). ამ ფერმენტის კატალიზური მოქმედების შედეგად სუბსტრატს ჩამოშორდება წყალბადი, რომელიც შემდგომ რეაქციაში უკავშირდება ეანგბადს.

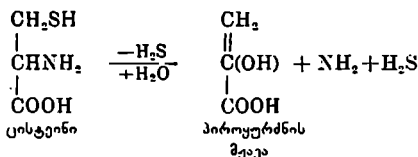


ვარაუდობენ, რომ D-რიგის ამინომჟავათა ოქსიდაზების როლი იმაში მდგომარეობს, რომ მათი მოქმედებით აცილება ორგანიზმისათვის გამოუღებარი ამინომჟავების დაგროვება. D-რიგის ამინომჟავების ოქსიდაზა წარმოდგენილია ლეიქში და თირკმელებში, სადაც ამინომჟავების ინტენსიური ცვლა წარმოებს. მაგრამ ამ ცვლაში შემოსხენებული ფერმენტები დიდ როლს არ ასრულებენ.

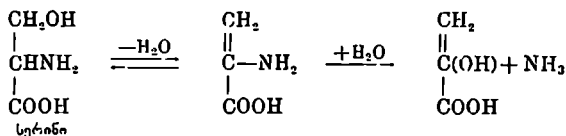
დეზამინირების სხვა რეაქციებს შორის აღსანიშნავია ასპარტატ-ამონიაკ-ლიაზის მოქმედება ასპარაგინის შეჯავზე. ეს რეაქცია დამახასიათებელია მიკრობებისათვის და სოკოებისათვის



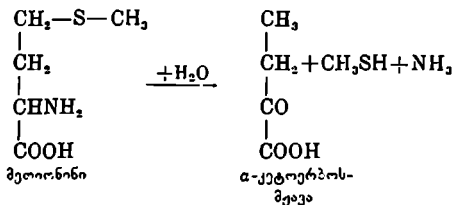
ცისტეინის დეზამინირება აქტივდება ფერმენტ ცისტეინ-დესულფოქლიაზის საშუალებით. ამ რთულ რეაქციას თან სდევს ამონიაკის გარდა გოგირდწყალბადის განთავისუფლება:



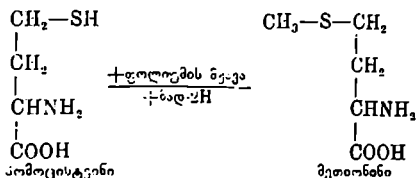
სერინის დეზამინირება დაკავშირებულია ჰიდროლიაზის ტიპის ფერმენტის — სერინდეჰიდრატაზის მოქმედებასთან. ამ რეაქციის შედეგად სერინი იძლევა პიროუერძნის შეჯავსა და თავისუფლდება ამონიაკი. სერინის მსგავსად დეზამინირებას განიცდის ტრეონინი.



ფერმენტს, რომელიც ააქტივებს მეთიონინის დეზამინირებას, ეწოდება γ-თიანაზა. რეაქციის შედეგად მიიღება α-კეტოერბოს შეჯავა და თავისუფლდება მეთილმერკაპტანი და ამონიაკი

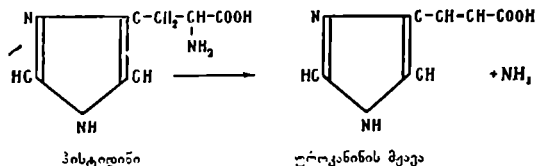


მეთიონინის სინთეზი დაკავშირებულია ორი ფერმენტისა და 3 კოფერმენტის მოქმედებასთან. მეთიონინის წყარო არის ჰომოცისტეინი, რომელიც იერთებს ფოლიუმის შეჯავში გააქტივებულ ოქსიმეთილის ნაშთს. ამ პროცესს ააქტივებს ორი ფერმენტი ალდგენილი ნად-ის თანდასწრებით.



მეთიონინის სინთეზში მონაწილე ორი ფერმენტიდან ერთი აღადგენს ფოლიუმის მკვას ოქსიმეთილის ჯგუფს მეთილია ჯგუფად, ხოლო მეორე მეთილტრანსფერაზას წარმოდგენს და გადაიტანს ფოლიუმის მკვადან მეთილის ჯგუფს ჰომოციტინზე. საჭიროა აღინიშნოს, რომ ოქსიმეთილის ნაშთი ფოლიუმის მკვაში იქმნება კიანქველის მკვადან. მეორე ფერმენტი, რომელიც აქტივებს მეთილის ჯგუფის გადატანას ფოლიუმის მკვადან ჰომოციტინზე, შეიცავს პროსტეტული ჯგუფის სახით კობალამინს (ვიტამინი B₁₂).

პ ი ზ ტ ი დ ი ნ ის ქანგვითი ღეზამინირება იძლევა უროკანინის მკვას. საგულისხმოა, რომ უროკანინის მკვა კეტოჯგუფს არ შეიცავს.

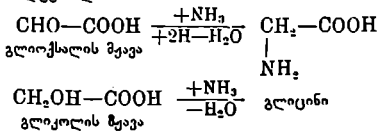


ზემოთ აღნიშნული ქანგვითი ღეზამინირება ღიდი ინტენსივობით არ მიმდინარეობს არც მცენარის და არც ცხოველთა ორგანიზმში. ამინომკვათა ქანგვის მკვაერი გზა ეს გლუტამინის მკვაა. გლუტამინის მკვას ერთ-ერთი უნიკალური თვისება იმაში გამოიხატება, რომ ის შეიძლება გამოყენებულ იყოს როგორც ენერგეტული მასალა: სხვადასხვა ამინომკვაების ცვლის დროს ამინოჯგუფი გადაიტანება გლუტამინის მკვაზე და ამის შემდეგ ჩაირთვის ის მექანიზმი, რომელიც ხდება გლუტამინის მკვას დაქანგვა და მისი ამინის ჯგუფის განთავიზუფლება ამონიაკის სახით.

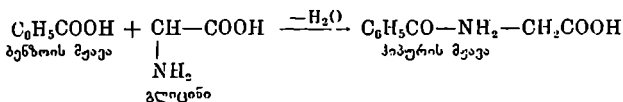
§ 10. ცალკეულ ამინომკვათა ცვლა

ღეზამინირებისა და დეკარბოქსალირების რეაქციები საერთოა ყველა ამინომკვაასათვის. ამინისა და კარბოქსილის ჯგუფების გარდა ამინომკვააში წარმოდგენილია აგრეთვე სხვა სარეაქციო ჯგუფები და გვერდითი ჯაქვები, მათი ცვლა ყოველ ცალკე ამინომკვააში თავისებურად მიმდინარეობს. ქვემოთ განხილულია ზოგიერთი მათგანი, რომელთაც მეტი ბიოქიმიური მნიშვნელობა ენიჭება.

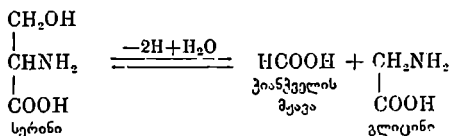
გ ლ ი ც ი ნ ი იქმნება გლიოქსალისა და გლიკოლის მკვაებიდან. ამ რეაქციაში ამინის ჯგუფის დონორის როლს ასრულებს ისეთი ნუკლეოტიდი, სადაც ამინოპურიინია წარმოდგენილი:



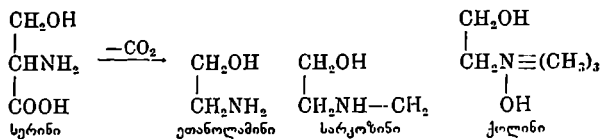
გლიცინი მოიხმარება სერინის, პერინის ფუძის, პიროლის ბირთვის, კრეატინის და გლუტათიონის სინთეზში. ცხოველის ორგანიზმის დატვირთვისას ბენზონის მჟეათი შარდში გადადის ჰიპურის მჟეა:



სერინის წყარო არის გლიცერინი, სინთეზში მოიხმარება ჰიანჰეველას მჟეა. ამ რეაქციაში კოფერმენტის როლში გვევლინება ფოლიუმის მჟეა. გლიცინიდან სერინის სინთეზის რეაქცია უკუქცევადია. გარკვეულ პირობებში სერინისაგან შეიძლება წარმოიშვას გლიცინი

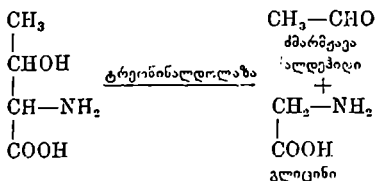


სერინი მონაწილეობასღებულობს ფოსფოლიპიდების შენებაში. ის ერთდროულად წარმოადგენს ეთანოლამინის წყაროს. ეთანოლამინი თავის მხრავ ფოსფოლიპიდების გარდა მოიხმარება ქოლინისა და სარკოზინის სინთეზისათვის



და ბოლოს, აღსანიშნავია, რომ სერინი მონაწილეობასღებულობს გოვირდშემცველ ამინომჟეათა სინთეზში. დიდი მნიშვნელობა ენიჭება სერინის მონაწილეობას ზოგეირთი ფერმენტის აქტიური ცენტრისა და ფოსფოპროტეიდების შენებაში.

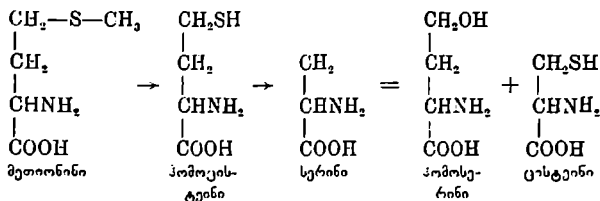
ტრეონინი ორგანიზმში სპეციფიკური ალდოლაზის ზეგავლენით იშლება მმარმჟეა ალდეჰიდად და გლიცინად



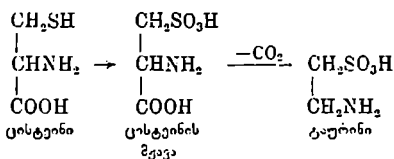
ვალინის, იზოლეიცინის და ლეიცინის გვერდით ჯაჭვები ორგანიზმში ძალიან რთულ გარდაქმნას განიცდიან. ნაშთი, რომელიც მიიღება დეზამინირების შემდეგ, კავშირდება კოენზიმ-A-თან და თანმიმდევრობით მოქლდება.

ლეიცინის ე-ამინის ჯგუფის ჩამოშორება შედარებით სხვა ამინომჟეებთან ინტენსიურად არ წარმოებს. ნიშანდებული ლიზინის გარდაქმნის შესწავლამ უჩვენა, რომ ლიზინის ნიშანდებული ნახშირბადი ჩნდება გლუტამინის მჟეაში.

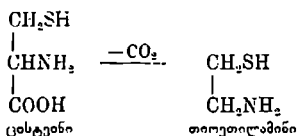
ცისტეინის სინთეზი დაკავშირებულია მეთიონინის გარდაქმნასთან. პირველ-ყოველსა, მეთიონინს ჩამოშორდება მეთილის ჯგუფი და წარმოიშობა ჰომოცისტეინი. ჰომოცისტეინი მომდევნო რეაქციაში ცვლის თავის თიოჯგუფს ოქსიჯგუფით და ამ გაცვლის შედეგად მიიღება ჰომოსერინი და ცისტეინი:



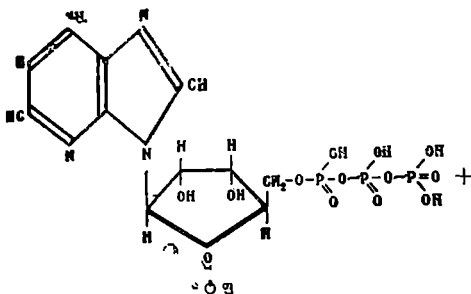
ცისტეინში თიოჯგუფი ადვილად იეანგება. დაეანგვის საბოლოო პროდუქციის სახით წარმოიშობა ტაურინი.

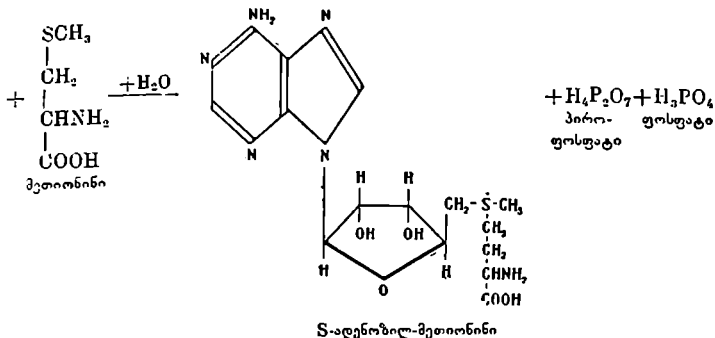


ცისტეინი ორგანიზმში განიცდის უშუალოდ დეკარბოქსილირებას და მიიღება მერკაპტოეთილამინი, რომელიც მონაწილეობას ლებულობს კოენზიმ-A-ს შენებაში:



მეთიონინი იმ მნიშვნელოვან ნაერთს წარმოადგენს, რომლის შენებაში მონაწილეობას ლებულობს მოწრავე მეთილის ჯგუფი. მეთილის ჯგუფის გადაცემას მეთიონინიდან წინ უსწრებს მეთიონინის გააქტრეება ატფ-ს საშუალებით. მეთიონინი კავშირდება ატფ-თან S-ადენოზილმეთიონინის წარმოშობით და ერთდროულად თავისუფლდება პიროფოსფატისა და ფოსფატის ნაშთები

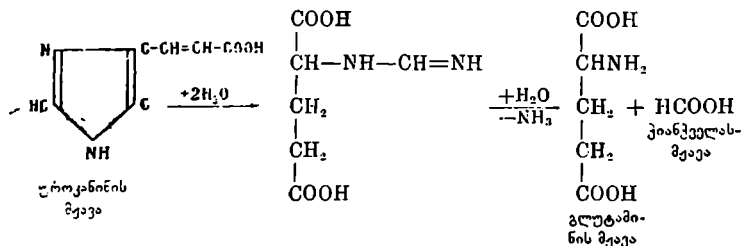




მეთიონინი მეთილის ჯგუფის ძირითადი წყაროა: ამ ნაერთების სინთეზისათვის, სადაც საჭიროა ეს ჯგუფი. ამ ნაერთებს ეკუთვნის: ქოლინი, აღრენალინი, კრეატინი და სხვ. ფერმენტს, რომელიც ააქტივებს მეთილის ჯგუფის გადატანას მეთიონინისაგან ეწოდება მეთილტრანსფერაზა.

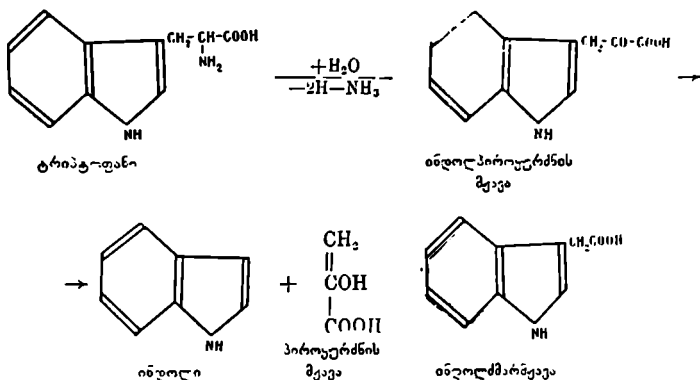
როგორც უკანასკნელ დროს გამოირკვა, მეთილის ჯგუფი ნაერთში შეიძლება დაიყვანოს, ანდა პირიქით, შეიქმნას. ამ რეაქციებში შუალედი ნაერთის როლს ასრულებს ჭიანჭველას მჟავა. მეთილის ჯგუფის წყაროდ შეიძლება გამოყენებული იყოს მეთილის სპირტი, აცეტონი, გლიცერინი, სერინი და ჰისტიდინი. მათი გარდაქმნის აუცილებელ პირობას წარმოადგენს გარდამავალი საფეხურის სახით ჭიანჭველას მჟავას სინთეზი.

ჰისტიდინის დეზამინირება, როგორც აღნიშნული იყო, იძლევა ურაკანინის მჟავას. ამის შემდეგ ფერმენტულ გარდაქმნათა რიგი მთავრდება გლუტამინისა და ჭიანჭველას მჟავას წარმოშობით.

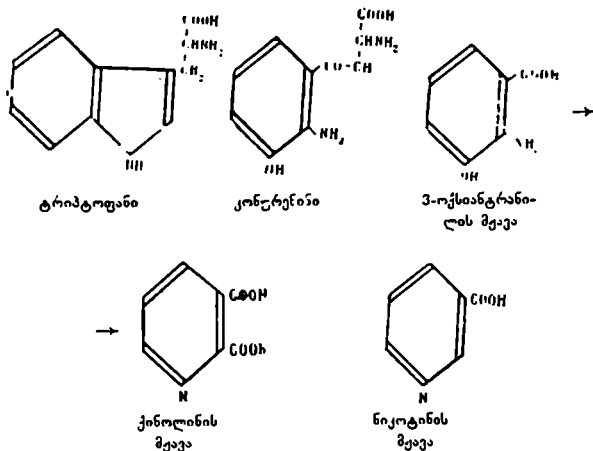


ტრიპტოფანი განიცდის მრავალფეროვან რთულ გარდაქმნებს, რის შედეგად იქმნება ფიზიოლოგიურად აქტიური ნაერთთა რიგი. ტრიპტოფანიდან სეროტონინის წარმოშობის შესახებ ცხოველთა ორგანიზმში უკვე აღნიშნული იყო. არანაკლები მნიშვნელობის არის უმაღლეს მცენარეებში ტრიპტოფანიდან ინდოლქმარმჟავას შექმნა და ნიკოტინის მჟავას სინთეზი ბაქტერიებში. პირველი ეკუთვნის მცენარეთა ზრდის ჰორმონების ჯგუფს, ხოლო მეორე ამიდირებას შედეგად გამოიყენება როგორც ვიტამინი PP, ანტიპელაგრული ფაქტორი.

ინდოლმარმეავას სინთეზი დაკავშირებულია ტრიპტოფანის თანმიმდევრობით დეზამინირებასთან და დეკარბოქსილირებასთან. ინდოლმარმეავასთან ერთად შეიძლება წარმოიშვას ინდოლი და პიროყურძნის მჟავა:



ტრიპტოფანიდან ვიტამინი PP-ს მიღება დაკავშირებულია ტრიპტოფანის გვალის გახლეჩვასა და პირიდინის ბირთვის ფორმირებასთან. ეს გარდაქმნა მიხედობს კინურენინის გარდამავალი საფეხურის წარმოშობის გზით.

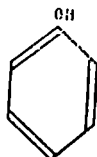


ფენილალანინისა და ტიროზინისაგან ფიზიოლოგიური ამინების წარმოშობის გზების შესახებ უკვე იყო ლაპარაკი. ეს პროცესი დაკავშირებულია დეკარბოქსილირებასთან. დეზამინირებისას ფენილალანინი და ტიროზინი იძლევა შესაფერისად ფენილპიროყურძნისა და ოქსიფენილპიროყურძნის მჟავას. გარდაქმნის შემდეგ ეტაპზე ბირთვში ჩაინაცვლება პიროქსილის გვალა და წარმოიშობა დიოქსინიწარმი, რომელიც შემდეგ იძლევა ჰომოგენტიზინას

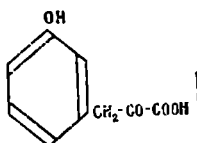
მეყავას. ჰომოგენტიზინის მეყავაში ფენილალანინთან შედარებით გვერდითი ჯაჭვი შემოკლებულია ერთი ნახშირბადის ატომით.



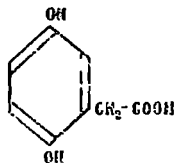
ფენილპირო-
უურმის მეყავა



ოქსიფენილ-
პიროუურმის
მეყავა



დიოქსიფენილ-
პიროუურმის
მეყავა



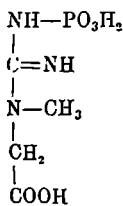
ჰომოგენტიზი-
ნის მეყავა

ჰომოგენტიზინის მეყავა ნანახია შარღში. მისი რაოდენობა შარღში მატულობს ფენილალანინის ცვლის პათოლოგიის დროს. ჰომოგენტიზინის მეყავას დაქანგვას ორგანიზმში თან სდევს ფენოლის ბირთვის გახლეჩა.

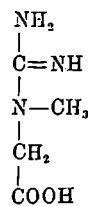
§ 11. ამინოჰაზათა გამოუხევა სხვა ნაერთების სინთეზისათვის

ამინოჰაზები გამოიყენებიან ცილების გარდა მთელი რიგი სხვა ნაერთების სინთეზისათვის. ზოგიერთი მაგალითი ჩვენ უკვე განვიხილეთ. ქვემოთ აღწერილია დანარჩენი ნაერთების შექმნის გზები, რომელთაც დიდი ბიოლოგიური მნიშვნელობა ენიჭებათ.

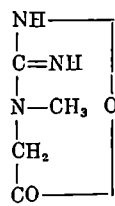
კ რ ე ა ტ ი ნ ი ცხოველთა ორგანიზმში წარმოდგენილია ისეთ ქსოვილებში, რომელნიც ხასიათდებიან ენერჯის ცვლის სისწრაფით და დიდი ოდენობით, როგორცაა კუნთისა და ნერვული ქსოვილები. მისი ანჰიდრიდი კრეატინინი არის შარღის ერთ-ერთი შემადგენელი ნაწილი. კრეატინის ძირითადი მასა ორგანიზმში წარმოდგენილია მაკროერგული ნაერთის კრეატინ-ფოსფორის მეყავას სახით. კრეატინ-ფოსფორის მეყავა ცნობილია აგრეთვე ფოსფაგენის სახელწოდებით, როგორც ნაერთი, რომელიც დაშლისას ანთავისუფლებს არაორგანულ ფოსფატს.



კრეატინ-ფოს-
ფორის მეყავა

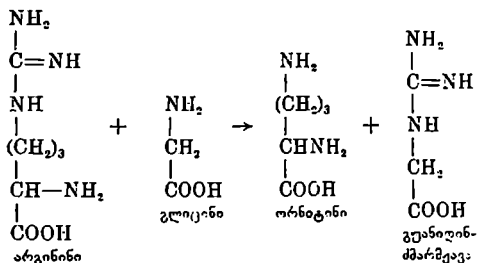


კრეატინი

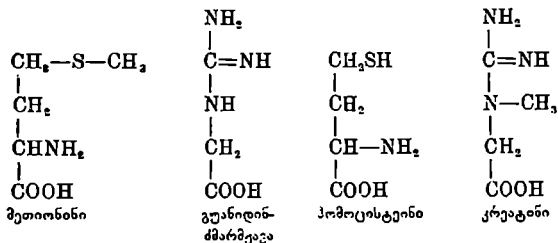


კრეატინინი

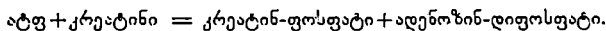
იზოტაპური ტექნიკის გამოყენების საშუალებით შესაძლებელი გახდა გარკვეული ყოფილიყო კრეატინის სინთეზის გზები. ამ პროცესში მონაწილეობას ლებულობს სამი ამინომჟავა: არგინინი, გლიცინი და მეთიონინი. სინთეზი ორ ეტაპად მიმდინარეობს. პირველ ეტაპზე არგინინი რეაგირებს გლიცინთან და მიიღება გუანილინ-მმარმჟავა. ამ რეაქციას აქტივებს ფერმენტი გლიცინ-ამილიზოტრანსფერაზა.



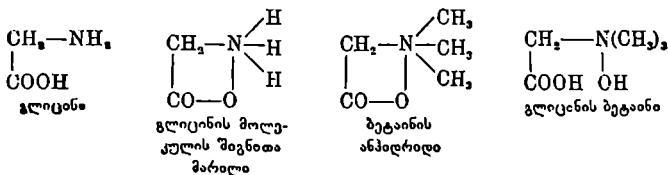
რეაქციის მეორე ეტაპზე ფერმენტი მეთილტრანსფერაზას კატალიზური მოქმედებით მეთიონინიდან გუანილინ-მმარმჟავაზე გადასროლება მეთილის ჯგუფა და მიიღება კრეატინი.



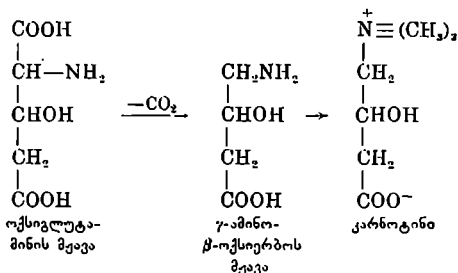
კრეატინი ორგანიზმში არააღროს არ გროვდება. ის განიცდის ფოსფორილირებას და გადადის კრეატინ-ფოსფატში, რომელიც მოიხმარება როგორც ენერჯის წყარო. კრეატინ-ფოსფატს ახასიათებს განახლების ძალიან დიდი სიჩქარე. განახლება დაკავშირებულია კრეატინკინაზის მოქმედებასთან, რომელიც აქტივებს ფოსფატის ნაშთის გადასროლას ატფ-დან კრეატინზე. ეს რეაქცია უკუქცევადია



ბ ე ტ ა ი ნ ე ბ ი . იმ შემთხვევაში, როდესაც ამინომჟავას ამინის ჯგუფში ჩაინაცვლება წყალბადის მაგივრად მეთილის ჯგუფები, წარმოიშობა ბეტაინები. გლიცინის შემთხვევაში ჩვენ გვაქვს:

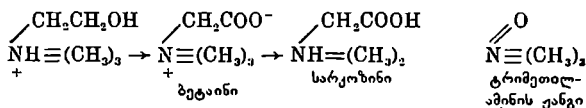


ცხოველთა ბეტაინებიდან აღსანიშნავია კარნოტინი, რომელიც საკმაოდ დიდი რაოდენობით წარმოდგენილია კუნთის ქსოვილში.



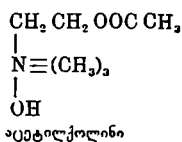
ცხოველთა ორგანიზმში კარნოტინი მონაწილეობას ღებულობს ლიპიდების ცვლაში. აღმოჩენილია ისეთი ლიპიდები, რომელთა მოლეკულაში კარნოტინია წარმოდგენილი. მწერებში კარნოტინი ასრულებს ვიტამინის როლს.

გენეზისურად ბეტაინებთან დაკავშირებულია ქოლინი, სარკოზინი და ტრიმეთილამინის ქანგი



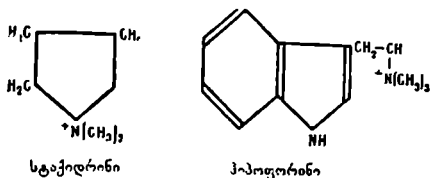
სარკოზინი წარმოდგენილია კუნთოვან ქსოვილში, ხოლო ტრიმეთილამინის ქანგი დამახასიათებელია ზღვის თევზებისათვის, როგორც აზოტის ცვლის უკანასკნელი პროდუქტი.

განსაკუთრებულ ინტერესს იწვევს ქოლინის ერთ-ერთი დერივატი — აცეტილქოლინი. ის წარმოადგენს ქოლინის მმარმჟავა ესთერს.

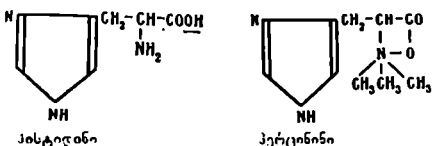


აცეტილქოლინი დამახასიათებელია ნერვეული ქსოვილისათვის, სახელდობრ ნერვეული დაბოლოებებისათვის — სინაფსებისათვის, სადაც ის ასრულებს აგზების მედიატორის როლს. აცეტილქოლინი განზავებით 1:10⁶ იწვევს ეფექტორის აგზნებას, მაგალითად გლუვი კუნთის ბოქოს შეკუმშვას. ეფექტის გამოწვევისთანავე ის სწრაფად იშლება აცეტილქოლინესთერაზას საშუალებით. ქოლინ-აცეტილტრანსფერაზა ააქტივებს მის სინთეზს. სინთეზისათვის მოიხმარება კო-A-თი გააქტივებული აცეტილის ნაშთი.

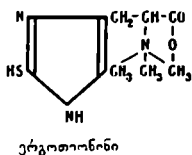
მცენარეებში აღმოჩენილია გლიცინის გარდა აგრეთვე სხვა ამინომჟავათა ბეტაინები. მათგან ყურადღებას იპყრობს სტაქტიდრინი და ჰიპოფორინი. პირველი არის პროლინის ბეტაინი, ხოლო მეორე — ტრიპტოფანის. ბეტაინების მეთილის ჯგუფის წყარო არის მეთიონინი, რომელიც გააქტივებულია S-ადენოზილმე-თიონინში.



სოკოებში ნაპოვნია ჰისტიდინის ბეტაინი — ჰერცინინი.

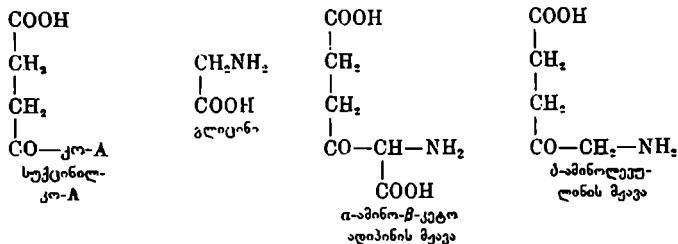


ჰერცინინში სულჰიდრილის ჯგუფის ჩანაცვლებისა წარმოიშობა ერგოთონინი

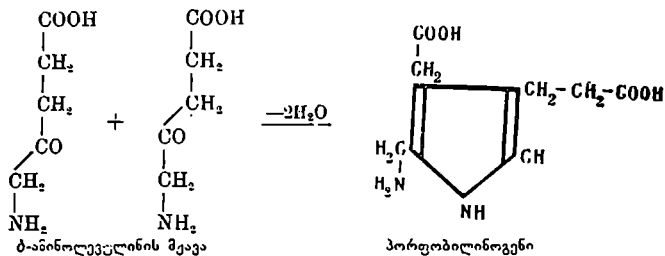


ერგოთონინის პრეპარატი დამზადებულია ქვეყის რქისაგან. ის გვხვდება აგრეთვე შარღში და სისხლში.

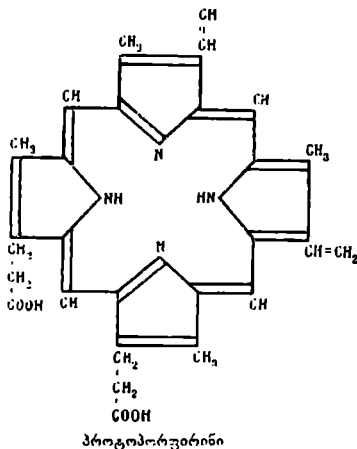
პორფირინის ნაწარმების სინთეზისათვის იხმარება გლიცინი. პორფირინის ბირთვის სინთეზის პირველ ეტაპზე ადგილი აქვს გლიცინის კონდენსაციას გააქტივებული ქარვის შევასაზან.



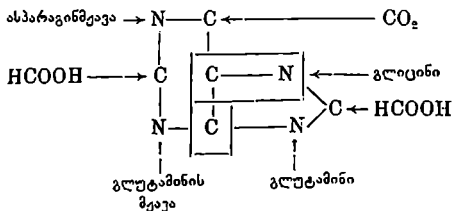
კონდენსაციის შედეგად მიიღება პროლუქტი, რომლის დეკარბოქსილირება იძლევა ბ-ამინოლევულისის შეავას. სინთეზის მეორე ეტაპზე ადგილი აქვს ორი მოლეკულა ბ-ამინოლევულისის შეავას ერთიმეორესთან შეერთებას და იქმნება პიროლის ბირთვის ნაწარმი. პორფობილინოვანი, რომლის ოთხი მოლეკულის კონდენსაციის შედეგად წარმოიშობა პორფირინის ბირთვი.



პორფობილინოგენი იხმარება როგორც ქლოროფილის, ისე ყველა ჰემის ბირთვის შემცველ სხვა ნაერთების სინთეზისათვის. ჰერ კიდევ გაურკვეველი რჩება, თუ რა ქიმიური მექანიზმით წარმოებს პორფობილინოგენის ნაშთების დაკავშირება პორფირინში. არსებული მონაცემების მიხედვით ქლოროფილისა და ჰემის ბირთვის შემცველი ნაერთებისათვის საერთო არის ე. წ. პროტოპორფირინი, რომლის შენება მოტანილია ქვემოთ



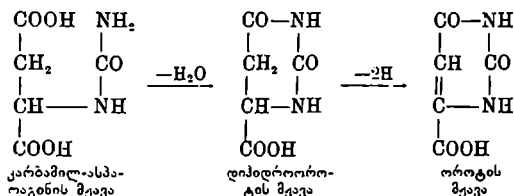
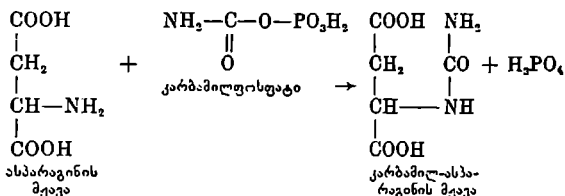
პ უ რ ი ნ ის ფუძის სინთეზში მონაწილეობას ღებულობს შემდეგი ამინომჟავები: 2 მოლეკულა გლუტამინის, ასპარაგინის მჟავა და გლიცინი. გარდა ამინომჟავებისა მოიხმარება ნახშირორჟანგი და ჰიანჰველას მჟავას ორი მოლეკულა. იზოტოპური ტექნიკის გამოყენებით შესაძლებელი გახდა პურინის ბირთვში შემავალი ნაშთების წყაროს დადგენა.



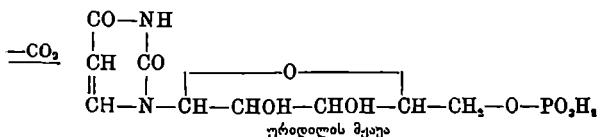
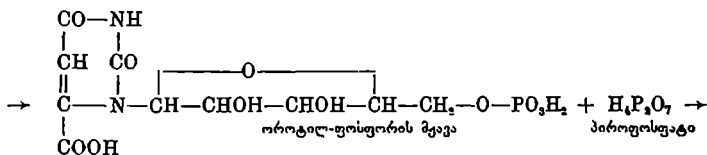
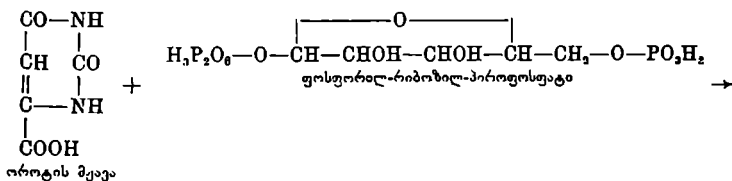
პურინის ბირთვის სინთეზის სქემა

პურინის ბირთვის სინთეზი იწყება რიბოზოფოსფორის მექავადან. სინთეზში გამოიყენება ზემოხსენებული ნაერთები, ფერმენტებისა და კოფერმენტების მთელი რიგი. შედეგად იქმნება ინოზინის მექავა და აქედან პურინის ბირთვის შემცველი ნუკლეოტიდები.

პ ი რ ი მ ი დ ი ნ ის ფუძის წყარო არის ასპარაგინის მექავა. სინთეზის პირველ ფაზაში ასპარაგინის მექავა რეაგირებს კარბამილ-ფოსფორის მექავასთან და მიიღება კარბამილ-ასპარაგინის მექავა

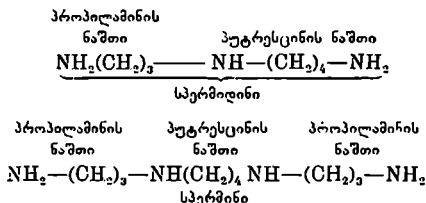


სინთეზის შემდეგ ეტაპზე ოროტის მექავა უერთდება 5-ფოსფორილ-რიბოზილ-პიროფოსფატს და მიიღება ოროტიდილფოსფორის მექავა. უკანასკნელის დეკარბოქსილირების შედეგად წარმოიშობა ურიდილის მექავა, სადაც პირიმიდინის ფუძის სახით არის ურაცილი.

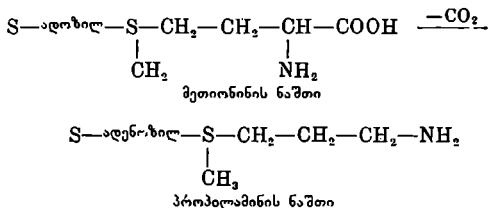


საყურადღებოა ის ფაქტი, რომ პურინისა და პირიმიდინის სინთეზის დროს იქმნება არა თავისუფალი ფუძე, არამედ ფუძე, დაკავშირებული ნუკლეოტიდებში. პირველ შემთხვევაში ეს ინოზინის მკაფაა, ხოლო მეორე შემთხვევაში — ურიდილის მკაფა.

ს პ ე რ მ ი დ ი ნ ის და ს პ ე რ მ ი ნ ის წყარო არის ორი ამინომკაფა: ორნიტინი და მეთიონინი. ორივე ამინომკაფა წინასწარ განიცდის დეკარბოქსილირებას, რის შედეგად წარმოიშობა შესაფერისად პუტრესცინი და პროპილამინი. ამინების კონდენსაციის შედეგად კი მიიღება სპერმიდინი და სპერმინი. სპერმიდინის შენებაში მონაწილეობას ღებულობს პუტრესცინისა და პროპილამინის თითო ნაშთი, ხოლო სპერმინის — პუტრესცინის ერთი და პროპილამინის ორი ნაშთი.



აჩვენებული მონაცემების მიხედვით პროპილამინი იქმნება S-ადენოზილმეთიონინის დეკარბოქსილირების შედეგად. მიიღება S-ადენოზილპროპილამინი, რომლის პროპილამინის ნაშთი გადაისროლება პუტრესცინზე.



სპერმიდინი და სპერმინი პოლიამინები არიან. მათი ბიოლოგიური როლი ჯერ კიდევ გარკვეული არ არის. არსებობს მითითება იმის შესახებ, რომ ისინი მონაწილეობას ღებულობენ ჰისტამინის განთავისუფლების პროცესში და დადებით გავლენას ახდენენ მემბრანების განვლადობაზე.

§ 12. ცილოვან ნივთიერებათა ცვლის უპანასწავლი პროდუქტები

ამინომკაფას დაშლის უკანასკნელ პროდუქტს წარმოადგენს ამონიაკი. მაკრამ არც ერთ შემთხვევაში ის თავისუფალი სახით არ გროვდება. ამონიაკი მაშინვე კავშირდება ან ამინოდიკარბონის მკაფების საშუალებით (გლუტამინისა და ასპარაგინის ამიდების სახით), ანდა ცილებში არსებული ტერმინალური კარბოქსილის ჯგუფებით. ამ გზით იქმნება ამიდები, რომელთა ფიზიოლოგიური დანერწნულება იმაში გამოიხატება, რომ, ჯერ ერთი, აცილება ამონიაკის ტოქსიკური გავლენა და შემდეგ ამიდს ენიჭება მეტაბოლიური მოძრაობის მეტი უნარი.

ასპარაგინისა და გლუტამინის შემადგენლობა მცენარეულ ორგანიზმში დედ რაოდენობას აღწევს მაშინ, როდესაც ადგილი აქვს ცილოვან ნივთიერებათა ცვლის გაძლიერებას, მაგალითად, თესლის გაღივების დროს. აზოტოვანი სასუ-ქით მცენარის გაძლიერებული კვებისას მინერალური აზოტი მცენარეში იზო-ბება ამიდეზის სახით.

იგივე მნიშვნელობა ენიჭება ამონიაკის დაკავშირებას ცხოველის ორგა-ნიზმში. გამორკვეულია, რომ ენერგია, რომელიც საჭიროა ამიდეზის სინთეზისა-თვის, იფარება მაკროერგული ფოსფორის ნაერთის დაშლით.

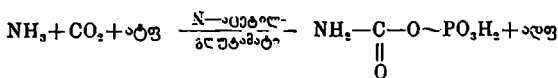
აზოტი, რომელიც ამიდეზს სახით დაკავშირდა ასპარაგინში და გლუტამინში, შემდეგში შესაფერისი ფერმენტული სისტემებით მონაწილეობას იღებს გალა-ამიდირების პროცესებში. უმეტეს შემთხვევაში კი ის თავისუფლდება ამონიაკის სახით ფერმენტ გლუტამინაზას მოქმედებით. მცენარეში ამონიაკი არ იყარგება და სინთეზურ პროცესებში მოიხმარება, ხოლო ცხოველთა ორგანიზმში ის სა-ბოლოოდ იხარჯება შარდოვანას სინთეზზე.

შარდოვანა აგრეთვე ამიდეზს წარმოადგენს, სახელობრ ნახშირს მკევის დამიდეზს — კარბამიდეზს. ეს ნაერთი დამახასიათებელია როგორც ცხოველისა-თვის, ისე მცენარისათვისაც. ამ მხრივ განსხვავება იმაში მდგომარეობს, რომ ცხოველებში არ არის წარმოადგენილი ფერმენტი, რომელიც შარდოვანას პიღ-როლიზურად შლის, მაშინ, როდესაც მცენარეთა უმეტესი ნაწილი შეიცავს მას. ცხოველებში შარდოვანა აზოტოვანი ნაერთების ცვლის უკანასკნელი პროდუქ-ტია, ხოლო მცენარეები გამოიყენებს მას სინთეზურ პროცესებში. შარდოვანათა განსაკუთრებით მდიდარია სოკოები, სადაც მისმა რაოდენობამ შეიძლება მშრ-ალი წონის 15%-ს მიაღწიოს. ადამიანის შარდში შარდოვანას რაოდენობა შარ-დის მთელი აზოტის 80—90%-ს აღწევს.

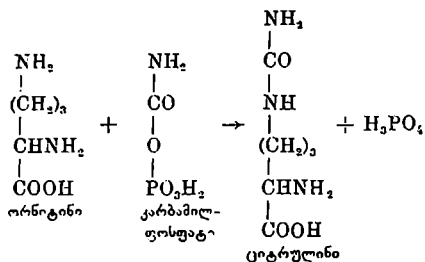
შარდოვანას სინთეზის გზა ცხოველის ორგანიზმში შედარებით კარგად აა შესწავლილი. არსებობს მითითებები, რომ მცენარის ორგანიზმში ეს პროცესი ცხოველის ორგანიზმში მიმდინარე პროცესის ანალოგიურად წარმოებს.

შარდოვანას სინთეზის ბიოქიმიური მექანიზმის შესახებ თანამედროვე შე-ხედულებანი გამომდინარეობს ე. წ. ორნიტინის ციკლიდან, რომელიც კრებაზა და პენსელაიტის მიერაა შესწავლილი.

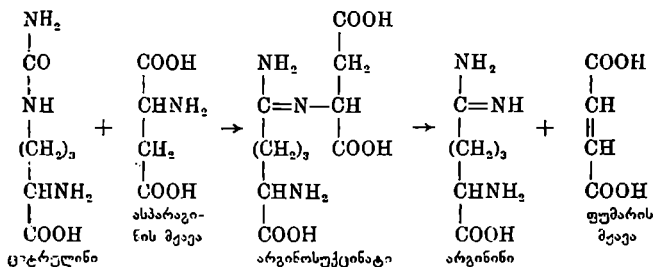
როგორც ნახსენები იყო, გლუტამინი ასრულებს ამონიაკის გადამტანის როლს. ის სისხლის საშუალებით მიემართება ღვიძლში და იქ მისგან გლუტამი-ნაზის მოქმედებით თავისუფლდება ამონიაკი. ამონიაკის შებოქვის რეაქცია შარდოვანას სახით იწყება კარბამილ-ფოსფატის სინთეზით. ამ რეაქციაში მონა-წილეობას ღებულობს N-აეტილგლუტამინის მკევა, ამონიაკი და ნახშირორ-ჟანგი. სინთეზისათვის საჭირო ენერგია მიეწოდება ატფ-ს საშუალებით. ხოლო N-აეტილგლუტამინის მკევა ასრულებს კოფაქტორის როლს.



კარბამილფოსფატს ახასიათებს ქიმიური აქტივობის დიდი უნარი. ამიტომ ის ადვილად შედის რეაქციაში ორნიტინთან, რის შედეგად იქმნება ციტრულინი:

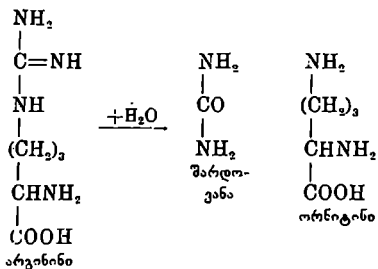


სინთეზის შემდეგ ეტაპზე ადგილი აქვს ციტრულინის ამიდირებას ასპარაგინის შეყვას ამინის ჯგუფის ხარჯზე. შუალედი პროდუქტის სახით წარმოიშობა არგინოსუქცინატი. ამ რეაქციისათვის აგრეთვე საჭიროა ატფ-ს დაშლის ენერგია.



არგინოსუქცინატი ფერმენტ C-N-ლიაზის საშუალებით იშლება არგინინად და ფუმარის მეყად. ეს დაშლის რეაქცია იმის ანალოგიურია, რომელსაც ადგილი აქვს ადენოსუქცინატის გარდაქმნისას.

შარლოვანას სინთეზის უკანასკნელი ეტაპი დაკავშირებულია არგინინის ფერმენტულ ჰიდროლიზთან, რომელსაც ააქტივებს არგინინაზა. ჰიდროლიზის შედეგად წარმოიშობა ორნიტინი და შარლოვანა.

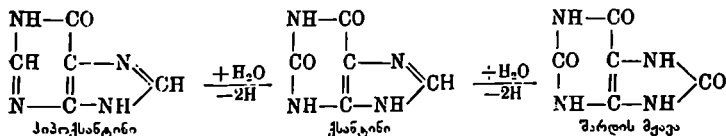


ამგვარად, შარლოვანას სინთეზში მონაწილეობას ღებულობს შემდეგი ამინომეყეები: N-აცტილგლუტამინის მეყა, ორნიტინი, ციტრულინი, ასპარაგინის მეყა და არგინინი.

ქუქუმწოვართა შარდში აზოტის ცვლის უკანასკნელი პროდუქტის სახით გამოდის შარლოვანა. ამიტომ ცხოველთა ეს ჯგუფი გაერთიანებულია აზოტის

ცვლის თვალსაზრისით ურეოლიტიურ ტიპში. ფრინველების და რეპტილიების შარდში გადადის ძირითადად შარდის მჟავა. ეს ცხოველები ერთიანდება ურეოლიტიური ტიპის სახით. ურეოლიტიური ტიპის ცხოველებში შარდის მჟავას სინთეზი წარმოებდა მცირე რაოდენობით.

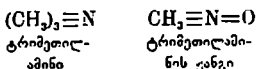
გარკვეულია, რომ შარდის მჟავას სინთეზს წინ უსწრებს ჰიპოქსანტინის შექმნა. ჰიპოქსანტინის სინთეზისათვის, როგორც ეს უკვე აღნიშნული იყო, მოიხმარება გლიცინი, გლუტამინი, აპარაგინის მჟავა, ნახშირორჟანგი და ჰინკველას მჟავა. იქმნება ნუკლეოტიდი ინოზინის მჟავას სახით, სადაც ჰიპოქსანტინი ან ამინირებას განიცდის და შემდეგ გამოიყენება ნუკლეინის მჟავების სინთეზში, ანდა დაიყვანება შარდის მჟავამდე.



ზემოთ მოტანილ გარდაქმნებში მონაწილეობას ღებულობს ფერმენტი ქსანტინოქსიდაზა. ჰიპოქსანტინის სინთეზი წარმოებს ღვიძლში, ხოლო მისი დაეანგვა — თირკმელებში.

უხერხემლო ცხოველები გამოყოფენ შარდში ძირითადად ამინომჟავებს. აქედან ის დასკვნა უნდა იქნეს გამოტანილი, რომ მათ არა აქვთ განვითარებული გამოყოფის სისტემა და აზოტოვანი ცვლა ნაკლებად ეფექტურია.

თევზებში აგრეთვე არ ხდება ამონიაკის დაკავშირება სპეციალურ ნაერთებში, რომელთა საშუალებით აცილებული უნდა იქნეს ამონიაკის ტოქსიკური გავლენა. ამონიაკი უშუალოდ გადადის გარემო წყალში. ამიტომ თევზები ეკუთვნიან ცხოველთა ამონიტელიური ტიპის ჯგუფს. ზღვის თევზებში, განსხვავებით მტკნარი წყლის თევზებისაგან, აზოტის მნიშვნელოვანი ნაწილი გამოიყოფა ტრიმეთილამინის ქანგის სახით.



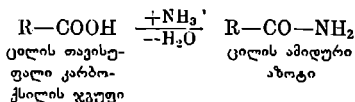
§ 18. ამონიაკის განთავისუფლებისა და ათილამინის პროცესი

ამინომჟავათა გარდაქმნის საბოლოო პროდუქტის სახით წარმოიშობა ამონიაკი, მაგრამ მისი დაგროვება ორგანიზმში არააძროს არ ხდება. ის მაშინვე აცილება სხედასხვა ნაერთების სინთეზით. ორგანიზმიდან აზოტის ცვლის უკანასკნელი პროდუქტის სახით გამოიყოფა შარდოვანა. შარდის მჟავა, კრეატინინი, ტრიმეთილამინის ქანგი, ამინომჟავები და სხვ. ყველა შემთხვევაში ამ ნაერთების წყარო არის ამონიაკი.

იზოტოპური ტექნიკის საშუალებით გამოირკვა, რომ ამონიაკის აცილება ყველაზე უფრო სწრაფად წარმოებს გლუტამინის მჟავათი. გლუტამინის მჟავა იკავშირებს ამონიაკს და იქმნება გლუტამინი. უკვე აღნიშნული იყო, რომ ამ რეაქციას ააქტივებს გლუტამინსინთეტაზა, კოფერმენტის როლს კი ატვ ასრულებს. ცხოველთა ორგანიზმში ეს რეაქცია უფრო მეტი სიჩქარით წარმოებს თავის ტვინში. ამონიაკის აცილების მეორე გზა დაკავშირებულია ლიმონმჟავას ციკლთან. ნახშირწყლების აერობული გარდაქმნის შუალედი პროდუქტების სახით

წარმოიშობა კეტომჟავები, რომელნიც გამოდიან ამონიაკის აქცეპტორის როლში. წამყვანი როლი ამ რეაქციაში ეკუთვნის გლუტამატდეჰიდროგენაზას, რომელიც ააქტივებს α -კეტოგლუტარის მჟავას აღდგენით ამინირებას. კოფერმენტის როლს ამინირების რეაქციაში ასრულებს ნად-2H.

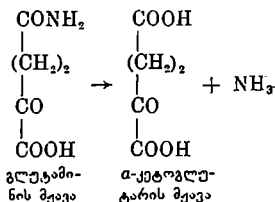
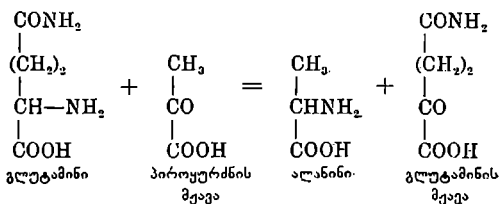
უფრო ნაკლები მასშტაბით წარმოებს ამონიაკის აცილება ცილის თავისუფალი კარბოქსილების საშუალებით. ფერმენტი, რომელიც ამ რეაქციას ააქტივებს, ბოლომდე არ არის შესწავლილი. ცნობილია, რომ ამილირება დაკავშირებულია ენერჯის მოხმარებასთან, რომლის წყარო ატფ არის



ცილის თავისუფალი კარბოქსილის ჯგუფების სახით წარმოდგენილია გლუტამინის მჟავას ამინის ჯგუფიდან დაშორებული კარბოქსილი.

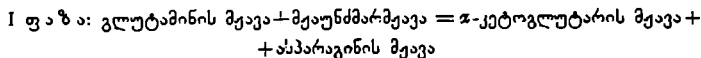
ზემოხსენებული ამცილებლების გარდა ორგანიზმში ამონიაკის შებოქვაში მონაწილეობას ღებულობს სხვა ნაერთებიც, რომელთა შორის ინოზინის მჟავას, ჰოგორც ამას ქვემოთ დავინახავთ, განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება.

ამონიაკის ამცილებლები ამავე ღროს წარმოადგენენ ამონიაკის წყაროს. პირველ ყოვლისა, ეს უნდა ითქვას გლუტამინის შესახებ. არსებობს ორი ფერმენტი, რომელიც ააქტივებს გლუტამინის დეზამილირებას და მისგან ამონიაკის განთავისუფლებას: გლუტამინაზა I, რომელიც აქტივდება ფოსფატით, და გლუტამინაზა II, რომლის აქტივატორის სახით გვევლინება კეტომჟავები. გლუტამინაზა II ჩვენ უნდა მივაკუთვნოთ ამინოტრანსფერაზების ჯგუფს. ის მოქმედებს იქნენ კეტომჟავების თანდასწრებისას იმიტომ, რომ ხელს უწყობს გლუტამინისაგან (და არა გლუტამინის მჟავასაგან) ამიდის ჯგუფის გადატანას კეტომჟავაზე. რეაქციის შედეგად გლუტამინისაგან მიიღება ე. წ. გლუტამინის მჟავა, რომლის ამიდური ჯგუფი სპონტანურად იშლება ამონიაკის განთავისუფლებათ:

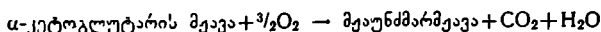


გასაგები რომ გაზღეს, თუ რა გზით წარმოებს ამინომჟავებიდან ამონიაკის განთავისუფლება, უნდა გვახსოვდეს, რომ ცხოველთა ორგანიზმში არც ერთი ამინომჟავა უშუალოდ ეანგვეს არ განიცდის, სანამ ის ამინის ჯგუფისაგან არ განთავისუფლდება. ეს ზღედა ამინოჯგუფის გადატანით ძირითადად α -კეტო-გლუტარისა და მეთუნქმარჟავებზე (ვალამინირების რეაქცია). ერთადერთი ამინომჟავა, რომელიც უშუალოდ იეანგება, ეს გლუტამინის მჟავაა.

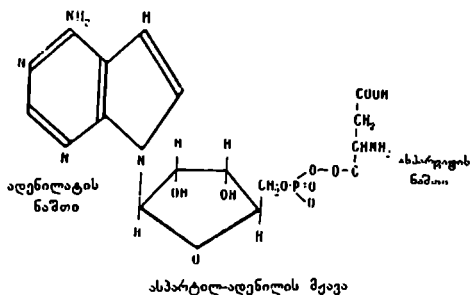
დიდი ზანი არ არის, რაც აღმოჩენილია, რომ გლუტამინის მჟავა იეანგება ასპარაგინის მჟავამდე. ეს რეაქცია მიმდინარეობს მეთუნქმარჟავას თანდასწრებით. პირველ ფაზაში ადგილი აქვს ვალამინირებას, რის შედეგად გლუტამინის მჟავადან მიიღება α -კეტოგლუტარის მჟავა:



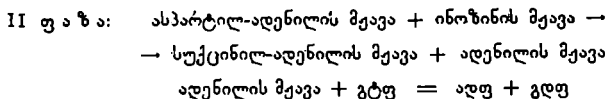
მეორე ფაზაში α -კეტოგლუტარის მჟავა იეანგება მეთუნქმარჟავამდე და ამ გზით გლუტამინის მჟავა ჩაერთვის ლიმონის მჟავას ციკლში



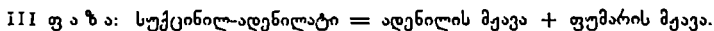
ასპარაგინის მჟავადან იწყება რთული გარდაქმნა, რომელიც მთავრდება ამონიაკის განთავისუფლებით. პირველ ყოვლისა, ასპარაგინის მჟავა აქტივდება ატფ-ით და წარმოიშობა ამინოციკლადენილატი:



მეორე ფაზაში ასპარტილ-აღენილის მჟავადან ასპარტატის ნაშთი გადაისროლება ინოზინის მჟავაზე და მიიღება სუქცინილადენილის მჟავა. ამ რეაქციაში კოფერმენტის როლს გუანოზინტრიფოსფორის მჟავა ასრულებს.



მესამე ფაზაში სუქცინილ-აღენილის მჟავა იშლება და იქმნება აღენილის მჟავა და ფუმარის მჟავა.



მეოთხე ფაზაში აღენილის მჟავა ღეზამინირებას განიცდის აღენილღეზამინაზის კატალიზური მოქმედებით, რის შედეგად წარმოიშობა ისევ ინოზინის მჟავა და თავისუფლდება ამონიაკი.

IV ფ ა ზ ა: აღენილის მჟავა — ინოზინის მჟავა + $\cdot NH_3$

მაშასადამე, ამინომჟავებიდან ამონიაკის განთავისუფლებაში კოფერმენტულ მოქმედებას იჩენს ინოზინის მჟავა. პროცესი იწყება გლუტამინის მჟავას დაჟანგვით. უკანასკნელ ხანში შიღებული მონაცემების მიხედვით მიტოქონდრიებში ამონიაკის განთავისუფლება ასპარაგინის მჟავადან უნდა ხდებოდეს ნად-ის კოფერმენტული მოქმედებით. საჭიროა გავიხსენოთ, რომ ნად-ის ერთ-ერთი კომპონენტი აღენილის მჟავა არის. ნად-ის მონაწილეობა ამონიაკის ცვლაში ისაზღვრება მასში შემავალი აღენილის მჟავას უკუქცევადი ღეზამინირებით.

თ ა ვ ი მ ე ა თ ა

ნუკლეოტიდები და ნუკლეინის მჟავები

ნუკლეოტიდები ანუ ნუკლეინის მჟავები ბუნებაში გავრცელებულია როგორც თავისუფალი, ისე დი- და პოლინუკლეინის მჟავების სახით. უკანასკნელ შემთხვევაში ისინი დაკავშირებული არიან ცილებთან და ქმნიან ნუკლეოპროტეიდებს.

R § 1. ნუკლეოპროტეიდები და პოლინუკლეინის მჟავები

ნუკლეოპროტეიდების ძირითადი მასა წარმოდგენილია უჯრედის ბირთვში. ნაკლები რაოდენობით ნაპოვია ციტოპლაზმაში, სახელობრ, ციტოპლაზმის ისეთ სტრუქტურულ წარმონაქმნებში, როგორც არის მიტოქონდრიები, მემბრანები და გრანულები.

ნუკლეოპროტეიდები განსაკუთრებულ ყურადღებას იპყრობენ მას შემდეგ, რაც გამოირკვა, რომ ვირუსი ქიმიური თვალსაზრისით ნუკლეოპროტეიდს წარმოადგენს. თამბაქოს მოზაიკური დაავადების ვირუსი შეიძლება დამზადდეს კრისტალური პრეპარატის სახით. ეს პრეპარატი თავისი თვისებებით რთულ ცილას წარმოადგენს. მცენარეულ ორგანიზმში ვირუსის შეყვანისას მისი რაოდენობა მატულობს, ის მრავლდება, ე. ი. ამჟღავნებს სიცოცხლის ნიშნებს.

ნუკლეოპროტეიდი მერყევ, ლაბილურ სისტემას წარმოადგენს. საჭიროა განსაკუთრებული პირობების დაცვა, რომ ის არ დაიშალოს. ეს თვისება ცილაზე იმდენად არ არის დამოკიდებული, რამდენად პოლინუკლეინის მჟავებზე. არჩევნად ორგანო პოლინუკლეინის მჟავას: დეზოქსირიბონუკლეინისა და რიბონუკლეინის მჟავას. პირველი გამოყოფილი იყო თიმუსიდან (თიმონუკლეინის მჟავა) და უფრო უჯრედის ბირთვისათვისაა დამახასიათებელი. მეორე მიიღეს საფუარებიდან (საფუვრის ნუკლეინის მჟავა) და დამახასიათებელია ციტოპლაზმისათვის. ნუკლეოპროტეიდების ცილოვანი კომპონენტი ცხოველებში შეიძლება იყოს პროტამინები, ჰისტინები და ალბუმინები.

ქვემოთ ტაბულაში მოტანილია ზოგიერთი მონაცემები დეზოქსირიბონუკლეინისა და რიბონუკლეინის მჟავების შესახებ.

პოლინუკლეინის მეავა	ციტოპლაზმა	ბირთვი
	რიბონუკლეინის მეავა	დეზოქსირიბონუკლეინის მეავა
პენტოზა	d (-) რიბოზა	d (-) დესოქსირიბოზა
პირიმიდინის ფუძეები	ციტოზინი, ურაცილი	ციტოზინი, თიმინი
პურინის ფუძეები	ადენინი, გუანინი	ადენინი, გუანინი

ნუკლეინის მეავები მაღალმოლეკულური ნაერთებია, რომელთა შენებაში მონაწილეობას ღებულობს მრავალი ნუკლეოტიდი. დეზოქსირიბონუკლეინის მეავა შემთავებაში გამოკვეთულია, რომ მისი მოლეკულური წონა რამდენიმე ათეულ მილიონს აღწევს. ცხოველური და მცენარეული ქსოვილებიდან გამოიყოფილია სპეციფიკური ფერმენტი — ნუკლეაზა, რომელიც პოლინუკლეოტიდებს სწრაფ დეპოლიმერიზაციას იწვევს, რის შედეგად ბლანტი ხსნარის წებო-რანობა ძლიერ მცირდება.

პოლინუკლეინის მეავას მოლეკულაში მრავალჯერ მეორდება ოთხი მონონუკლეინის მეავა ანუ ნუკლეოტიდი. ნუკლეოტიდის შენებაში თავის მხრივ მონაწილეობას ღებულობს სამი კომპონენტი — აზოტოვანი ფუძე, პენტოზა და ფოსფორის მეავა. აზოტოვანი ფუძეებიდან ნუკლეოტიდებში წარმოდგენილია პურინისა და პირიმიდინის ფუძეები: პურინის ფუძეებიდან — ადენინი და გუანინი, ხოლო პირიმიდინის — ურაცილი, ციტოზინი და თიმინი. საგულისხმოა ის, რომ დეზოქსირიბონუკლეინის მეავას შენებაში მონაწილეობას ღებულობს ადენინი, გუანინი, თიმინი და ციტოზინი, ხოლო რიბონუკლეინის მეავაში ციტოზინის მაგივრად წარმოდგენილია ურაცილი. მეორე განსხვავება იქიდან გამომდინარეობს, რომ დეზოქსირიბონუკლეინის მეავას შენებაში მონაწილეობას ღებულობს პენტოზა — დეზოქსირიბოზა, ხოლო რიბონუკლეინის მეავას — რიბოზა.

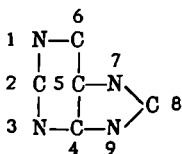
ამგვარად, დეზოქსირიბონუკლეინის მეავას მოლეკულაში მეორდება შემდეგი მონონუკლეინის მეავები ანუ ნუკლეოტიდები: ადენილის, გუანილის, თიმიდილისა და ციტიდილის მეავები. რიბონუკლეინის მეავა აშენებულია ადენილი, გუანილი, ციტიდილისა და ურიდილის მეავებისაგან.

პოლინუკლეოტიდების სხვა თვისებებიდან აღსანიშნავია მათი არაჩვეულებრივი მგრძობიარობა რენტგენისა და რადიოგამოსხივებისადმი. გამოსხივება იწვევს პოლინუკლეოტიდის დეპოლიმერიზაციას. ამ გარემოებით უნდა აიხსნას ძირითადად ის უარყოფითი გავლენა, რომელსაც ზემოხსენებული გამოსხივება იწვევს უჯრედში.

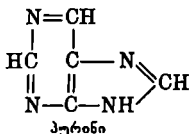
§ 2. პურინისა და პირიმიდინის ფუძეები

პურინის ფუძეებიდან ნუკლეინის მეავების შენებაში მონაწილეობას ღებულობენ მხოლოდ ამინოპურინები, სახელდობრ, ადენინი ან გუანინი.

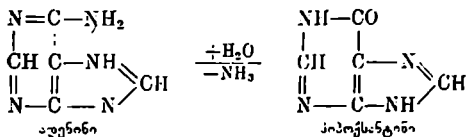
პურინის ფუძე შეიძლება განვიხილოთ როგორც პურინის ნაწარმი:



პურინის ბირთვი

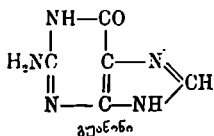


ადენინი წარმოადგენს 6-ამინოპურინს. ორგანიზმში ის მოიპოვება როგორც ნუკლეინის მჟავაში დაკავშირებული, ისე თავისუფალი სახით, მაგალითად: ვანაველში, შარდში, ჩაის ფოთოლში, იონჯაში და სხვ. ადენინი დაეანგვითი დეზამინირებისას ჰიპოქსანტინში გადადის:

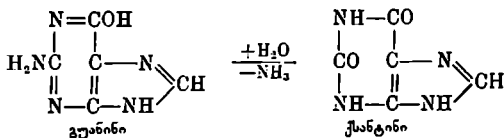


ჰიპოქსანტინი წარმოადგენს 6-ოქსიპურინს.

მეორე ამინოპურინი, რომელიც მონაწილეობას ღებულობს ნუკლეინის მჟავას შენებაში, არის გუანინი, 2-ამინო-6-ოქსიპურინი:

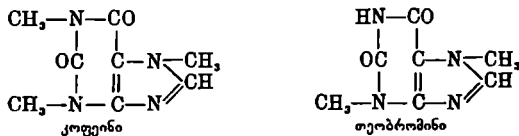


გუანინი წარმოადგენილია თავისუფალი სახითაც სხვადასხვა ორგანოში. მცენარეულობაში ის გვხვდება ადენინთან ერთად. ეანგვითი დეზამინირებისას სპეციფიკურ ფერმენტ დეზამინაზას მოქმედებით ქსანტინში გადადის.



ქსანტინი და ჰიპოქსანტინი გადადიან შარდში. მცენარეულობაში ჰიპოქსანტინი ნაპოვია მღოგვში და ლუბინებში, ქსანტინი კი — ჩაის ფოთოლში.

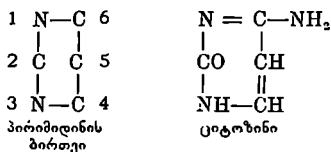
ზოგიერთ მცენარეში მეთილირებული პურინების დიდი რაოდენობა გროვდება. მათგან, პირველ ყოვლისა, აღსანიშნავია კოფეინი (ჩაი და ყავა) და თეობრომინი (შოკოლადის ხე).



ეს ნაერთები ნერვულ სისტემაზე მოქმედებენ როგორც ამგზნები საშუალება.

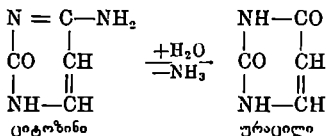
პირიმიდინის ფუძეებიდან ნუკლეინის მჟავების შენებაში მონაწილეობას ღებულობს ან ციტოზინი, ან ურაცილი ანდა თიმინი. ეს ფუძეები აღმოჩენილი და შესწავლილია კოხლიის მიერ. მათი მოლეკულის შენებას საფუძველად უდევს პირიმიდინის ბირთვი.

ციტოზინი ამინოპირიმიდინების ჯგუფს ეკუთვნის; ამინის ჯგუფის გარდა შეიცავს აგრეთვე კეტო-ჯგუფს. წარმოადგენს 6-ამინო-2-ოქსიპირიმიდინს:

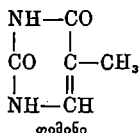


ციტოზინი მონაწილეობს ლებულობს მრავალი ნუკლეინის მკავას შენებაში.

ურაცილი წარმოადგენს 2,6-დიოქსიპირიმიდინს; ციტოზინთან იმავე დამოკიდებულებაშია, როგორც ქსანთინი გუანინთან. ციტოზინის დეზამინირების მიხედვით ურაცილი:



თიმინი (5-მეთილ-2,6-დიოქსიპირიმიდინი) ურაცილის მეთილირების პროდუქტია

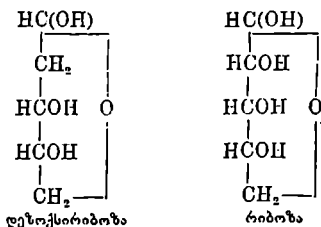


ურაცილი და თიმინი, როგორც ეს მათი შენებიდან ჩანს, თავისუფალი ამინის ჯგუფს არ შეიცავენ.

§ 3. ნუკლეინის მთავრის დანარჩენი კომპონენტები

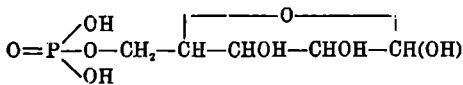
პურინისა და პირიმიდინის ფუძეების გარდა, ნუკლეინის მკავეების შენებაში მონაწილეობას ლებულობს ფოსფორის მკავე და ნახშირწყლები. ფოსფორის მკავე ორგანულ ნაშთთან ყოველთვის ან ჰიდროქსილის ან ამინის ჯგუფების საშუალებით კავშირდება. ნუკლეინის მკავეებში ამ ორგვარ დაკავშირებას აქვს ადგილი.

რაც შეეხება ნახშირწყლებს, ნუკლეინის მკავეები შეიცავენ პენტოზას, იშვიათად — ჰექსოზას. პენტოზებიდან ნუკლეინის მკავეს შენებაში მონაწილეობას ლებულობს რიბოზა და დეზოქსირიბოზა.



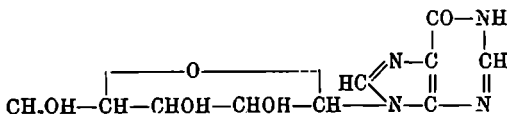
§ 4. ნაკლეოზიდები

ნუკლეოტიდების ფრაქციული ჰიდროლიზის დროს შედარებით მარტივი შენების შქონე ნაერთები მიიღება. ეს ნაერთებია ცნობილია ნუკლეოზიდების სახელწოდებით. ჰიდროლიზური დაშლის პირობების მიხედვით მონონუკლეინის მქავე იძლევა სხვადასხვა შენების შქონე ნაერთებს. მაგალითად ინოზინის მქავესაგან სუსტი მქავეათი ჰიდროლიზის დროს მიიღება — რიბოზოფოსფორის მქავე, რომელსაც შემდეგი შენება აქვს:



რიბოზოფოსფორის მქავე

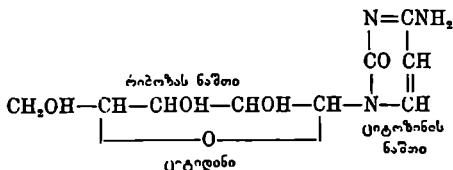
შეორე მხრივ, თუ ჰიდროლიზი ნეიტრალური რეაქციის დროს მაღალა წნევის ქვეშ წარმოებს, მიიღება ნუკლეოზიდი — ჰიპოქსანტოზინი, რომელიც აშენებულია ჰიპოქსანტინისა და რიბოზისაგან:



რიბოზო-ჰიპოქსანტინი

მაშასადამე, ნუკლეოზიდები აშენებულია ყოველთვის ორი კომპონენტისაგან. შესწავლილია აგრეთვე ისეთი ნუკლეოზიდები, რომელთა შენებაში მონაწილეობას ღებულობს არა პურინის, არამედ პირიმიდინის ფუძეები.

იმ ნუკლეოზიდების ჯგუფს, რომელიც პურინებს შეიცავს, ეკუთვნის გუანოზინი და ადენოზინი. ეს ნუკლეოზიდები მიღებული იყო საფუარების ნუკლეინის მქავებას ფრაქციული ჰიდროლიზის შედეგად. საფუარების ნუკლეინის მქავეებიდან მიღებული იყო აგრეთვე ნუკლეოზიდი ციტიდინი, რომლის შენებაში მონაწილეობას ღებულობს პირიმიდინის ფუძე ციტოზინი და ნახშირწყალი რიბოზა:



რიბოზის ნაწილი

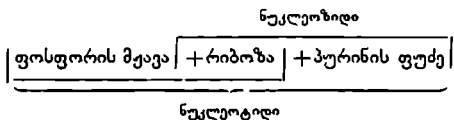
ციტოზინის ნაწილი

ციტიდინი

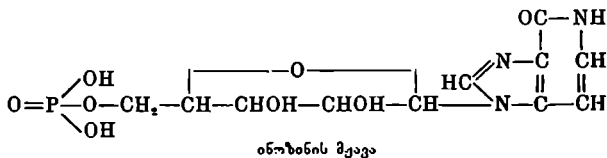
§ 5. ნაკლეოტიდები

ნუკლეოტიდი ანუ მონონუკლეინის მქავე აშენებულია სამი კომპონენტისაგან. ამ ნაერთების ჯგუფს ეკუთვნის, მაგალითად, ინოზინის მქავე, რომელიც აღმოჩენილი იყო ლიბიხის მიერ ზორცის ექსტრაქტში. ინოზინის მქავეს სტრუქტურის გარკვევისათვის წარმოებული იყო ფრთხილი ჰიდროლიზი იმგვარად, რომ მისი სრული დაშლა არ მომხდარიყო. გამოიკვია, რომ, თუ ჰიდრო-

ლიზი ტუტე არეში მიმდინარეობს, მიიღება ერთი ნაერთი, ზოლო მკევეური ჰიდროლიზისას — მეორე. ინოზინის მკევეს სრული ჰიდროლიზური დაშლის შედეგად აღმოჩენილ იქნა ფოსფორის მკევა, რიბოზა და ჰიპოქსანტინი. ფრაქციული ჰიდროლიზის დროს მიღებულ ორ ნაერთს აქვს საერთო წევრი რიბოზა. ნუკლეინის მკევეს ფრთხილი ჰიდროლიზის დროს მიღებულ პროდუქტს, ლევიჩის წინადადებით, ეწოდა ნუკლეოზიდი და თვით ნუკლეინის მკევეს — ნუკლეოტიდი. მაშასადამე, ნუკლეოტიდი ჩვენ უნდა წარმოვიდგინოთ როგორც სამი კომპონენტის დაკავშირების პროდუქტი. რთული მოლეკულის ჰიდროლიზური დაშლა ორი მიმართულებით უნდა მიმდინარეობდეს, როგორც ეს ქვემოთ მოტანილი სქემიდან ჩანს:



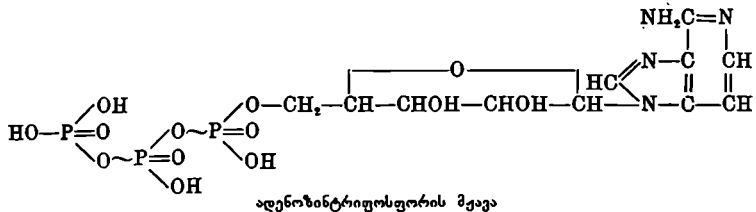
ამგვარი მონაცემების მიღების შემდეგ ინოზინის მკევეს სტრუქტურის გამორკვევაც გააღვილდა:



ინოზინის მკევეს ზემოთ მოტანილი სტრუქტურული ფორმულა განმარტავს მისგან რიბოზოფოსფორის მკევესა და რიბოზოჰიპოქსანტინის წარმოშობის მიზეზს.

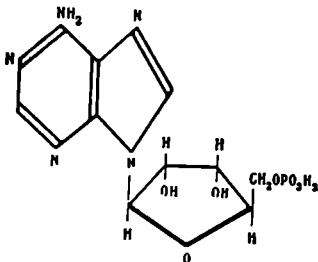
ცოცხალი კუნთი შეიცავს არა ინოზინის მკევეს, არამედ ადენოზინტრიფოსფორის მკევეს. ადენოზინტრიფოსფორის მკევესაგან ჯერ მიიღება ადენოზინდიფოსფორის მკევა, შემდეგ ადენილის მკევა და ბოლოს ადენილის მკევეს დეზამინირების პროდუქტი — ინოზინის მკევა.

ადენოზინტრიფოსფორის მკევეს შენებაში მონაწილეობას ღებულობს პირაფოსფორის მკევა. ამისათვის მას უწოდებენ აგრეთვე ადენილიპროფოსფორის მკევეს. შემოკლებით აღნიშნავენ — ატფ.



ადენოზინტრიფოსფორის მკევეს დიდი მნიშვნელობა ენიჭება, ვინაიდან სასიცოცხლო პროცესებში მას შეუძლია ენერჯის დიდი რაოდენობის გამოყოფა. ერთდროულად ის კოფერმენტის როლს ასრულებს, ფოსფორილების რეაქციებში, როგორც ფოსფატის დონატორი.

სპეციფიკური ენზიმის ატფ-პიროფოსფორილზანა მოქმედებით ადენოზინ-ტრიფოსფორის მჟავა კარგავს პიროფოსფატს და ადენილის მჟავაში გადადის.

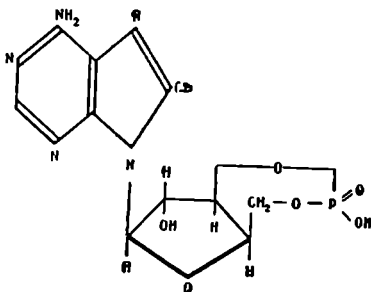


ადენოზინმონოფოსფორის მჟავა
(ადენილის მჟავა)

ადენილის მჟავაში წარმოდგენილია თავისუფალი ამინის ჯგუფი. ამ ჯგუფის დაკარგვის შემდეგ იქმნება ინოზინის მჟავა.

ადენოზინტრიფოსფორის მჟავას გარდა ცხოველთა სხვადასხვა ორგანოში და ქსოვილში ნაპოვნია ადენინ-ნუკლეოტიდების მთელი რიგი: ადენოზინ-დიფოსფორის, დიადენოზინ-პენტაფოსფორისა და დიადენოზინ-ტეტრაფოსფორის მჟავა. როგორც სახელწოდებიდან ირკვევა, ზემოხსენებული ადენინ-ნუკლეოტიდები ურთიერთისაგან მოლეკულაში შემავალ კომპონენტთა რიცხვით განსხვავდება. ისინი უჭრედში ფუნქციონირებენ როგორც კოფერმენტები ფოსფორილირების პროცესებში.

უკანასკნელ დროს დიდი ყურადღება მიიპყრო ადენილის სისტემის ერთმა წარმომადგენელმა, სახელდობრ, ადენოზინ 3', 5'-მონოფოსფორის მჟავამ. ამ ნაერთში ფოსფატის ნაშთი დაკავშირებულია ერთდროულად რიბოზის მეხამე და მეხუთე ნახშირბადთან ერთდროულად.



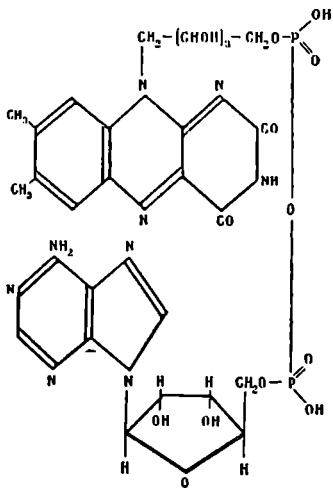
ადენოზინ-3', 5'-მონოფოსფორის მჟავა
(ციკლური ადენილის მჟავა)

ადენოზინ-3',5'-მონოფოსფატი (3', 5'-ამფ) ასრულებს კოფერმენტის როლს რეაქციებში, რომელნიც აქტივდებიან კორტიკოსტეროიდებით. აღრენალინით და მთელი რიგი სხვა ჰორმონებით. ჰორმონისა და 3', 5'-ამფ ურთიერთ-

კავშირი იმაში გამოიხატება, რომ ჰორმონი მოქმედებს ფერმენტ ცილაზაზე, რომლის კატალიზური მოქმედებით აქტივდება ატფ-ს გარდაქმნა 3', 5'-ამფ-ად. თავის მხრივ 3', 5'-ამფ მოქმედებს როგორც სტიმულატორი გარკვეულ ფერმენტულ სიტუმაზე და ამით ხორციელდება ჰორმონის გავლენა ნივთიერებათა ცვლის რეგულაციაზე. 3', 5'-ამფ-ის მოქმედება, როგორც აქტივატორის, ისაზღვრება გარდასაქმნელი ნაერთის ფოსფორილირებით.

ბუნებაში გავრცელებულია აგრეთვე ადენინ-ნუკლეოტიდების ნაერთები ისეთ აქტიურ ნივთიერებებთან, როგორიცაა ნიკოტინის მჟავას ამიდი, რიბოფლავინი და თიამინი. ეს რთული ნაერთები მონაწილეობას ღებულობენ უჯრედში მიმდინარე ცვლის პროცესებში ან თავისუფალი სახით (ნად-ი), ან ცილოვან მზიდველთან დაკავშირებულად.

ქვემოთ ჩამოთვლილია ის ნუკლეოტიდები, რომელნიც ყურადღებას იპყრობენ როგორც კოფერმენტები. მათ შორის, პირველ ყოვლისა, აღსანიშნავია ნიკოტინამიდი-დინუკლეოტიდი (ნად და ნად-2H). ნად-ი დინუკლეოტიდია: ერთი ნუკლეოტიდი ეს ადენილის მჟავაა, ხოლო მეორე ნუკლეოტიდი შეიცავს აზოტოვანი ფუძის სახით ნიკოტინის მჟავას ამიდს. ნიკოტინის მჟავას ამიდი წარმოადგენს ვიტამინს — ანტიპელაგრულ ფაქტორს, რომელიც ჩვეულებრივად აღინიშნება როგორც ვიტამინი PP.

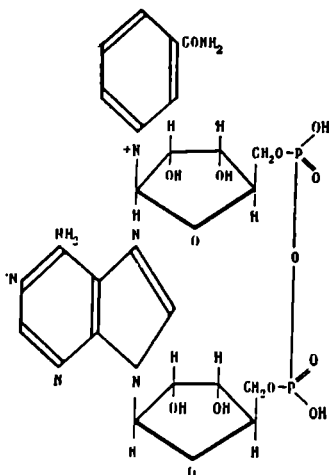


ნიკოტინამიდ-დინუკლეოტიდი (ნად).

ნად-ის კოფერმენტული ბუნება იმაში გამოიხატება, რომ ის მონაწილეობას ღებულობს ჟანგვა-აღდგენით რეაქციებში როგორც წყალბადის გადამტანი. ის დაკავშირებულია რიგ დეჰიდროგენაზებთან და აქტიურ როლს ასრულებს მიტოქონდრიების სუნთქვის ჯაჭვში.

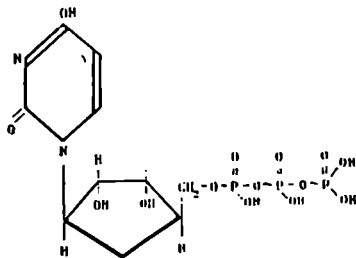
ფლავინადენინ-დინუკლეოტიდი (ფად) აგრეთვე მონაწილე-

ობას ღებულობს ჟანგვა-აღდგენით რეაქციებში როგორც წყალბადის გადამტანი. ის არის ფლავინის ფერმენტების პროსტეტული ჯგუფი და მიტოქონდრიების სუნთქვის ჯაჭვის აუცილებელი კომპონენტია.



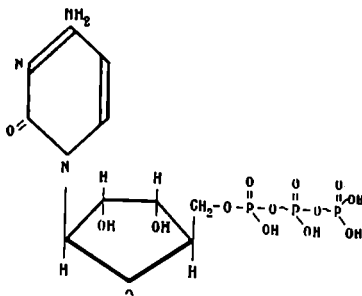
ფლავინადენინ-დინუკლეოტიდი (ფად)

ციტიდილტრიფოსფორის მუკავა (ცტფ) ასრულებს კოფერმენტის როლს ფოსფოლიპიდების სინთეზში. მისი საშუალებით აქტივდება იმ აზოტოვანი ფუნქციების ფოსფორილირება, რომელნიც კავშირდებიან დიგლიცერიდებთან და ამ გზით მონაწილეობას იღებენ ფოსფოლიპიდების სინთეზში.



ციტიდილტრიფოსფატი (ცტფ)

ურიდილტრიფოსფორის მუკავა ის კოფერმენტია, რომელიც მონაწილეობას ღებულობს შაქრების, კერძოდ გალაქტოზისა და გლუკოზის ვერმენტულ ურთიერთგარდაქმნაში.



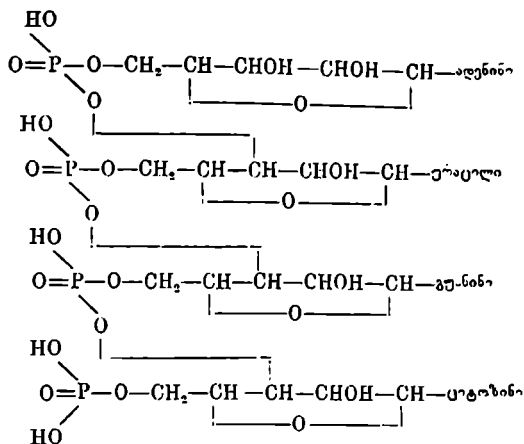
ურდილტრიფოსფატი

შაქრების ურთიერთგარდაქმნა იწყება მათი ფოსფორილირებით. ამ რეაქციაში მონაწილეობას ღებულობს ატფ. გარდაქმნის შემდგომ ეტაპზე ფოსფორილირებული შაქარი რეაგირებს ურიდილტრიფოსფატთან და შაქარი კავშირდება ურიდილდიფოსფოშაქრის სახით. გააქტივებული შაქარი მომდევნო რეაქციაში შესაძლებელია გარდაიქმნას ან იზომერულ შაქრად, ან ურონის მჟავად, ან ამინოშაქრად, ანდა მონაწილეობა მიიღოს სხვა სინთეზურ რეაქციებში (მაგალითად, ნეირამინის მჟავასა და ცერებროზიდების სინთეზში).

გ უ ა ნ ო ზ ი ნ ტ რ ი ფ ო ს ფ ო რ ი ს მ ჟ ა ვ ა ს (გტფ), როგორც კოფერმენტს, დიდი მნიშვნელობა ენიჭება პეპტიდური ჯაჭვის შექმნაში, რომელსაც ადგილი აქვს რიბოსომებზე. ფიქრობენ, რომ ამინო-აცილადენილატებიდან განთავისუფლებული ადენილის მჟავას გარდაქმნა ატფ-ად მიმდინარეობს გტფ-ს კოფერმენტული მოქმედებით. მეორე მნიშვნელოვანი რეაქცია, რომელშიც გტფ ღებულობს მონაწილეობას, დაკავშირებულია ადენილის მჟავას რესინთეზთან ინოზინის მჟავასაგან. ინოზინის მჟავაში ასპარაგინის მჟავას დაკავშირება წარმოებს ამინომჟავას წინასწარი გააქტივების გზით. ასპარაგინის მჟავა უკავშირდება ატფ-ს და იქმნება ასპარტილ-ადენილატი. საიდანაც ასპარტატის ნაშთი გადაისროლება ინოზინის მჟავაზე, ხოლო ადენილის მჟავადან ხელახლა ატფ-ს მიღება მიმდინარეობს გტფ-ს დახმარებით.

§ 6. პოლინუკლეინის მთავარი

პოლინუკლეოტიდები (პოლინუკლეინის მჟავები) აშენებულია მონონუკლეოტიდებისაგან (მონონუკლეინის მჟავებისაგან). ლ ე ვ ი ნ ი ს აზრით ყოველი ცალკე ნუკლეოტიდი დაკავშირებულია პოლინუკლეინის მჟავას მოლეკულაში იმგვარად, რომ პირველი ნუკლეოტიდის ნახშირწყალი უკავშირდება მეორე ნუკლეოტიდის ფოსფორის მჟავას, მეორე ნუკლეოტიდის ნახშირწყალი — მესამე ნუკლეოტიდის ფოსფორის მჟავას და იმგვარად იქმნება პოლინუკლეოტიდის რთული მოლეკულა. ლ ე ვ ი ნ ი გამოდიოდა ამ მოსაზრებიდან, როდესაც ადგენდა ფარისებრი ჭირკვლიდან მიღებული პოლინუკლეოტიდის სტრუქტურულ ფორმულას. ამ პოლინუკლეოტიდის სქემატური ფორმულა ზემოხსენებულის მიხედვით შემდეგი უნდა იყოს:



პოლინუკლეოტიდის ფრაგმენტი, გამოყოფილი ფარისებრი ჯირკვლიდან

ზემოთ მოტანილ რიბონუკლეინის მკვლევარ ფრაგმენტის შენებაათვის დაახასიათებელია ფოსფორის მკვლევარ დიესტერული ბმა, რომლის საშუალებით ერთი ნუკლეოტიდი კავშირდება მეორესთან: ფოსფორის მკვლევარ ნაწილი ერთი ბმით უკავშირდება პირველი ნუკლეოტიდის რიბოზის მეხუთე ნახშირბადს. ხოლო მეორე ბმით — მეორე ნუკლეოტიდი რიბოზის მესამე ნახშირბადის ატომს. ამის გამო მკვლევარი პილაროლიზი იძლევა 5'-მონონუკლეოტიდს. ხოლო ტუტიკა პილაროლიზის შედეგად წარმოიშობა 3'-მონონუკლეოტიდი.

ნუკლეოტიდები წარმოადგენენ მკვლევარ ხასიათის ნაერთებს. მათი მარილები იძლევა ლორწოსებრ ხსნარებს. 5% ნუკლეინმკვლევარ ნატრიუმის მარილის ხსნარით გაცივებისას მაგრდება და შუშისებრ პლასტიკურ მასას იძლევა. ნუკლეინის მკვლევარ ცილის ხსნარში შიშვებისას წარმოიშობა ნალექი, რომელიც ძალიან ემსგავსება ნუკლეოპროტეიდებს. ამის გამო. ზოგიერთი მკვლევარის აზრით. უჯრედში წარმოდგენილი უნდა იყოს არა ნუკლეოპროტეიდი. არამედ თავისუფალი პოლინუკლეინის მკვლევარ. ნუკლეოპროტეიდი კი, მათი აზრით, შეიქმნება როგორც მეორადი ნაერთი პრეპარატის დამზადებისა და გამოყოფის პროცესში.

პოლინუკლეინის მკვლევარში ნუკლეოტიდები ურთიერთკავშირდებიან ფოსფორის ესტერების კოვალენტური ბმებით. ისე როგორც ცილის მოლეკულის შენებაში, ესტერული ბმებით იქმნება პოლინუკლეოტიდის პირველადი სტრუქტურა და ისაზღვრება პოლინუკლეოტიდის მოლეკულის ფიბრილარული შენება. მეორადი სტრუქტურის დადგენაში დიდი მნიშვნელობა ენიჭება წყალბადის ბმებს. რენტგენოსტრუქტურული ანალიზის საფუძველზე უოტსონმა და კრიკმა 1953 წელს შეძლეს შეექმნათ დეზოქსირიბონუკლეინის მკვლევარ (დნმ) მოლეკულის მოდელი, რომელიც შემდეგში ჩატარებული მუშაობით საყოველთაოდ იქნა მიღებული, რადგან კარგად ასახავს დნმ-ს თვისებებს.

დნმ-ის მოლეკულის სტრუქტურის დადგენას საფუძველად დაედო ჩარგაუნს მიერ აღმოჩენილი სამი კანონზომიერება:

1. დნმ-ს მოლეკულა ყველა ორგანიზმში აშენებულია ნუკლეოტიდებიდან.

რომელთა პურიების ფუძეების ჯამი დაახლოებით უდრის პირიმიდინების ფუძეების ჯამს ($a + g = t + c$), ე. ი.

$$\frac{a+g}{t+c} = 1.$$

2. ღნმ-ს მოლეკულაში ადენინის რაოდენობა დაახლოებით უდრის თიმინის რაოდენობას. ხოლო გუანინისა — ციტოზინის რაოდენობას ($a = t$; $\frac{a}{t} = 1$ და $\frac{g}{c} = 1$)

3. ღნმ-ს მოლეკულაში თავისუფალი ამინის ჯგუფების რაოდენობა, რომელიც წარმოდგენილია ადენინში და ციტოზინში, დაახლოებით უდრის გუანინისა და თიმინის კეტოჯგუფების რაოდენობას, აქედან გამომდინარეობს, რომ

$$\frac{g+t}{a+c} = 1.$$

სხვადასხვა ორგანიზმიდან გამოყოფილი ღნმ-ს პრეპარატი ერთიძეორა. საგან განსხვავდება იმით, რომ ადენინის რაოდენობა არ უდრის გუანინის რაოდენობას, ხოლო ციტოზინისა — თიმინის ნაშთების რაოდენობას, ამიტომ შეფარდება $\frac{a+t}{g+c}$ ან მეტია, ანდა ნაკლებია ერთზე. ცხოველთა ორგანიზმებში ადენინის რაოდენობა მეტია გუანინის რაოდენობაზე, ხოლო თიმინისა — ციტოზინის რაოდენობაზე. ამიტომ აქ $\frac{a+t}{g+c}$ ერთზე მეტია. ამ შემთხვევაში ლაპარაკობენ ღნმ-ის ($a + t$) ტიპზე. მიკროორგანიზმების ღნმ-ში გუანინი და ციტოზინი სპარბობენ ადენინს და თიმინს, ამიტომ $\frac{a+t}{g+c}$ ერთზე ნაკლებია. ამ შემთხვევაში ჩვენ საქმე გვაქვს ღნმ-ის ($g + c$) ტიპთან. ამგვარად შეფარდებით $\frac{a+t}{g+c}$ ისაზღვრება ღნმ-ს სპეციფიკურობის კოეფიციენტი სხვადასხვა ორგანიზმისათვის.

სხვადასხვა წარმოშობის ღნმ-ს პრეპარატები ერთიმეორისაგან განსხვავდებიან, პირველ ყოვლისა, შეფარდებით $\frac{a+t}{g+c}$. მაგრამ ღნმ-ს მრავალფეროვნება დაკავშირებულია არა მარტო ზემოხსენებულ შეფარდებასთან, არამედ ნუკლეოტიდების რაოდენობასა და მათ თანამიმდევრობასთან პოლინუკლეინის მქავეს ჯაქვეში. ზემოთ მოტანილი სამი ფაქტორით ისაზღვრება ღნმ-ს სახეობრივი სპეციფიკურობა.

მართალია, რიბონუკლეინის მქავეების (რნმ) ნუკლეტიდური შემადგენლობა ისეთი ოდენობით არ იცვლება, როგორც ღნმ-ის, მაგრამ მინც რნმ-ს მოლეკულა ხასიათდება სახეობრივი სპეციფიკურობით. სხვადასხვა წარმოშობის რნმ-ში.

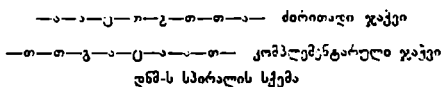
ღნმ-ის მსგავსად, შეფარდება $\frac{a+t}{g+c}$ იცვლება გარკვეულ ფარგლებში,

ხოლო შეფარდება $\frac{a+c}{g+t}$ ყოველთვის ერთს უდრის და ამიტომ ღნმ-ს მსგავსად აქაც გუანინისა და ურაცილის რაოდენობა შესაფერისად უდრის ადენინისა და ციტოზინის რაოდენობას.

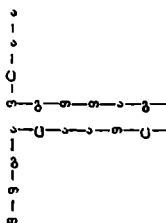
უოტსონისა და კრიკის მიხედვით დნმ-ს მოლეკულა შედგება ორი ძაფისე-
ბური ჯაჭვისაგან, რომლებიც ერთმეორესთან კავშირდება წყალბადის ბმებით.
ერთი ძაფი ლაგდება მეორე ძაფის გასწვრივ იმდაგვარად, რომ ერთი ძაფის ადუ-
ნინის NH₂ ჯგუფი კავშირდება მეორე ძაფში შემაჯავლ თიმინის CO ჯგუფთან, ხო-
ლო გუანინის NH₂ ჯგუფი — ციტოზინის CO ჯგუფთან. ამგვარად, გენეტიკური
ინფორმაციის მატარებელი პოლინუკლეოტიდური ჯაჭვი კომპლემენტარულადაა
დაკავშირებული მეორე პოლინუკლეოტიდურ ჯაჭვთან.

პოლინუკლეინის მქაფას სპირალის ღერძის გასწვრივ ყოველ 3.4 Å მანძილ-
ზე მეორდება ერთი ნუკლეოტიდი. ორ მეზობელ ნუკლეოტიდს შორის კუთხე
ჯაჭვში უდრის 36°. დადგენილია, რომ ნუკლეოტიდები ჯაჭვში ლაგდებიან იმგვარად,
რომ აზოტოვანი ფუძე მიმართულია შიგნით ძაფის ღერძისაკენ, ხოლო ფო-
სფორის მქაფას ნაშთები გამოშვებულია გარეთ. მანძილი ორ ჯაჭვს შორის დნმ-ს
მოლეკულაში უდრის 20 Å-ს. პარალელურად განწყობილი ორი ჯაჭვი იგრიხება
სპირალურად ისე, რომ სპირალის ერთ სრულ ზეველში თავადება 10 ნუკლეო-
ტიდის ნაშთი. ამიტომ ზეველის სიმაღლე 34 Å უდრის.

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, ერთი ჯაჭვი მეორესთან დაკავშირებუ-
ლია აზოტოვანი ფუძეების საშუალებით და ხორციელდება წყალბადის ბმებით.
გამომდინარე ჩარგაფის კანონზომიერებებიდან, უნდა დავუშვათ, რომ ადენინი
კავშირდება თიმინთან, ხოლო გუანინი — ციტოზინთან: აქედან ის დასკვნა უნდა
გამოვიტანოთ, რომ დნმ-ს ერთი ჯაჭვის აღნაგობა, მასში შემავალი ნუკლეოტი-
დების მორიგეობა, განაპირობებს მეორე ჯაჭვის აღნაგობას. ამ ფაქტს ის მნიშ-
ვნელობა ენიჭება, რომ დნმ-ს მოლეკულის რეპლიკაცია (გარამაგება) მიმდინა-
რეობს კომპლემენტარულად. ე. ი. როდესაც წარმოდგენილია დნმ-ს მოლეკულის
ერთი ჯაჭვი. მეორე ჯაჭვის სინთეზი წარმოებს ნუკლეოტიდების ნაშთების ისეთი
თანმიმდევრობით. რომელსაც კარნახობს არსებული პირველი ჯაჭვი. ზემოთქმუ-
ლის საილუსტრაციოდ ქვემოთ მოტანილია დნმ-ს მოლეკულის შენების და რეპ-
ლიკაციის სქემები:

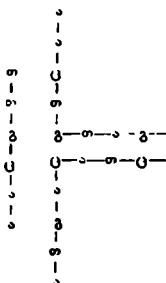


იმ შემთხვევაში, როდესაც დნმ-ს მოლეკულაში ერთი ჯაჭვი მეორეს შორ-
დება, დაშლა შემდეგი სქემების მიხედვით უნდა წარიმართოს:



დნმ-ის მოლეკულის ჯაჭვების დაწობა
ერთიმეორისაგან

კვლიყაციის დროს ახალ ჯაქვეში მეორდება ფუძეების თანმიმდევრობა:



დნმ-ის მოლეკულის რეპლიკაციის სქემა

ზემოთ მოტანილი სქემებით ხდება დნმ-ის შვილეული მოლეკულების შექმნა მშობლიური მოლეკულებისაგან უჯრედის დაყოფის დროს.

დნმ წარმოადგენს მაღალმოლეკულურ ნაერთს, აშენებულს 6000—10000 მონონუკლეოტიდის ნაშთებისაგან, მისი მოლეკულური წონა 10×10^6 აღწევს დნმ-ის ბიოლოგიური როლი იმაში გამოიხატება, რომ მასში ჩაწერილია ინფორმაცია გენეტიკურ ნიშან-თვისებათა შესახებ. ინფორმაციის კოდირება ხორციელდება დნმ-ის შენებაში მონაწილე ნუკლეოტიდების კანონზომიერი თანამიმდევრობით.

რიბონუკლეინის მკავეების (რნმ) შენება შედარებით მარტივია. ჯერ ერთი, ისინი წარმოდგენილი არიან ერთი ჯაქვით. შემდეგ, მათი მოლეკულური წონა, იმისდა მიხედვით, თუ სად არიან წარმოდგენილი და რა როლს ასრულებენ, მერყეობს ძალიან დიდ ფარგლებში. მაშინ როდესაც დნმ-ის ნუკლეოტიდური შეადგენლობა არ იცვლება სხვადასხვა ზემოქმედების შედეგად და ორგანიზმის ყველა უჯრედი შეიცავს ერთიდაიმავე შენების მქონე დნმ-ს მოლეკულას, რნმ-ს შემადგენლობა შედარებით ადვილად იცვლება უჯრედის ფუნქციურ მდგომარეობასთან დაკავშირებით და სხვადასხვა უჯრედში და ორგანოში წარმოდგენილია სხვადასხვა შემადგენლობის რნმ.

უჯრედის ბირთვში წარმოიშობა ისეთი რნმ-ი, რომლის მოლეკულური წონა შედარებით მცირეა და უდრის 3×10^5 — 5×10^7 . ის ზუსტად (კომპლემენტარულად) ასახავს დნმ-ის იმ ფრაგმენტის სტრუქტურას, სადაც მოხდა მისი სინთეზი. განსხვავება იმაში მდგომარეობს, რომ თიმიინის მაგიერად რნმ-ში წარმოდგენილია ურაცილი. ამ რნმ-ს უწოდებენ ინფორმაციულს (ი-რნმ). მისი საშუალებით ხდება იმ ინფორმაციის გადატანა, რომელიც კოდირებულია დნმ-ის შესაბამის ფრაგმენტში, იქ, სადაც ხდება ცილის სინთეზი.

უფრო ნაკლები მოლეკულური წონის არის ე. წ. ტრანსპორტული რნმ (ტ-რნმ), რომელიც წარმოდგენილია გიალოპლაზმაში. მისი დანიშნულება იმაში გამოიხატება, რომ ის გააქტივებულ ამინომკავეას გადაიტანს იქ, სადაც მიმდინარეობს ცილის სინთეზი. ტრანსპორტული რნმ-ს მოლეკულური წონა შედარებით მცირეა და 1.8×10^4 — 3.5×10^4 ფარგლებში მერყეობს. ცილის სინთეზი წარმოებს რიბოზომებთან დაკავშირებულ ი-რნმ-ზე. რიბოზომების მთავარი შემადგენელი ნაწილი არის ე. წ. რიბოსომალური რნმ, რომლის მოლეკულური წონა 2×10^6 აღწევს.

ქვემოთ ცხრილში შეჯამებულია ცნობები სხვადასხვა ტიპის რნმ-ს შესახებ.

რწმ-ს დასახელება	მონონუკლე- ოტიდების რიცხვი	შემცვე- ლობა %-%ში	ბილეტურა წონა
ტრანსპორტული (ტ-რწმ)	60-120	7%	$1,8 \times 10^4 - 2,5 \times 10^4$
ინფორმაციული (ი-რწმ)	1000	3%	$0,3 \times 10^4 - 0,5 \times 10^4$
რიბოსომალური (რ-რწმ)	6000	90%	2×10^4



დწმ-ისა და რწმ-ის მონაწილეობა ცილის სინთეზში

როგორც უკვე აღნიშნული იყო, დწმ-სა და რწმ-ს წამყვანი როლი ენიჭებათ ორ ძირითად სასიცოცხლო პროცესში. ერთი დაკავშირებულია გენეტიკურ ნიშან-თვისებათა გადაცემასთან მშობლიური უჯრედიდან შვილულ უჯრედზე. ხოლო მეორე — სპეციფიკური ცილების სინთეზთან.

დწმ წარმოადგენს ქრომოსომების ძირითად კომპონენტს. უჯრედის ბირთვის დაყოფის დროს დწმ-ის მაკრომოლეკულა, რომელიც აშენებულია ორი გრძელი ჯაჭვისაგან, იყოფა ორ ერთნაარ ჯაჭვად. უჯრედის გაყოფის შემდეგ მიიღება ორი შვილულ უჯრედი, სადაც წარმოდგენილია დწმ-ის თითო ძაფი. დწმ-ის ერთ-ერთი ძაფი მეორის კომპლემენტარულია. ამ ძაფებზე შვილულ უჯრედებში შენდება დწმ-ის მეორე ჯაჭვი. მეორე ჯაჭვის სტრუქტურას კარნახობს ის, რომელიც შვილულ უჯრედში გადმოვიდა მშობლიურიდან. ახალი ჯაჭვი უკავშირდება ძველს კომპლემენტარულად.

დწმ-ის გენეტიკური როლი ექსპერიმენტულად დამტკიცებულია მიკროორგანიზმებისა და ბაქტერიოფაგის მაგალითებზე. იმ შემთხვევაში, როდესაც ერთო შტამის ბაქტერიების დწმ-ი შეჰყავთ მეორე შტამის ბაქტერიებში. მათ შთამომავლობას მემკვიდრეობით გადაეცემა ის ნიშან-თვისებები; რაც დამახასიათებელი იყო პირველთათვის. ბაქტერიის უჯრედში ფაგის, ე. ი. დწმ-ის შეჭრისას, მასში იწყება ფაგის დწმ-ის რეპროდუქცია. დწმ-ის გენეტიკური როლი მტკიცდება აგრეთვე უკანასკნელ დროს წარმოებული მთელი რიგი ცდებით ზელოვნური მუტანტების მიღების საშუალებით. სხვადასხვა ზემოქმედებით შესაძლებელი გახდა იმგვარად შეიქცალოს ორგანიზმის დწმ-ის სტრუქტურა, რომ შვილულ ორგანიზმში წარმოიშობა ახალი ნიშან-თვისებები, რომელნიც შემდეგ მემკვიდრეობით გადადიან.

დწმ-ის გენეტიკური ინფორმაციის გადაცემას საფუძვლად უდევს სპეციფიკური ცილების სინთეზი. გარკვეული სახის ორგანიზმს ახასიათებს მისთვის სპეციფიკური დწმ-ი, რომელიც საზღვრავს ორგანიზმის სპეციფიკური ცილების შენებას. მიღებულია, რომ დწმ-ში წინასწარ ჩაწერილია ინფორმაცია, რომლის რეალიზაცია წარმოებს რწმ-ის საშუალებით და მთავრდება ცილის სინთეზით. ცილის სინთეზში მონაწილეობას ღებულობს რწმ-ის გარდა ფერმენტებისა და კოფაქტორების მთელი რიგი. დიდი ხანია შემჩნეულია, რომ ცილის სინთეზი იმ უჯრედებში მეტი ინტენსივობით წარმოებს, სადაც რწმ-ის რაოდენობა მეტია. მაგალითად, ემბრიონალური უჯრედები შეიცავენ რწმ-ის დიდ რაოდენობას და ცილის სინთეზი აქ უფრო მეტი ინტენსივობით მიმდინარეობს.

ცილების სინთეზი მიმდინარეობს რიბოსომებზე. დიდი მუშაობა იყო ჩატარებული იმის გასარკვევად, თუ რომელი მექანიზმებით წარმოებს ცილის სინთეზი რიბოსომებზე. ცნობილი გახდა, რომ ეს არის რთული პროცესი, რომელიც

მრავალი საფეხურისგან შედგება და მრავალი ფერმენტის მონაწილეობას მოითხოვს.

სინთეზის პირველი ეტაპი დაკავშირებულია ამინომჟავას გააქტივებასთან. აქტივირება, როგორც ეს უკვე აღნიშნული იყო, წარმოებს ატფ-სა და ამინო-აცილ-ტ-რნმ-სინთეტაზას (ფერმენტ PHS-ის) კატალიზური მოქმედებით. ყოველ ამინომჟავას თავისი გამააქტივებელი ფერმენტი აქვს. შედეგად მიიღება ამინო-აცილადენილატი.

ცილის სინთეზის მეორე ეტაპზე ამინოაცილადენილატი კავშირდება ტ-რნმ-თან. ტ-რნმ დაბალმოლეკულარული რნმ-ია. უკრედში წარმოდგენილი უნდა იყოს ყოველი ამინომჟავასათვის შესაბამისი ცალკე ტ-რნმ. ტ-რნმ ერთიმეორისაგან განსხვავდება ნუკლეოტიდური შემადგენლობით და მათი თანმიმდევრობით. ზოგიერთი ამინომჟავას ტ-რნმ სტრუქტურა უკვე დადგენილია.

მესამე ეტაპში მონაწილეობას ღებულობს ი-რნმ, რომლის სინთეზი წარმოებს უკრედის ბირთვში დნმ-ის გარკვეულ ფრაგმენტზე. ი-რნმ-ის სტრუქტურა იმეორებს კომპლემენტარულად დნმ-ის ამ ფრაგმენტის ნუკლეოტიდურ თანმიმდევრობას. ი-რნმ-ს სხვაწარად კიდევ უწოდებენ შუამავალ რნმ-ს, რადგან მისი საშუალებით ხდება დნმ-ში ჩაწერილი ინფორმაციის გადაცემა იმ წარმონაქმნზე, სადაც ცილის სინთეზი მიმდინარეობს.

ი-რნმ-ის სინთეზის წარმოებისათვის საჭიროა წინასწარ დნმ-ის მოლეკულაში გარკვეული ფრაგმენტის გამოშვლება. საქმე იმაშია, რომ დნმ-ის სპირალური მოლეკულა ეკრანირებულია, ამიტომ დნმ-ის ძაფზე ი-რნმ-ი ვერ სინთეზირდება. ამ სინთეზისათვის საჭიროა ფრაგმენტის განთავისუფლება (დესპირალიზაცია), რომ გარკვეულ მანძილზე დნმ-ში ორი ჯაჭვი კი არ იყოს გაწყვილებული, არამედ განცალკევებული. გამოშვლებულ ფრაგმენტზე წარმოებს კომპლემენტარული ი-რნმ-ის სინთეზი. ამ სინთეზს აქტივებს სპეციალური ფერმენტი რნმ-ნუკლეოტიდილტრანსფერაზა (რნმ-პოლიმერაზა). რნმ-ის სინთეზი ზორციელდება ფოსფორილირებული მონონუკლეოტიდების ხარჯზე. წინასწარ წარმოდგენილი უნდა იყოს ყველა საჭირო მონონუკლეოტიდი ტრიფოსფატების სახით. ი-რნმ-ი სინთეზის დამთავრებისთანავე მიემართება რიბოსომებისაკენ. ი-რნმ ინფორმაცია გადასცემს ნუკლეოტიდების სპეციფიკური თანმიმდევრობით. ნუკლეოტიდური თანმიმდევრობა ი-რნმ-ის მოლეკულაში თავის მხრივ კარნახობს ამინომჟავათა მორიგეობას პოლიპეპტიდურ ჯაჭვში. ტ-რნმ-ში დაკავშირებული გააქტივებული ამინომჟავები ლავდებიან ი-რნმ-ზე მასში მოცემული ნუკლეოტიდების თანმიმდევრობის შესაბამისად.

1960 წლიდან ინტენსიური მუშაობა წარმოებს იმის გამოსარკვევად, თუ ნუკლეოტიდების რომელი მორიგეობა უნდა უზასუხებდეს თითოეულ ამინომჟავას ჩართვას პოლიპეპტიდურ ჯაჭვში. რნმ-ის შენებაში მონაწილეობას ღებულობს ოთხი ნუკლეოტიდი, ხოლო მათი კომბინაციით უნდა დაინიშნოს 20 ამინომჟავა ანუ, სხვაწარად რომ ვთქვათ, ოთხასოიანი ალფაბეტით უნდა დაიწეროს სიტყვა (ამინომჟავა), ხოლო ამინომჟავების მორიგეობით შედგება პოლიპეპტიდური ჯაჭვი (ფრაზა). ყოველ ამინომჟავას უნდა უზასუხებდეს სავი ნუკლეოტიდის გარკვეული კომბინაცია ი-რნმ-ში ანუ კოდი. ამბობენ, რომ ი-რნმ-ის მოლეკულაში კოდირებულია ინფორმაცია ამინომჟავათა თანმიმდევრობის შესახებ პოლიპეპტიდურ ჯაჭვში.

ნარჩებრგმა 1961 წელს შეძლო ისეთი რიბონუკლეინის მჟავას სინთეზი, რომლის დახმარებით შესაძლებელი გახდა შესაფერის პირობებში ფენილალანი-ნისაგან აშენებული ყოფილიყო პოლიპეპტიდი. თუ იმ ღებულებიდან გამოვალთ,

რომ ი-რმშ-ში ჩაწერილი ინფორმაციის რეალიზაცია ხდება ოთხასოიანი ალუბ-
ბექით და თითოეულ სიტყვას (ამინომეავას) სამი ასოს (ნუკლეოტიდის) კომბი-
ნაცია შეესაბამება (ტრიპლეტური კოდი), უნდა დაეუწვათ $4^3 = 64$ ტრიპლეტის
არსებობა. ნირნბერგის ზემოთ მოტანილი ხელოვნური რნმ-ი აშენებული იყო
ურიდინმონონუკლეოტიდებისაგან. ამიტომ ფენილალანინის ტრიპლეტური კოდი
ყოფილა უ-უ-უ (სამი ურიდილის მკავადან აშენებული ტრინუკლეოტიდი). ამ-
ჟამად უკვე ყველა ამინომეავას შეაბამისი ტრიპლეტები (კოდონები) გარკვე-
ულია. მაგალითად, ლეიცინს შეესაბამება ტრიპლეტი (კოდონი) ც-უ-გ. ტრიპ-
ტოფანს — უ-გ-გ- და სხვ.

ამგვარად, დღეისათვის დამტკიცებულად უნდა ჩაითვალოს, რომ ცილის
სინთეზის საფუძველი არის გენეტიკური ინფორმაცია, რომელიც დნმ-შია კოდი-
რებული შენაბუნის ტრიპლეტების მორიგეობით. დნმ-ის ერთ რომელიმე
ფრაგმენტზე მიმდინარეობს სპეციფიკური ცილის შექმნისათვის საჭირო ინფორ-
მაციული რნმ-ის სინთეზი. ი-რნმ-ში ხდება დნმ-ის გარკვეული უბნის ინფორმა-
ციის „გადაწერა“. მხედველობაშია მისაღები, რომ რნმ-საგან განსხვავებით დნმ-
ის მოლეკულაში ურაცილის ნაცვლად მოცემულია თიმინი, ე. ი. დნმ-დან რნმ-
ში ინფორმაციის გადატანის დროს თიმინი შეიცვლება მისი ტოლფასი აზოტო-
ვანი ფუძით — ურაცილით. სპეციფიკური შენების მქონე ი-რნმ მიემართება რი-
ბოსომებისაკენ, ერთდროულად რიბოსომებისაკენ მიემართებიან ტრანსპორტულ
რნმ-თან დაკავშირებული გააქტივებული ამინომეავები. ი-რნმ-ის ტრიპლეტუ-
რი კოდი განსაზღვრავს ამინომეავას ადგილს პოლიპეპტიდურ ჯაჭვში.

ცილოვან ნივთიერებათა სინთეზის სისწრაფის რეგულაცია განიხილება ახ-
ში ფერმენტების შესახებ.

§ 3. ნუკლეინის მჟავების ცვლა

მას შემდეგ, რაც გაირკვა ნუკლეინის მჟავების მონაწილეობა გენეტიკური
ინფორმაციის გადაცემაში და ცილების სინთეზში, დიდი ყურადღება მიექცა
ნუკლეინის მჟავების ცვლის შესწავლას. პირველ ყოვლისა, აღსანიშნავია კორნ-
ბერგის ლაბორატორიაში შესრულებული მუშაობა, რომელიც მიეძღვნა დნმ-ის
სინთეზის განზორციელებას. დნმ-ის სინთეზის ატბატრატად აღებული იყო ნუკ-
ლეოზიდ-ტრიფოსფატები (ადენინ-, ციტოზინ-, გუანინ-, თიმინ- დეზოქსირიბო-
ნოტრიფოსფატები). შერჩეული იყო შესაფერისი არე, რომელიც შეიცავდა კო-
ფერმენტებს და ფერმენტებს, მათ შორის დნმ-ნუკლეოტიდილტრანსფერაზას
(დნმ-ის პოლიმერაზა). ეს პოლიმერაზა აქტივებს ნუკლეოზიდტრიფოსფატების
ჩართვას ნუკლეინის მჟავას ჯაჭვში. სინთეზისათვის საჭიროა რომ სარეაქ-
ციო არეში იყოს ყველა ოთხი ნუკლეოზიდ-ტრიფოსფატი და ამავე დროს „დედ-
ოს“ სახით დნმ-ის პრეპარატის მცირე რაოდენობა. უკვე არსებულ დნმ-ის
„დედოს“ ძაფებზე იწყება ახალი კომპლემენტარული დნმ-ის ძაფების სინთეზი.
ახლად შექმნილ დნმ-ის ატრუქტურა სრულიად შეესაბამება „დედოს“ სახით
აღებულ დნმ-ს.

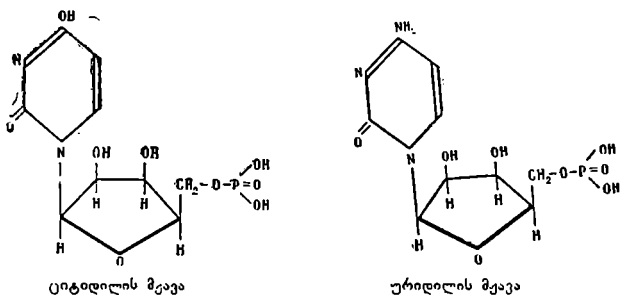
დნმ-ის მსგავსად მიმდინარეობს რნმ-ის მაკრომოლეკულის სინთეზი. ოჩო-
ას მიერ შესწავლილია დნმ-ნუკლეოტიდილტრანსფერაზას მოქმედების ხასიათი.
აქაც სინთეზის აუცილებელ პირობას წარმოადგენს ნუკლეოზიდ-ტრიფოსფატუ-
ბა და რნმ-ის „დედოს“ არსებობა. დნმ-გან განსხვავებით ი-რნმ-ის სინთეზი მიმ-
დინარეობს ნებისმიერი ერთი ნუკლეოზიდტრიფოსფატის მეშვეობით. მაგალი-
თად, თუ არეში წარმოდგენილია ატფ, სინთეზირდება პოლიადენინის მკავა,

თუ ატომი იმყოფება ატფ და ურიდილ-ტრიფოსფატი, იქმნება შერეული რნმ და ა. შ.

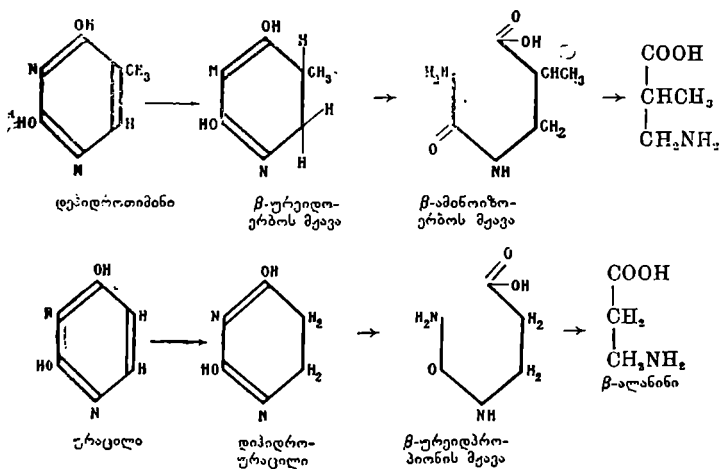
ი-რნმ-ის სინთეზი მიმდინარეობს მხოლოდ უჯრედის ბირთვში და მისი შემადგენლობა უშუალოდ დამოკიდებულია დნმ-ის იმ ფრაგმენტის შენებისაგან, სადაც კომპლემენტარულად აიწყობა ი-რნმ-ის ჯაჭვი.

ფერმენტებს, რომელთა მოქმედებით დნმ-ისა და რნმ-ის მაკრომოლეკულა იწყება დაშლას. ეწოდება დნმ-ისა და რნმ-ის დეპოლიმერაზა. დაშლა მთავრდება მონონუკლეოტიდების წარმოშობით. დეპოლიმერაზა ცნობილია აგრეთვე ნუკლეაზას სახელწოდებით.

პირიმიდინის ფუძეების გარდაქმნის მსვლელობა შედარებით ცუდად არის შეაწვდილი. შესაძლებელია პირიმიდინის ფუძის ბიოქიმიური გარდაქმნა უკვე ნუკლეოტიდში დაიწყოს. მაგალითად, ცნობილია, რომ ციტიდინის მკევა დეზამინირების შედეგად გარდაიქმნება ურიდინის მკევად.



პირიმიდინის ფუძეების აზოტი პურინის ფუძეებისგან განსხვავებით საბოლოოდ იბოჭება შარდოვანას სახით, რაც მოითხოვს მათი ბირთვის წინასწარ გახლეჩას. თიმიინის დაშლა იძლევა β-ამინოურბოს მკევას, ხოლო ურაცილისა — β-ალანინს.



აღნიშნული ამინომჟავების მომდევნო გარდაქმნა დაკავშირებულია ამონი-
აქის განთავისუფლებასთან, ხოლო ამონიაკი საბოლოოდ კავშირდება შარდოვა-
ნას სახით.

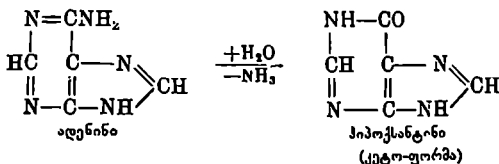
მომწელებელ ორგანოებში, პირველ ყოვლისა, პეპსინისა და ტრე-
პსინის ზემოქმედებით ნუკლეოპროტეინისაგან თავისუფლება პოლინუკლე-
ოტიდის ნაშთი. ხუკლეოპროტეინში შემავალი ცილა ჩვეულებრივ ჰიდროლი-
ზურ დაშლას განიცდის. რაც შეეხება პოლინუკლეოტიდს, ის სპეციფიკურ:
ფერმენტის ნუკლეოზაზს ზემოქმედებით ნუკლეოტიდებად იშლება. ნუკლე-
ოტიდები ფუნქციონირებენ როგორც მკავები. იანინ ნაწლავებში უერთდებიან
ტუტეებზე და მარილის საბით გადადიან სისხლში. დამტკიცებულად ვერ ჩაით-
ვლება ის დებულება, რომ ნაწლავებში წარმოებს ნუკლეოტიდების სრული ჰიდ-
როლიზური დაშლა პურინისა და პირიმიდინის ფუძეების განთავისუფლებით.
წესაძლებელია, რომ ფერმენტ ნუკლეოტიდაზაზს ზეგავლენით ნუკლეი-
ნის მკავა ნაწილობრივ ჰიდროლიზურ დაშლას განიცდის და ნაწლავებში ნუკლე-
ოზიდები წარმოიშობა.

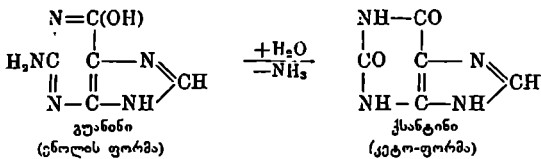
მაშასადამე, ნუკლეოზასი და ნუკლეოტიდაზას ზემოქმედებით ნაწლავებში
პოლინუკლეოტიდი იშლება და ნუკლეოტიდები და ნუკლეოზიდები წარმოიშო-
ბა. ამ ნაერთების სახით პოლინუკლეოტიდის კომპონენტები გადადის სისხლში.
რომელიც მათ სხვადასხვა ორგანოში და უჯრედში ანაწილებს. ცხოველთა უჯრე-
დის ნუკლეოპროტეიდები რომ რთული შენების მქონე ნაერთებიდან შეიძლება
აწენდეს, მტკიცდება იმ ფაქტით, რომ მონონუკლეინის მკავების შენება სხვადა-
სხვა ორგანიზმის წარმომადგენლებში ერთიმეორისაგან დიდად არ განსხვავდება.

უჯრედში წარმოდგენილია კიდევ ერთი სპეციფიკური ფერმენტი — ნუკ-
ლეოზიდფოსფორილაზა, რომელიც ნუკლეოტიდაზასაგან იმით გან-
სხვავდება, რომ უნარი აქვს ნუკლეოზიდები დაშლოს უკანასკნელ კომპონენ-
ტებამდე არა წყლით, არამედ ფოსფორის მკავას საშუალებით და გაათავისუფ-
ლოს პურინისა და პირიმიდინის ფუძეები. მაშასადამე, პოლინუკლეოტიდების
დაშლისათვის საჭიროა სამი ფერმენტული სისტემა: ნუკლეოზაზა, ნუკლეოტიდაზა
და ნუკლეოზიდფოსფორილაზა.

უჯრედში ნუკლეოპროტეიდების დაშლის პროცესის შედეგად განთავისუფ-
ლებული პურინისა და პირიმიდინის ფუძეები დეზამინირებასა და დაქანგვას გა-
ნიცდის. მაგალითად, ციტოზინის დაქანგვისას წარმოიშობა ურაცილი.

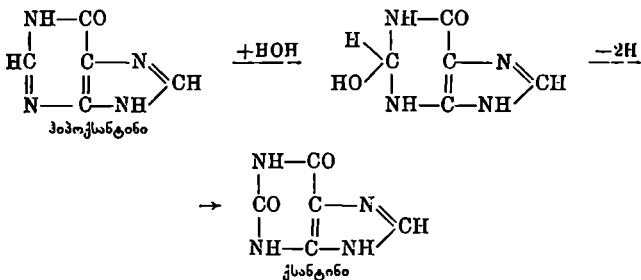
შედარებით კარგად არის შესწავლილი პურინის ფუძეების გარდაქმნები.
გორბაჩევსკისა და შიტენჰელმის მიერ აღმოჩენილია, რომ უჯ-
რედში წარმოდგენილი არის სპეციფიკური ფერმენტები, რომლებიც პურინის
ფუძეების დეზამინირებას აწარმოებენ. ნუკლეინის მკავების შენებაში მონაწილე-
ობას ლებულობენ ამინოპურინები ადენინი და გუანინი. ადენინ- და გუანინ-
დეზამინაზას მოქმედებით ეს ამინოპურინები გარდაიქმნებიან, შესაფერისად,
ჰიპოქსანტინში და ქსანტინში



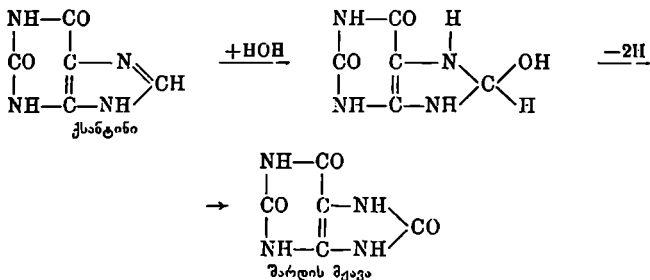


ღეზამინირების პროცესი შეიძლება თვით ნუკლეოტიდში წარმოებდეს. მაგალითად, ადენილის მქაევას ღეზამინირებისას წარმოიშობა ინოზინის მქაევა. ამ შემთხვევაში ადენილის მქაევაში შემავალი ადენინი გარდაიქმნება ჰიპოქსანტინად. უკანასკნელ დროს გამოჩვენდა, რომ ინოზინის მქაევას აღდგენა დაკავშირებულია გადაამინირების პროცესთან. ამინის ჯგუფის დონატორად გამოდის ასპარაგინის მქაევა.

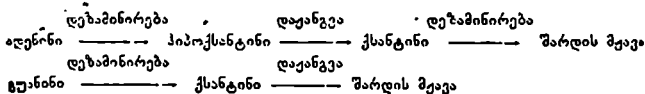
პურინებზე მოქმედებს კიდევ ერთი ფერმენტული სისტემა — პურინოქსიდაზა. ეს ფერმენტი ეხმარება პურინის ბირთვს წყალბადის ჩამოშორების გზით. პურინოქსიდაზას მოქმედება შესწავლილია ქსანტინზე და ჰიპოქსანტინზე. ჰიპოქსანტინის დაეანგვით ჯერ ქსანტინი წარმოიშობა.



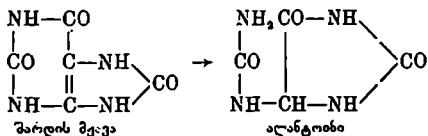
ქსანტინი კი პურინოქსიდაზას მოქმედებით შარდის მქაევად გარდაიქმნება:



მშასაღამე პურინის ფუძეების გარდაქმნა უჯრედში ორი გზით მიმდინარეობს: ღეზამინირებისა და დაეანგვის გზით, საბოლოო პროდუქტის სახით წარმოიშობა შარდის მქაევა:



ადამიანის (და მაიმუნების) ორგანიზმში პურინის ფუძეების გარდაქმნა მთავრდება შარდის მჟავათი. დანარჩენ ძუძუმწოვარ ცხოველებში შარდის მჟავა ფერმენტ ურატოქსიდაზას (ურიაზის) მოქმედებით იჟანგება და ალანტონში გადადის:



რთული გარდაქმნის შედეგად შარდის მჟავას მოლეკულის ჩონჩხი ერთი ნახშირბადის ატომით მცირდება. ურატოქსიდაზა, რომელიც ამ პროცესის კატალიზატორს წარმოადგენს, ეკუთვნის დამეანგველი ფერმენტების ჯგუფს. ზოგიერთ შემთხვევაში შარდის მჟავა უფრო ღრმად იჟანგება.

შარდის მჟავა წყალში თითქმის არ იხსნება; ტუტეებთან იძლევა მარილებს, რომლებიც წყალში უკეთ იხსნება. შარდის მჟავას მარილებს ეწოდება ურატება; კალციუმის ურატი წყალში უხსნადია.

მცენარეული და ცხოველური წარმოშობის პიგმენტები

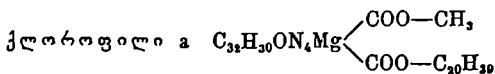
მცენარეულ და ცხოველურ უჯრედში შემავალი პიგმენტები თავისი ქიმიური შენებებით არ წარმოადგენენ ერთგვაროვან, მონათესავე ნივთიერებებს. მათ შენებაში მონაწილეობას ლებულობს სხვადასხვა სტრუქტურის მქონე ბირთვი. უმეტეს შემთხვევაში ეს ბირთვები შეიცავენ სხვადასხვა ჯგუფს, ნაშოს და მინერალურ ნაშოს, რაც პიგმენტებს ანიჭებს რთულ სტრუქტურას. მათი გაერთიანება ცალკე ჯგუფში გამოწვეულია არა მარტო იმით, რომ ისინი დანარჩენი ნაერთებისაგან განსხვავდებიან; ისინი მნიშვნელოვან ფუნქციას ასრულებენ ორგანიზმში როგორც კატალიზატორები, მაგალითად, ქლოროფილი — ნახშირწყლების შექმნაში, ჰემოგლობინი — ქანგბადის ფიქსაციაში და გადატანაში.

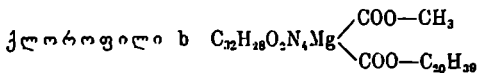
§ 1. ქლოროფილი

ქლოროფილი წარმოადგენს მცენარეულ მწვანე პიგმენტს, რომელსაც მინაჰებული აქვს ნახშირორჟანგის კატალიზური აღდგენის უნარი. ქლოროფილი აღმოჩენილი იყო ჯერ კიდევ 1815 წელს. ის იწვევდა და დღესაც იწვევს მრავალი მკვლევრის განსაკუთრებულ ყურადღებას. მისი შენებისა და ფუნქციის გარკვევაზე დახარჯულია ძალიან დიდი შრომა. ამ მხრივ დიდი ღვაწლი მიუძღვის გამოჩენილ ქიმიკოსს ვ ი ლ შ ტ ე ტ ე რ ს.

ქლოროფილი არის მაღალმოლეკულური, რთული შენების მქონე ნაერთი. მისი სუფთა სახით მიღება დიდ სიძნელეს არ წარმოადგენს. ქლოროფილი მიიღება მწვანე ფოთლის დამუშავებისას პეტროლეუმის ეთერითა და აცეტონით. ეთერისა და აცეტონის გარდა ქლოროფილი იხსნება აგრეთვე სხვა ორგანულ გამხსნელებში. ქლოროფილის ხსნარის თვისებებიდან აღსანიშნავია დამახასიათებელი შთანქმის სპექტრი, რაც ააშკარავებს ქლოროფილის სენსიბილიზატორის როლს. ის იძლევა მკვეთრი შთანქმის ზოლს სპექტრის წითელ ფარგალში.

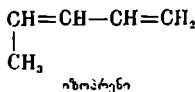
ვ ი ლ შ ტ ე ტ ე რ მ ა შეძლო ქლოროფილის ქიმიურად სუფთა პრეპარატის დამზადება; მან გამოარკვეა აგრეთვე, რომ ის ორი ქლოროფილის ნარევის წარმოადგენს, რომლებიც ერთიმეორისაგან განსხვავდებიან ორი ატომი წყალბადით და ქანგბადის ერთი ატომით;



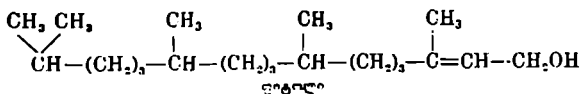


ქლოროფილები ერთიმეორისაგან განსხვავდებიან ფიზიკური თვისებებითაც. ქლოროფილი a სპირტის ხსნარში ლურჯ-მწვანე ფერისაა და მოწითალო ფლუორესცენცია აქვს. ქლოროფილი b სპირტის ხსნარში მწვანე ფერისაა და მოყავისფრო ფლუორესცენცია აქვს. ქლოროფილ a-ს აბსაბათებს სპექტრის B და C ხაზებს შორის შთანთქმის უფრო ფართო ზოლი. ის სუსტი შთანთქმის უნარს იჩენს სპექტრის იისფერ ნაწილშიც, ხოლო ქლოროფილი b-ს შთანთქმის ზოლი სპექტრის ამ ნაწილში უფრო მკვეთრია.

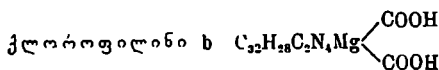
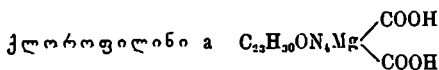
როდესაც ქლოროფილის ექსტრაქციას მწვანე მცენარიდან სპირტის საშუალებით აწარმოებენ, სპირტი ქლოროფილის მოლეკულიდან არანაჯერ სპირტ ფიტოლს აძევებს და მის ადგილს იკვრს. ფიტოლი წარმოადგენს ბლანტ და უფერულ არანაჯერ თხევად სპირტს, რომელიც პაერზე ადვილად იფანგება. ფიტოლი აშენებულია იზოპრენის ნაშთებისაგან, სადაც ორმაგი კავშირები გაჯერებულია წყალბადით.



როგორც ქვემოთ დავინახებთ, ქანტოფილისა და კაროტინოიდების შენებაში აგრეთვე იზოპრენის ნაშთები ღებულობენ მონაწილეობას. ფიტოლი ($C_{20}H_{39}OH$) შეადგენს ქლოროფილის მოლეკულური წონის $1/3$ -ს.

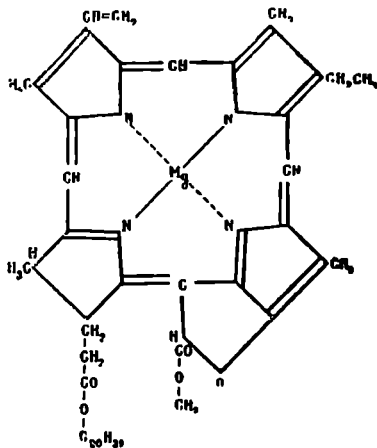


ფიტოლის გამოძეებისას ქლოროფილიდან მიიღება ქლოროფილიდები, სადაც მეთილის სპირტი დაკავშირებული რჩება. ქლოროფილიდზე ტუტის მოქმედებით წარმოებს მეორე ესთერის კავშირის გაწყვეტა და მიიღება ქლოროფილინების ტუტე მარილები:



მაშასადამე, ქიმიური თვალაზრით ქლოროფილი წარმოადგენს ორფუძიანი მკავას სრულ ესთერს მეთილის სპირტთან და ფიტოლთან.

პორფირინი ქლოროფილის შიგნითა ბირთვს წარმოადგენს, სადაც კავშირდება, ერთი მხრივ, მაგნიუმში და მეორე მხრივ — ორგანული ნაშთები. პორფირინები ერთიმეორისაგან განსხვავდება ჩანაცვლებული სხვადასხვა ნაშთით.

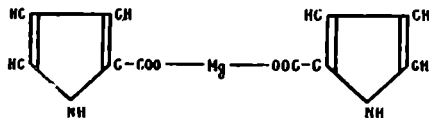


ქლოროფილი b

როდესაც პორფირინში მაგნიუმი დაკავშირდება, მიღებული ნაერთი ყანგბადის მიმართ მგრძობიარობას იჩენს. ამ დროს აქტივდება წყალბადი, რომელიც დაკავშირებულია მეათე ნახშირბადის ატომთან. ამ წყალბადს ფოტოსინთეზის აქტში დიდი როლი ენიჭება.

აღმოჩენილია ქლოროფილის უნარი ადვილად განიცადოს აღდგენა და დეჰიდრირება მოძრავი წყალბადის ხარჯზე. ქლოროფილის ეს თვისება საფუძვლად დაედო იმ ახალ თეორიას, რომლის მიხედვით ორგანული ნაერთის შექმნა წყლის ფოტოლიზის გზით უნდა წარმოებდეს.

საინტერესოა აღინიშნოს, რომ მცენარის გამწვანება არ იწყება, თუ საკვებ არეში არ არის წარმოდგენილი რკინა. რკინის ღანიშულება, როგორც ირკვევა, ვამოიხატება ერთ-ერთი შუალედი პროლუქტის შექმნაში, სახელდობრ:



პროლ-ა-კარბონის მეფას Mg-ის მარილი

მცენარე, პროლ-ა-კარბონის მეფას მარილის მიწოდებისას, გამწვანდება: მაშააღამე, ქლოროფილი შეიქმნება რკინის გარეშეც, თუ მიწოდებულ იქნა ზემოხსენებული ნაერთი. როგორც უკვე აღნიშნული იყო, პროლოს ბირთვის წყარო არის ამინომეფა გლიცინი.

§ 2. კაროტინოიდები

დიდი ხანია ცნობილი, რომ მცენარეში მწვანე პიგმენტ ქლოროფილს თან სდევს ყოველთვის ყვითელი პიგმენტები კაროტინი და ქსანთოფილი. პირველად მცენარეული ყვითელი პიგმენტის პრეპარატი მიღებული იყო ჯერ კიდევ ბერ-ცელსუსის მიერ.

ეს პრეპარატი წარმოადგენს ნარევს, სადაც ცალკეული ნაერთის ერთმეორისაგან დაცელება შესაძლებელი გახდა მ. ცეცვის ქრომატოგრაფიული მეთოდის გამოყენებით. ქრომატოგრაფიული მეთოდის პრინციპი იმაში მდგომარეობს, რომ პიგმენტების ნარევის ხსნარი ტარდება ვერტიკალურ მილში, სადაც მოთავსებულია ადსორბენტი. ხსნარის გატარებისას პიგმენტები ლავდებიან შეღებილი ზონების სახით. მილის დასაწყისში განლაგდება ის პიგმენტი, რომელიც მეტი სიძლიერით ადსორბირდება, ხოლო მილის ბოლო ნაწილისაყენ მოთავსდება ის, რომელსაც ადსორბირების ნაკლები უნარი ახასიათებს. ამ მეთოდის საშუალებით შესაძლებელი გახდა მონათესავე პიგმენტების სუფთა პრეპარატების მიღება და მათი ქიმიური ბუნების დადგენა.

კაროტინოიდები ბუნებაში ძალიან გავრცელებულია. მეტი თუ ნაკლები რაოდენობით ისინი თითქმის ყველა ორგანიზმში მოიპოვება. უკვე ვიღშეტეტერის ძიერ აღმოჩენილი იყო კაროტინოიდების ძლიერი არანაჯერობა. პაერზე კაროტინოიდი ადვილად იყანგება. ის რომ უცვლელი დარჩეს, საჭირო ხდება სათანადო პირობების დაცვა. კაროტინოიდების სტრუქტურა ძირითადად დადგენილია კარერისა და კუნის მიერ. გამოირკვა, რომ კაროტინოიდები წარმოადგენენ არანაჯერ ნახშირწყალბადებს — პოლიენებს. ისინი ადვილად განიცდიან უანგვით გარდაქმნას, რის შედეგად წარმოიშობა მალალოლექულური არანაჯერი სპირტები, კეტონები და მჟავები.

ცხოველთა ორგანიზმებს კაროტინოიდების სინთეზის უნარი არა აქვთ. ისინი კაროტინოიდებს ლებულობენ მცენარეული საკვებიდან. ცხოველთა ორგანიზმში კაროტინოიდები გახსნილია ცხიმში და ამიტომ ცხიმთან და ფოსფატადებთან ერთად გროვდება. ცხოველური წარმოშობის ცხიმის ფერი დამოკიდებულია კაროტინოიდებზე. ამიტომ კაროტინოიდები „ლიპოქრომების“ საღებავის ჭგუფს ეკუთვნიან.

ლიპოქრომები ცხოველთა ორგანიზმში ცხიმოვანი ქსოვილის გარდა გროვდება სხვა ქსოვილებშიც. ნალველის მჟავებისა და აგრეთვე ცილების ზეგავლენით კაროტინოიდებს ენიჭება წყალში ხსნადობის უნარი და ამიტომ ისინი წარმოდგენილი არიან იანეთ ქსოვილებშიც, სადაც ცხიმი არ არის (მგალითად, სისხლში, კუნთოვან ქსოვილში, თვალის ბადურაში და სხვ.)

კაროტინოიდების კლასიფიკაცია დამყარებულია ნახშირბადის ატომთა რიცხვზე და დაყანგვის ხასიათზე. 40 ნახშირბად-ატომის შემცველ კაროტინოიდს ასხვაებენ იმ კაროტინოიდებისაგან, რომელთა მოლეკულის შენებაში ნახშირბადის ატომთა ნაკლები რაოდენობა ლებულობს მონაწილეობას. დაყანგვას პროდუქტებისაგან აღსანიშნავია ოქსინაერთები, კარბონმჟავები და ოქსიკარბონმჟავები. ბიოლოგიური მნიშვნელობის კაროტინოიდები მოტანილია ცხრილში (248 გვ).

კაროტინოიდებიდან მეტი გავრცელება აქვს კაროტინსა და ქსანტოფილს. მწვანე მცენარეულობაში ერთ მოლეკულა კაროტინზე მოდის ქსანტოფილის ორი მოლეკულა. ეს პიგმენტები წარმოდგენილია უმთავრესად ფოთოლში, ყვავილში და ნაყოფში. კაროტინოიდები და მათი გარდაქმნის პროდუქტები მოიპოვება აგრეთვე დაბალ საფეხურზე მდგომ ორგანიზმებში: წყალმცენარეებში, სოკოებში და ბაქტერიებში.

ექსპერიმენტულად დამტკიცებულია, რომ მიუხედავად კაროტინოიდების უმდგარდობისა, ცხოველთა მომწელებელ ორგანიზმებში ისინი ღრმა გარდაქმნას არ განიცდიან და ცხოველის ქსოვილებში ან უცვლელად გადადიან, ანა მცირე

გარდაქმნას განიცდიან. მეორე მხრივ, არის მითითება იმის შესახებ, რომ ცხოველის ორგანიზმს შეუძლია ააშენოს კაროტინოიდები, მაგრამ მათი ღაშლის მხოლოდ ისეთი პროდუქტებისაგან, რომლებიც თავისი არანაჯერობითა და შეთილის ჭგუფების განწყობით საზოგადოდ პოლიენებისგან არ განსხვავდებიან.

კაროტინოიდები 40 ნახშირბად-ატომით

სახელწოდება	ნახშირწყალ- ბადები	ლობის ტემპერატურა	სპექტრის შთანთქმის ზოლების მაქსიმუმი გოგირდნახშირბადში
	ფორმულა		
α-კაროტინი	$C_{40}H_{56}$	167°—185°	509—477 μ
β-კაროტინი	$C_{40}H_{56}$	182°	521—485,5 μ
ლოკოპინი	$C_{40}H_{56}$	175°	548—507 μ
ოქსინაერთები (ქსანთოფილები)			
კრიპტოქსანტინი	$C_{40}H_{56}O$	169°	519—483 μ
ქსანთოფილი (ლუტეინი)	$C_{40}H_{56}O_2$	195°	509—475 μ
ზეაქსანტინი	$C_{40}H_{56}O_2$	201°—202°	519—483 μ
როდოქსანტინი	კეტო-ნაერთები		
	$C_{40}H_{56}O_2$		564—525 μ

პოლიენი წარმოადგენს ცხიმოვანი რიგის ისეთ ნაერთს, სადაც ორმაგი კავშირი და ორგანული ჩადიკალი გრძელ ჯაჭვში თანმიმდევრობით მეორდება. ამ ჯაჭვის სტრუქტურული ელემენტი არის იზოპრენი. უკანასკნელ დროს გამოიკვია, რომ იზოპრენის ელემენტებისაგან აშენებულია მრავალი ნაერთი, მათ შორის კაუჩუკიც. ნივთიერებათა ამ ჯგუფს უნდა მიეკუთვნოს აგრეთვე უმადლესი სპირტი ფიტოლი, რომელიც ქლოროფილის შენებაში ღებულობს შემნაწილუობას. ფიტოლსა და კაროტინოიდებს შორის ქიმიური კავშირი მტკიცდება იმით, რომ კაროტინი შედგება ორი ფიტოლის ალდეჰიდის ($C_{20}H_{38}O$) კონდენსაციითა და შემდგომი დეჰიდრირებით მიეღო კაროტინოიდი ლოკოპინი ($C_{40}H_{56}$).

გამოანგარიშებულია, რომ კარგად გამოკვებილი ფურის ორგანიზმი შეიკავს სულ 10—3,6 გ კაროტინს.

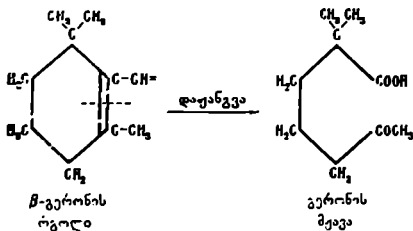
განსაკუთრებით მდიდარია კაროტინით ზღვის თევზების (კამბალა) ღვიძლი. კაროტინის რაოდენობა ღვიძლში დამოკიდებულია საკვების შემადგენლობაზე. მაგალითად, როდესაც ქათამი იკვებება კაროტინით მდიდარი საკვებით, მის ღვიძლში გროვდება კაროტინის შეიღვერ მეთი რაოდენობა, ვიდრე ჩვეულებრივ პირობებში.

მცენარეულობაში კაროტინები უმეტეს შემთხვევაში ქლოროფილთან ერთად ფოთლებში გროვდება. განსაკუთრებით მდიდარია კაროტინით ისპანახი, მწვანე კომბოსტო, იონჯა; ნაყოფებიდან — ყვითელი ქლიავი, ატამი, ჰერამი; ძირნაყოფებიდან — სტაფილო.

β-კაროტინი ($C_{40}H_{56}$). კატალიზური ჰიდრირებისას β-კაროტინი იერთებს 11 მოლეკულა წყალბადს. ჰიდრირების შემდეგ მიღებული პროდუქტის შენება განისაზღვრება ფორმულით $C_{40}H_{78}$, ე. ი. ის წყალბადს შეიცავს 2 მოლ-

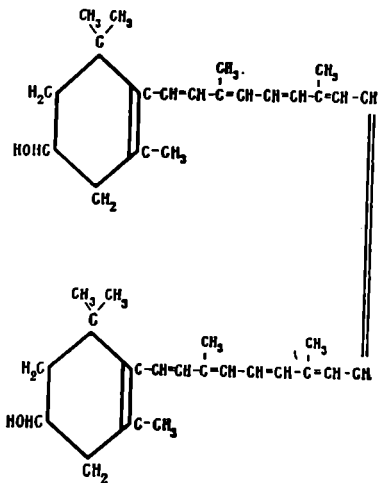
ეკულოთ ნაკლებს, ვიდრე 40 ნაპირბადის ატომის შემცველი შესაფერისი პარაფინის წარმომადგენელი.

ვილსტეტერიის მიერ შემჩნეული იყო, რომ პერზე კაროტინის თვითდაჟანგვის დროს ჩნდება სუნი, რომელიც იის სუნს მოგვაგონებს. ამის საფუძველზე გამოთქმული იყო აზრი, რომ კაროტინის დაჟანგვის პროდუქტს β -იონონთან და გერონის შეავასთან უნდა ჰქონდეს რაღაც კავშირი.

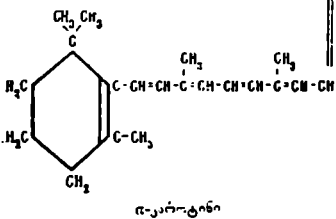
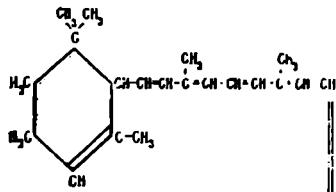
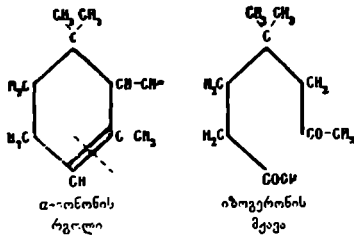


ეს მოსაზრება მტკიცდება აგრეთვე იმით, რომ კატალიზური ჰიდრირების დროს პარაფინი საერთო ფორმულით $C_{40}H_{82}$ კი არ მიიღება, არამედ ნაერთი. სადაც წყალბადის რაოდენობა ნაკლებია. აქედან ის დასკვნა გამოიტანეს, რომ კაროტინის შენებაში ციკლური ბირთვი უნდა ღებულობდეს მონაწილეობას.

გერონის შეავას ის რაოდენობა, რომელიც β -კაროტინის ოზონით დაჟანგვისას მიიღება, ააშკარავებს, რომ კაროტინში ორი იონონის რგოლი უნდა არსებობდეს.



β -კაროტინისათვის დამახასიათებელია ის გარემოება, რომ მის მოლეკულას სიმეტრიული შენება აქვს. შუაზე გახლეჩისას მიიღება ორი ერთგვარი შენების.



α-კაროტინი ოპტიკურად აქტიური ნივთიერებაა. როგორც α-კაროტინის სტრუქტურულიდან ჩანს, ის β-კაროტინისაგან განსხვავდება მხოლოდ ორმაგი კავშირის განლაგებით ერთ-ერთ იოანის ნაშთში.

ზეაქსანტინი და ქსანტოფილი ($C_{40}H_{56}O_2$) დიდი ხანია აღმოჩენილია ფოთლებში როგორც კაროტინოიდების თანამეზავრი. მისი ემპირიული ფორმულა არის $C_{40}H_{56}O_2$. ქსანტოფილის აღმოჩენის შემდეგ შესწავლილ იქნა ლუტეინი კვერცხის გულიდან. მას იგივე ემპირიული ფორმულა ახასიათებს და ქსანტოფილის იზომერს წარმოადგენს. უკანასკნელად ყვითელი სიმინდიდან გამოყოფილ იქნა პიგმენტი, რომელსაც ზეაქსანტინი უწოდეს. ზეაქსანტინში, იგივე როგორც ქსანტოფილში, წარმოდგენილია ენგბადის ორი ატომი და მას იგივე ემპირიული ფორმულა ახასიათებს ($C_{40}H_{56}O_2$). ამ ოქსინაერთების დეტალურმა შესწავლამ კარგად დაკუნთა იმ დასკვნამდე მიიყვანა, რომ ფოთლებში გავრცელებული ქსანტოფილი და კვერცხის გულის პიგმენტი ლუტეინი წარმოადგენენ არა ქიმიურ ინდივიდუუმებს, არამედ სხვადასხვა კაროტინოიდის იზომერების ნარევეს, რომელსაც ერთი და იგივე ემპირიული ფორმულა ($C_{40}H_{56}O_2$) ახასიათებს.

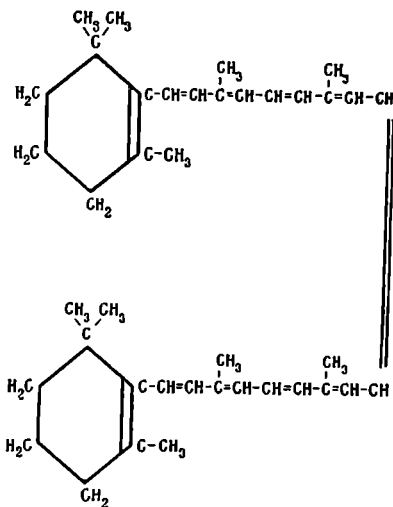
ამ მხრივ დეტალურად შესწავლილია კვერცხის გულის ლიპოქრომი ლუტეინი. გამოიკვია, რომ ეს პიგმენტი არის ორი ოქსინაერთის ნარევი: ერთია ქსან-

ტოფილი, რომლის ღებობის ტემპერატურა 193° უდრის და მეორე ზეაქსანტინი (207° ღებობის ტემპერატურით). ქათმების სხვადასხვა დიეტით კვებისას კვერცხის გულის პიგმენტების ურთიერთშეფარდება იცვლება. მწვანეულობით კვებისას მეტი რაოდენობით გროვდება ქსანტოფილი, ხოლო ყვითელი სიმინდით კვებისას — ზეაქსანტინი.

ვინაიდან ლუტეინი ქიმიურ ინდივიდუუმს არ წარმოადგენს, ამისათვის სახელწოდება ლუტეინი, კ უ ნ ი ს წინადადებით, გადატანილია იმ ქსანტოფილზე, რომელიც კვერცხის გულის პიგმენტის მთავარ კომპონენტს წარმოადგენს (193° ღებობის ტემპერატურით); ის გენეზისურად დაკავშირებულია მწვანე ფოთლის ქსანტოფილებთან. სახელწოდება ქსანტოფილი აერთიანებს ყველა იმ იზომერს, რომელთა ემპირიული ფორმულა $C_{40}H_{56}O_2$ -ით გამოიხატება. კუნის ეს წინადადება არ იყო ყველას მიერ მიღებული და ლუტეინისა და ქსანტოფილის სახელწოდება შერჩათ იმ პიგმენტებს, რომლებიც შესაფერისად კვერცხის გულში და მწვანე ფოთოლში არიან წარმოდგენილი.

ქსანტოფილში და ზეაქსანტინის მოლეკულაში შენევალი ქანგბადი წარმოდგენილია ჰიდროქსილის ჯგუფის სახით. კუნისა და ვინტერშტეინის მიერ აღმოჩენილია ზეაქსანტინის ბუნებრივი ესთერი პალმიტინის მჟავასთან. ჰიდროქსილი ქსანტოფილში წარმოდგენილია მეორადი სპირტის ჯგუფის სახით.

კატალიზური ჰიდრირების შედეგად ქსანტოფილი და ზეაქსანტინი იერთებს 11 წყვილ წყალბადის ატომს. ამისათვის მათ მოლეკულაში უნდა არსებობდეს 11 არანაჯერი კავშირი.



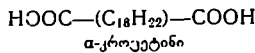
ზეაქსანტინი

ქსანტოფილი ოპტიკურად აქტიური ნივთიერებაა, მისი ჰიდროქსილის ჯგუფების წარმოშობისას მიიღება არანაჯერი ნახშირბადწყალბადი, რომელსაც ოპტიკური აქტივობა შენარჩუნებული აქვს. ამის გამო ქსანტოფილის ოპტიკური

აქტივობა დამოკიდებულია არა მარტო ჰიდროქსილების სივრცეში განწყობაზე, არამედ ნახშირწყალბადის ჩონჩხის შენებაზეც. ზეაქსანტინი, რომელიც აგრეთვე ოპტიკურად აქტიურია, აღდგენისას იძლევა ინაქტიურ არანაჯერ ნახშირწყალბადს და ამისათვის მისი აქტივობა დამოკიდებული ყოფილა ჰიდროქსილის გვერდებზე. თუ ზემოხსენებულს მხედველობაში მივიღებთ, ზეაქსანტინი β-კაროტინის ნაწარმს უნდა წარმოადგენდეს, ხოლო ქსანტოფილი ისეთ ზეაქსანტინს, სადაც ერთი ოქსი-β-იონინი შეცვლილია ოქსი-α-იონინით. აქედან გამომდინარეობს, რომ ზეაქსანტინს სიმეტრიული შენება აქვს, ხოლო ქსანტოფილს არა.

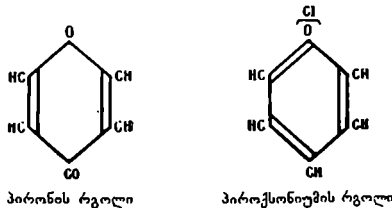
სტრუქტურული ფორმულების შედარებისას ირკვევა, რომ ქსანტოფილი იმავე დამოკიდებულებაშია ზეაქსანტინთან, როგორც α-კაროტინი β-კაროტინთან.

ცნობილია აგრეთვე კაროტინოიდების სხვა მრავალი წარმომადგენელი; ყველა მათ ახასიათებს ცხიმში ხსნადობა, შთანთქმის სპექტრის თავისებურება და ღია ჯაჭვის ქიმიური შენების ერთგვარობა. უკანასკნელი ნიშანი ყველაზე დანახასიათებელია; როგორც აღნიშნული იყო, კაროტინოიდებში წარმოდგენილია გრძელი შეუღლებული ორმაგი კავშირების მქონე ჯაჭვები, აშენებული იზოპრენის ნაშთებისაგან. კაროტინოიდების სახით ცნობილია მალალმოლეკულური არანაჯერი ნახშირწყალბადები, მალალმოლეკულური სპირტები, კეტონები და აგრეთვე მჟავები. მჟავების გვუფს ეკუთვნის, მაგალითად, ზაფრანიდან მოპოვებული α-კაროტენი. რომელიც ორფუძიან მჟავას წარმოადგენს შემდეგი ემპირული ფორმულით:

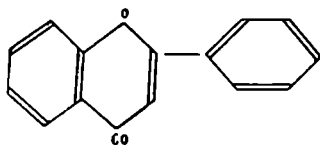


§ 3. ფლავონოლები და ანტოციანინები

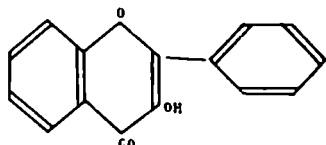
ფლავონოლები წარმოადგენენ ყვითელი ფერის პიგმენტებს. ამ პიგმენტებთანაა გამოწვეული ყვავილების ყვითელი ფერი. გავრცელებულია აგრეთვე უფერული გლუკოზიდების სახით მრავალ (თეთრი ფერის) ყვავილში. ანტოციანინების ფერი, პირველ ყოვლისა დამოკიდებულია უჯრედში წყალბად-იონთა კონცენტრაციაზე. წყალბად-იონთა კონცენტრაციის მიხედვით ის იცვლის წითელ ფერს ლურჯიდან იისფრამდე. დამახასიათებელია ამ პიგმენტებისათვის პირონის ან პიროქსონიუმის რგოლები.



პიროქსონიუმში უნაგბადი ოთხვალენტოვანია. მას ფუძე ხასიათი აქვს და იძლევა მარილებს მჟავებთან. ფლავონოლებში წარმოდგენილია პირონის რგოლი, ხოლო ანტოციანინებში — პიროქსონიუმის რგოლი.

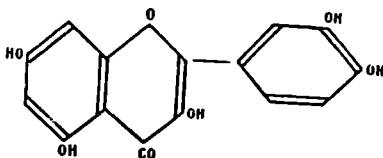


ფლავონი



ფლავონილი

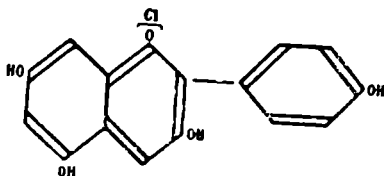
ფლავონოლებიდან მეტი გავრცელება აქვს კვერცეტინს, რომლის შენება დადგენილია ვ ი ლ შ ტ ე ტ ე რ ი ს მიერ; ის წარმოადგენს ტეტრაოქსი-ფლავონოლს.



კვერცეტინი

კვერცეტინი ჩვეულებრივად დაკავშირებულია შაქრებთან და ქმნის გლუკოზიდს.

კვერცეტინის აღდგენისას მყავე არეში მიიღება ანტოციანიდინი. რომელიც ანტოციანის ფერად კომპონენტს წარმოადგენს. ანტოციანი ქიმიური თვალსაზრისით გლუკოზიდია. მისი დაშლისას მიიღება, ერთი მხრივ, შაქარი და, მეორე მხრივ, ანტოციანიდინი. ანტოციანები ამფოტერული ბუნებისაა. პიროქსონიუმის რგოლის ქანგბადი რეაგირებს როგორც ფუძე და იძლევა მარილებს მყავებთან. ანტოციანის მარილები მყავესთან წითელი ფერისაა. მეორე მხრივ, ფენოლის ჰიდროქსილები ანტოციანებს მყავეს თვისებებს ანიჭებს. ამ ჰიდროქსილებით ანტოციანი რეაგირებს როგორც მყავე და იძლევა ტუტეებთან მარილებს; ეს მარილები კი ლურჯი ფერისაა. ანტოციანების წარმომადგენლის სახით ქვემოთ მოტანილია პელარგონიდინის შენება, რომელიც მიღებულია ვ ი ლ შ ტ ე ტ ე რ ი ს მიერ გერანიდან.



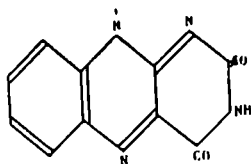
პელარგონიდინის ქლორიდი

ანტოციანები და ფლავონოლები მონაწილეობას ღებულობენ მცენარეულ უჯრედში მიმდინარე ქანგვა-აღდგენით პროცესებში. ზოგიერთი ფლავონი ასრულებს ვიტამინების როლს, მაგალითად, ჰესპერიდინი (იხ. ვიტამინები).

§ 4. ფლავინები

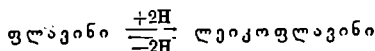
ფლავინები წარმოადგენენ ყვითელი ფერის პიგმენტებს, რომლებიც გავრცელებულია ცხოველებში. ფლავინების პრეპარატები მიღებულია ღვიძლიდან, გულიდან, თირკმლებიდან და რძიდან. მცენარეულობაში ფლავინები გამოყოფილია ისპანახიდან, ტომატიდან, საფუევირიდან და სხვ. ფლავინები წყალში კარგად იხსნებიან და ამისათვის ისინი მიაკუთვნეს ლიოქრომების ჯგუფებს. ისინი ამით განსხვავდებიან ლიოქრომებისაგან, რომლებიც როგორც აღნიშნული იყო, წყალში არ იხსნებიან.

ფლავინის რგოლის შენება კუნის მიხედვით შემდეგია:



ფლავინის ბირთვი

ფლავინში შეიძლება ჩაინაცვლოს ორგანული რადიკალები და წარმოიშვას ლუმი-ფლავინები. ფლავინებს ანაბიოთებს ადვილი დაჟანგვისა და აღდგენის უნარი. აღდგენისას ფლავინი კარგავს ფერს და ლეიკო-ნაერთში გადადის. მჟავა არეში აღდგენილი ფლავინი იჟანგება უკვე ჰაერის ენგბადით და მას უბრუნდება წინანდელი ფერი. მაშაადამე, ფლავინი, ისე როგორც მრავალი სხვა საღებავი, წარმოადგენს ენგვა-აღდგენით სისტემას.



ამ სისტემის ოქსიდო-რედუქციული პოტენციალი (როდესაც აღდგენილ და დაჟანგულ ფორმათა შეფარდება ერთს უდრის) აღწევს მხოლოდ 0,20 მვ. ეს პოტენციალი დანარჩენ ბიოლოგიურ ოქსიდო-რედუქციულ პოტენციალებთან შედარებით ძალიან მცირეა. ამიტომ ფლავინი წარმოადგენს სისტემას, რომელსაც აღდგენის უნარი კარგად გამოხატული აქვს.

ფლავინის ბირთვი მონაწილეობას ღებულობს ვიტამინ B₂ და ვარბურგის სუნთქვის ფერმენტის (ყვითელი ფერმენტის ანუ ლიოამიდ-დეჰიდროგენაზის) პროსტეტული ჯგუფის შენებაში.

§ 5. ჰემოგლობინი

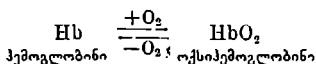
ჰემოგლობინი აშენებულია ორი კომპონენტისაგან: 1) წითელი პიგმენტი ჰემისა და 2) ცილა გლობინისაგან. ჰემის რაოდენობა ჰემოგლობინში 4%-ს აღწევს, დანარჩენი 96% გლობინია. ჰემოგლობინის მრავალი დანიშნულებიდან სისხლში, პირველ ყოვლისა, აღსანიშნავია ენგბადის ტრანსპორტის ფუნქცია. ეს ფუნქცია მინიჭებული აქვს პიგმენტს, რომლის შენებაში მონაწილეობას ღებულობს რკინა. გლობინში, ისე როგორც ალბუმინებში, ამინომჟავა გლიკოკოლი წარმოადგენილი არ არის.

მაშინ, როდესაც ჰემის შენება ყველა ხერხემლიანთა ჰემოგლობინში ერთი და იგივეა, სხვადასხვა წარმოშობის ცილა-გლობინი განსხვავდება ამინომჟავური

შემადგენლობით. ამიტომ ჰემოგლობინის სახეობითი სპეციფიკურობა ისაზღვრება ცილა-გლობინით და არა პიგმენტით.

ჰემოგლობინი, როდესაც ჟანგბადს უკავშირდება, ოქსიჰემოგლობინად გარდაიქმნება. ჟანგბადის დაკავშირება პიგმენტის საშუალებით წარმოებს. პიგმენტი ჰემოგლობინში აღდგენილ ფორმაშია. ჰემოგლობინის უნარი — დაკავშიროს ჟანგბადი და დაჟანგულ ფორმად გარდაიქმნეს, დამოკიდებულია ჟანგბადის პარციალურ წნევაზე. როდესაც ჟანგბადის პარციალური წნევა უდრის ვერცხლისწყლის სვეტის 150 მმ (ჰაერი), ხსნარში წარმოდგენილი ჰემოგლობინი 99% ოქსიჰემოგლობინად გარდაიქმნება. აქედან გამომდინარეობს, რომ ფილტვებში, სადაც ჟანგბადის პარციალური წნევა იმავე ოდენობას აღწევს, რაც გარეთ ჰაერშია. ჰემოგლობინი თითქმის მთლიანად ოქსიჰემოგლობინად იჟანგება.

ჟანგბადის დაკავშირება ოქსიჰემოგლობინში არ არის მკიდრო, ის ადვილად შორდება რკინას: საკმარისია ჟანგბადის პარციალური წნევის შემცირება, რომ ოქსიჰემოგლობინის ნაწილი ისევ ჰემოგლობინად აღდგეს. როდესაც ჟანგბადის პარციალური წნევა ნულამდე დადის, მასში ოქსიჰემოგლობინი მთლიანად განიცდის აღდგენას და ჰემოგლობინი მიიღება. ჟანგბადის დაკავშირების ასეთ ლაბილობას ძალიან დიდი მნიშვნელობა აქვს უჯრედში ჟანგბადის მიწოდებისათვის. უპოველურ უჯრედში წარმოდგენილია ისეთი სისტემები, რომლებიც სწრაფად უკავშირდება ჟანგბადს, ამისათვის ჟანგბადის პარციალური წნევა ცოცხალ უჯრედში ყოველთვის მცირეა. ეს გარემოება ემნის სისხლის მიმოქცევის დროს ოქსიჰემოგლობინის ჰემოგლობინად სწრაფი აღდგენის შესაძლებლობას. აღდგენილი ჰემოგლობინი სისხლის საშუალებით ბრუნდება ფილტვებში, სადაც ის ხელახლა ოქსიჰემოგლობინად იჟანგება. ეს რეაქცია აქტიურად შეიძლება შემდეგნაირად წარმოვიდგინოთ:



ჰემოგლობინში რკინა ორვალენტოვანია. ოქსიჰემოგლობინში ის თავის ვალენტოვნებას არ იცვლის მიუხედავად იმისა, რომ ჟანგბადი ოქსიჰემოგლობინში ექიმოურადაა დაკავშირებული. ჰემოგლობინის ერთი მოლი აკავშირებს ჟანგბადის ერთ მოლს. ჰემოგლობინი და ოქსიჰემოგლობინი ერთიმეორისაგან განსხვავდებიან აგრეთვე სპექტროსკოპულად და კრისტალოგრაფიულად. ოქსიჰემოგლობინის შთანთქმის სპექტრისათვის დამახასიათებელია შთანთქმის ორი ზოლი სპექტრის მწვეან ნაწილში. ოქსიჰემოგლობინი ადვილად კრისტალდება გამჭვირვალე, რომელი სისტემის კრისტალებად. ჰემოგლობინის მიღება კრისტალური ნაერთის სახით უფრო ძნელი მოსახერხებელია, ვიდრე ოქსიჰემოგლობინისა. ჰემოგლობინის შთანთქმის სპექტრი ხასიათდება შთანთქმის უფრო ფართო ზოლით.

ჰემოგლობინის დაჟანგვისას რომელიმე დამჟანგველით, მაგალითად სისხლის წითელი მ.რილით, მიიღება დაჟანგვის პროდუქტი, სადაც რკინა უკვე სამვალენტოვანად გარდაიქმნება. ამ დაჟანგვის პროდუქტს უწოდებენ მეტჰემოგლობინს.

მაშასადამე, ოქსიჰემოგლობინი განსხვავდება მეტჰემოგლობინისაგან რკინის ვალენტოვნებით და ჟანგბადის დაკავშირების ხასიათით. ოქსიჰემოგლობინში ჟანგბადი უფრო სუსტად არის დაკავშირებული, ვიდრე მეტჰემოგლობინში.

ჟანგბადის ფიჭასაციის უნარი ჰემოგლობინის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი უწყვეტია. გარდა ამისა ჰემოგლობინს აქვს აგრეთვე ნახშირორჟანგის განთავისუფლების უნარი პლაზმის კარბონატებიდან. სისტემა ჰემოგლობინი — ოქ-

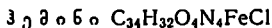
შედგად ოქსიჰემოგლობინის მაგვარ ნაერთად გარდაიქმნება. ასეთი ნაერთის შესწავლამ ჰაუროვიცი იმ დასკვნამდე მიიყვანა, რომ ჰემი კავშირდება გლობინთან რკინის საშუალებით. მაშასადამე, რკინა უნდა აკავშირებდეს როგორც ქანგბადს, ისე გლობინსაც.

ჯე. ჰემის შენება

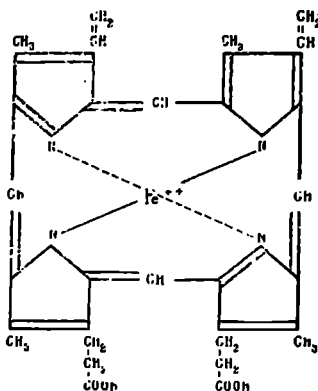
როგორც აღნიშნული იყო, ჰემოგლობინი წარმოადგენს ჰემის ცილა გლობინთან დაკავშირების პროდუქტს. ჰემოგლობინზე კონცენტრირებული ძმრის მკვლევარს მოქმედებით NaCl თანდასწრებისას ჰემოგლობინს ჰემი ჩამოშორდება და ენჯული ჰემინის სახით. ჰემინში რკინა სამვალენტოვანია და ის ქლორის ატომს შეიცავს.

ჰემოგლობინზე მინერალური მკვლევების ან ტუტეების მოქმედებით მიიღება ჰემატინი, რომელიც აგრეთვე სამვალენტოვან რკინას შეიცავს, ხოლო ქლორის ნაცვლად აქ წარმოდგენილია ჰიდროქსიდის ჯგუფი.

ჰემის სტრუქტურის დადგენისათვის უმეტეს შემთხვევაში გამოდიან ჰემინისაგან. ჰემინის შილება კრისტალური ფორმით სიძნელეს არ წარმოადგენს. საკმარისია ჰემოგლობინს მიემატოს ნატრიუმის ქლორიდი და ყინულოვანი ძმრის მკვლევარს მკვლევარს რაოდენობა და ნარევი გათბეს, რომ გამოყოფილი ჰემინი დაკრისტალდეს. ჰემინის ემპირიული ფორმულა შემდეგია:



ჰემინი (ჰემატინი) ეკუთვნის ისეთი პიგმენტების ჯგუფს, რომელთა შენებაში მონაწილეობას ღებულობს პიროლის ბირთვები; ამ ჯგუფს ეკუთვნის აგრეთვე ქლოროფილი, ციტოქრომი, კატალაზები, პეროქსიდაზები და ბუნებრივი პორფირინები.



ჰემის შენება

ჰემინში რკინა დაკავშირებულია კომპლექსურად. მისი ჩამოშორება შესაძლებელი ზდება წყალბად-იოდისა და ძმრის მკვლევარს ეთეროვანი მოქმედებით. რკინის ჩამოშორების შემდეგ პორფირინი მიიღება. პორფირინების

წარმოშობა ჰემისაგან დიდი ხანია შემჩნეულია, ზოლო მათი სტრუქტურის დადგენა მხოლოდ უკანასკნელ დროს მოხერხდა; ამ მხრივ დიდი ღვაწლი მიუძღვის შ. ნენცკის, ჰ. ფიშერსა და რ. ვილშტეტერს. ვინაიდან ამათანავე ცნობილი გახდა, რომ ჰემის შენებაში მონაწილეობას ლებულობს ოთხი პიროლის ბირთვი და ჰემი ფუნქციონირებს როგორც ორფუძიანი ნევეა. უკვე 1912 წელს წამოაყენეს ჰემის სტრუქტურული ფორმულა. ექსპერიმენტული დამტკიცება ფორმულამ მიიღო ჰ. ფიშერის ცდების შემდეგ; უკანასკნელმა შეძლო ჰემის სინთეზური დამზადება. გამოირკვა, რომ ჰემის შენებაში მონაწილეობას ლებულობს ოთხი პიროლის ბირთვი იმნაირად, რომ წარმოიშობა პორფინის რგოლი. ჰემში პორფინის ჩონჩხი დაკავშირებულია ოთხი მეთილის, ორი ვანილიისა და ორი პროპიონის მქაევა ნაშთთან.

თუ ჰემის მოლეკულაში ქლორი ჰიდროქსილის ჯგუფით ჩაინაცვლება, მიიღება ჰემატინი. ჰემატინის აღდგენისას კი წარმოიშობა ჰემოქრომოგენი — ჰემი. ისე როგორც ქლოროფილის მონაწილეს საფუძვლად მიჩნეულია პორფინის რგოლი, აქაც პორფინის რგოლი მსგავს როლს ასრულებს.

ჰემის სტრუქტურული ფორმულის დამახასიათებელია ის, რომ პორფინის ბირთვში ჩანაცვლებულია, მეთილის ოთხი ჯგუფის გარდა, ორი ვანილისა და ორი პროპიონის მქაევა ნაშთი. გარდა ამისა, პორფინის რგოლში წარმოდგენილია რკინა ისე, როგორც მაგნიუმი ქლოროფილის შემთავებაში, ჰემინის დაშლისას მიიღება სხვადასხვა შენების პორფირინი, რომელთა საფუძველს წარმოადგენს პორფინის რგოლი. ჰემატოპორფირინის გარდაქმნისას მიიღება ეთიოპორფირინი, რომელიც ქლოროფილისაგან დამზადებული ეთიოპორფირინის იდენტურია. აქედან ირკვევა, რომ ქლოროფილისა და ჰემატინს შორის კავშირი არ განისაზღვრება მხოლოდ დაშლის უკანასკნელი პროდუქტების ან პორფინის რგოლის იგივეობით.

ქლოროფილისაგან და ჰემატინისაგან ერთი და იგივე ეთიოპორფირინი მიიღება მათ მოლეკულზე ენერგიული ზემოქმედების შედეგად. მაგრამ ქლოროფილის სტრუქტურა (ნაშთების სივრცითი გაწყობისა და არანაჭერი კავშირების მდებარეობის მხრივ) ჰემატინის სტრუქტურისაგან იმდენად განსხვავდება, რომ ძნელი წარმოსადგენია უკრედში მათი ურთიერთშუალო გარდაქმნა.

ქლოროფილისა და ჰემოგლობინის დანიშნულება უკრედში სხვადასხვაა. ქლოროფილი მზის ენერგიის ხარჯზე აკავშირებს ნაწმირორკანგს და ორჯანულ ნაერთში გადაყავს. ჰემოგლობინის მოქმედება გამოიხატება ჟანგბადის ფიქსაციაში და ნაწმირმქაევა გაზის განთავისუფლებაში. ნაწმირმქაევისა და ჟანგბადის მიმართ სხვადასხვა დამოკიდებულება აიხსნება, ალბათ, მაგნიუმის რკინით შეცვლით.

§ 7. ჰემატინის გარდაქმნის პროდუქტები

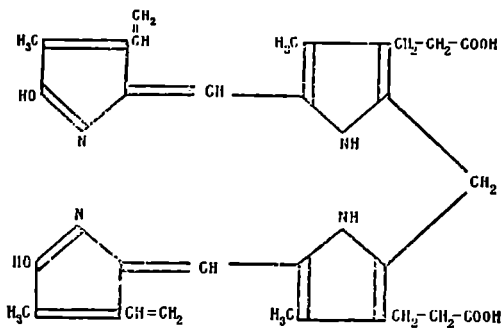
ადამიანი ყოველდღიურად შლის ჰემოგლობინის განსაზღვრულ რაოდენობას. გამოანგარიშებულია, რომ დღე-ღამეში წარმოებს 0,5 გ ჰემის დაშლა, რაც ჰემოგლობინის 12,5 გრამს შეეფარდება.

ჰემის მარაგი ადამიანის ორგანიზმში უდრის 15 გრამს; აქედან გამომდინარეობს, რომ 30 დღე-ღამის განმავლობაში უნდა ხდებოდეს მთელი ჰემის მარაგის განახლება. ცხოველის ორგანიზმს აქვს ჰემისა და ჰემოგლობინის სინთეზის მკაფიოდ გამოხატული უნარი. ამ მიზანს უნდა მოხმარდეს იმ პორფირინე-

ბის კომპლექსი, რომელიც საკვებში, კერძოდ ქლოროფილში მოიპოვება. ქლოროფილის უშუალოდ ჰემინად გარდაქმნა უფრო ძნელი მოსახერხებელია, ვიდრე მინი ხელახალი სინთეზი ამინომჟავებისაგან. ამიტომ უნდა დავუშვათ, რომ ქლოროფილი ცხოველთა ორგანიზმში განიცდის რთულ გარდაქმნებს, რის შედეგად წარმოიშობა უფრო მარტივი ნაერთები, რომლებიც შეიძლება ჰემინის შენებას მოხმარდეს. მაგარამ, როგორც ირკვევა, სისხლის შემქმნელ ორგანოებში ჰემის სინთეზი ამ გზით არ ადგება. რადიკატიური ინდიკაციით დამტკიცებულად უნდა ჩათვალოს, რომ ჰემში წარმოდგენილი პიროლის ბირთვები გლიკოკოლისაგან იქმნება. თუ ცხოველს ეძლეოდა გლიკოკოლი, რომელსაც სინთეზულ აზოტსა და ნახშირბადს შეიცავდა, ნიშანდებული ატომები აღმოჩნდება ჰემის პიროლის ბირთვში. მეორე მხრივ ვამორკვეულია, რომ ჰემში წარმოდგენილი რკინის წყარო არის რკინისშემცველი ცილა ფერიტინი, რომელიც ღვიძლში, ძვლის ტვინსა და ელენთაში იქმნება.

ცხოველთა სხვადასხვა ორგანოა და ქსოვილში ადგილი აქვს ჰემის გარდაქმნას, რის შედეგად წარმოიშობა პიგმენტებს მთელი რიგი: ბილირუბინი, ბილივერდინი, ურობილინი და სხვ.

ბილირუბინი ($C_{33}H_{34}N_4O_6$) წარმოადგენს ნალელის ყვითელ პიგმენტს. ის უმთავრესად ღვიძლში და ნალველში გროვდება უხსნადი კალციუმის მარილების სახით. გამორკვეულია, რომ ბილირუბინი წარმოიშობა ჰემის დაჟანგვის შედეგად.



ბილირუბინი

ბილირუბინი ადვილად განიცდის როგორც დაჟანგვას, ისე აღდგენას. დაჟანგვისას იქმნება მწვანე ფერის პიგმენტი ბილივერდინი: $C_{33}H_{34}N_4O_6$, ხოლო აღდგენისას ურობილინი: $C_{33}H_{40}N_4O_6$.

ურობილინი (მეზობილირუბინი) მცირე რაოდენობით შარდში გადადის, ვინაიდან ის სისხლში ხელახლა იჟანგება ბილირუბინად. ბილივერდინი ყოველთვის თან სდევს ბილირუბინს ნალველში; ხორცის მკამელ ცხოველებში მეთი რაოდენობით ბილირუბინია წარმოდგენილი, ხოლო მცოხნავი ცხოველების ნალველში — ბილივერდინი. ფიქრობენ, რომ ნალელის პიგმენტების შექმნით ცხოველის ორგანიზმში იცილებს პორფირინებს ტოქსიკურ მოქმედებას. ქოლის მჟავების მსგავსად ნალელის პიგმენტები ფუნქციონირებენ როგორც ემულგატორები და დეტერგენტები.

ზორფირინის რგოლი ორგანიზმში წარმოდგენილია არა მარტო ჰემოგლობინის კომპლექსის სახით; აღმოჩენილია ნაერთების მთელი რიგი, რომელთა შენებაში მონაწილეობას ლებულობს ეს ოჯახი. პირველ ყოვლისა, აქ აღსანიშნავია სუნთქვის ფერმენტები, რომელთა აქტიური ჯგუფი, როგორც ირკვევა, ჰემს წარმოადგენს. კ ე ი ლ ი ნ ის მიერ შესწავლილია ნაერთი, ე. წ. ციტოქრომი, რომელიც უჯრედში მიმდინარე ენავითი პროცესებისათვის აქტივატორების ჯგუფს ეკუთვნის. ციტოქრომის სისტემაში მონაწილეობას ლებულობს, როგორც ეს შთანთქმის სპექტრებიდან ირკვევა, რამდენიმე კომპონენტი. ქსოვილში ციტოქრომი დაეანგულ ფორმაში იმყოფება, ხოლო ქსოვილის მოქმედებისას ის აღდგება. ეს რეაქცია დიდი სისწრაფით მიმდინარეობს.

კუნთოვანი ქსოვილიდან გამოყოფილია ქრომობროტეიდი — მიოგლობინი, რომელიც აგრეთვე ჰემს შეიცავს. მას ჰემოგლობინის მსგავსად ეანგბადის ფიქსაციის უნარი აქვს და მონაწილეობას ლებულობს კუნთოვანი ქსოვილის ეანგბადით მომარაგების პროცესში.

ჰემოგლობინისაგან მიოგლობინი განსხვავდება ცილოვანი კომპონენტით. განსაკუთრებული მნიშვნელობა მიოგლობინს აქვს წყალში მცხოვრებ ცხოველებისათვის, რომელთაც შეუძლიათ დიდხანს გაძლონ წყალში სუნთქვის გარეშე, მაგალითად, კაშალოტებს, დელფინებს და ზღვის ლომებს. ეს უნარი იმით აიხსნება, რომ მათი კუნთოვანი ქსოვილი შეიცავს მიოგლობინის შედარებით დიდ რაოდენობას. მიოგლობინში კავშირდება ეანგბადის მარაგი, რომელიც გამოიყენება ცხოველის მიერ ეანგბადის დროებითი შიმშილობის დროს. მიოგლობინი კარგადაა შესწავლილი, გარკვეულია მისი მოლეკულის ამინომჟავური შემადგენლობა, სტრუქტურა და გეომეტრიული ფორმა.

ჰემინის პროსტეტულ ჯგუფს შეიცავს აგრეთვე დამეანგველი ფერმენტების მთელი რიგი. ძალიან გავრცელებულია, მაგალითად, ფერმენტი კატალაზა, რომლის შენებაში მონაწილეობას ლებულობს ჰემოგლობინის მსგავსად ოთხი ჰემი. მცენარეულ ორგანიზმში წარმოდგენილია პეროქსიდაზა — ფერმენტი, რომელიც ააქტივეზს ეანგბადს. პეროქსიდაზა გვხვდება ცხოველთა ქსოვილებშიც. ფერმენტი მიღებულია კრისტალური სახით. პეროქსიდაზა შეიცავს ჰემის ერთ ნაშთს.

ციტოქრომი წარმოდგენილია ყოველ უჯრედში, სადაც კი ადგილი აქვს ეანგვით პროცესებს. ანაერობულ ორგანიზმებში ციტოქრომი ნაპოვნი არ არის. ციტოქრომის სპექტროსკოპული შესწავლისას გამოირკვა, რომ მისი აღდგენილი ფორმის სპექტრი ემსგავსება ჰემოქრომოგენის სპექტრს.

ჯერ კიდევ კ ე ი ლ ი ნ მ ა აღმოაჩინა, რომ უნდა არსებობდეს რამოდენიმე ციტოქრომი. ციტოქრომები მან განასხვავა შთანთქმის სპექტრის მიხედვით. ის ფიქრობდა, რომ არსებობს სამი ციტოქრომი: a, b და c. შემდეგში გამოირკვა, რომ a-ს სპექტრი პირობადებულია ორი ნივთიერებით: a₁ და a₂. ციტოქრომი a₃ ვ ა რ ბ უ რ გ ის მიერ აღმოჩენილ ციტოქრომ-ოქსიდაზის იდენტურია. ციტოქრომები სხვადასხვა ორგანიზმებში ერთიმეორისაგან განსხვავდებიან განსაკუთრებით უჯრედში განაწილებით, ანსხვავებენ a₁, b₁, b₂, b₃, c და სხვ. ციტოქრომებს. მათგან ყველაზე უკეთ შესწავლილია ციტოქრომი c, რომლის პრაპარატის დამზადება უფრო ადვილია.

ციტოქრომი c წარმოადგენს ფუძე ხასიათის ცილას, რომელიც სხვა ციტოქრომებთან შედარებით მეტი რაოდენობით არის წარმოდგენილი უჯრედში. ის

შეიცავს ოთხ ჰემს. ჰემი დაკავშირებულია ცილის მოლეკულასთან ცისტეინის თიოჯგუფებით და ჰისტიდინის იმიდაზოლის ნაშთის საშუალებით: ცილის თიოჯგუფი კავშირდება ჰემის ჩონჩხის ვინილის ნაშთებთან, ხოლო იმიდაზოლი — რკინასთან.

სუნთქვის ფერმენტის შენებაში აგრეთვე ჰემი ღებულობს მონაწილეობას. ჰემი დაკავშირებულია კოლოიდურ მზიდველთან, მაგრამ კოლოიდური მზიდველის გარდა მისი მოქმედება უშუალოდ დამოკიდებულია უჯრედის სტრუქტურაზე. ამის გამო მისი გამოყოფა აქტიურ მდგომარეობაში, რომ მას შენარჩუნებული ჰქონდეს დაჟანგვის კატალიზური მოქმედების უნარი, შეუძლებელი გახდა. ვ ა რ ბ უ რ გ ი ს მიერ შესწავლილია ამ ფერმენტების თვისებები სპეციალური მეთოდიკით. გამოირკვა, რომ სუნთქვის ფერმენტების ჰემის სპექტრი განსხვავდება პროტოჰემინის სპექტრისაგან და უფრო ემსგავსება დანარჩენი ჰემების სპექტრს. ფერმენტ-ჰემებისათვის დამახასიათებელია შთანთქმის ზოლების გადახრა სპექტრის წითელი ნაწილისაკენ. ამგვარივე გადახრა ახასიათებს იმ ჰემებს, რომლებიც ქლოროფილის გარდაქმნის შედეგად წარმოიშობა შავნიუმის შეცვლის შემდეგ რკინით. ამის გამო ფიქრობენ, რომ ფერმენტ-ჰემები გარდამავალ საფეხურს ქმნიან ქლოროფილსა და ჰემინს შორის. იქმნება შთაბეჭდილება, რომ ფერმენტ-ჰემები იგივე ქლოროფილის მსგავსი ნაერთებია, სადაც შავნიუმის მაგივრად რკინაა წარმოდგენილი.

§ 9. ჰემოციანინები

უხერხემლო ცხოველთა სისხლის ქრომოპროტეიდების შენება ხასიათდება მრავალი თვისებურობით; ისინი იმავე ფუნქციას ასრულებენ, როგორც ჰემოგლობინი ხერხემლიან ცხოველებში. უკეთ არის შესწავლილი მოლუსკების პიგმენტი ჰემოციანინი. მთავარი განსხვავება ჰემოგლობინისაგან მდგომარეობს იმაში, რომ რკინის მაგივრად აქ წარმოდგენილია სპილენძი. როგორც ქრომოპროტეიდი, ჰემოციანინი აშენებულია ორი კომპონენტისაგან: სპილენძის შემცველი ქრომოგენისა და ცილისაგან. ქრომოგენის სტრუქტურა ჯერ კიდევ გამოუკვლეული არ არის. ცნობილია მხოლოდ, რომ ის პორფირინის რგოლისაგან არ არის აშენებული. სპილენძი აქ დაკავშირებულია პოლიპეტიდისმაგვარ ნაერთში. ეს პოლიპეტიდი შეიცავს სულფჰიდრილის ჯგუფების შედარებით დიდ რაოდენობას. ჰემოციანინის ფიზიკური და ქიმიური თვისებები უმთავრესად გამომდინარეობს მისი მოლეკულის ცილოვანი შენებისაგან. ცხოველთა სხვადასხვა სახის ჰემოციანინების განსხვავება სწორედ ცილის შენებაზეა დამოკიდებული. ჰემოციანინის ენაგზადთან დაკავშირების უნარი აქვს ქრომოგენის შენებაში მონაწილე სპილენძს, რომელიც ქვეყანგის მარილის სახით არის წარმოდგენილი.

ჰემოციანინის მოლეკულური წონა, დანარჩენ მის მსგავს ნაერთებთან შედარებით, ძალიან დიდია. ს ვ ე ბ ე რ გ ი ს ულტრაცენტრიფუგირების მეთოდის მიხედვით ის 2×10^6 — 5×10^6 ფარგლებში მერყეობს.

ჰემოციანინები უკავშირდება ენაგზადს სპილენძის ეკვივალენტის მიხედვით. ენაგზადის ერთი მოლეკულა უკავშირდება ჰემოციანინის ერთ მოლეკულას, რომელიც თავის მხრივ შეიცავს სპილენძის ორ ატომს. უხერხემლო ცხოველების სხვადასხვა წარმომადგენლს ჰემოციანინების განსხვავება მტკიცდება იმით, რომ ენაგზადის დაკავშირების უნარი ყველას ერთნაირი არა აქვს.

ჰემოციანინების დაჟანგვის უნარიანობის შესწავლას იმ დასკვნამდე მივყევართ, რომ ისინი ჰემოგლობინისაგან განსხვავდებიან ჟანგბადის რაოდენობის დაკავშირებით. ჰემოციანინების მიერ ჟანგბადის დაკავშირების უნარი უფრო სუსტად არის გამოხატული. წონასწორობა დაჟანგულ ჰემოციანინსა და ჟანგბადის პარციალურ წნევას შორის უფრო გვიან მყარდება, ვიდრე ჰემოგლობინის შემთხვევაში.

სპეციალურ ლიტერატურაში აღწერილია აგრეთვე სხვა მრავალი პიგმენტი, რომელთა ფუნქცია ჟანგბადის ფიქსაციაში გამოიხატება. მაგალითად, კუნთის მიოგლობინი, კიების რკინაშემცველი პიგმენტი ქლოროკრუორინი, პინაგლობინი (რომლის შენებაში მანგანუმი ღებულობს მონაწილეობას), აქროგლობინი და სხვ.

თ ა ვ ი მ ე თ ო რ მ ე ტ ე

ფარმენტაგი (ენზიმაგი) და მათი მოქმედება

ასი წლის წინათ მცენარეული და ცხოველის ორგანიზმიდან შესაძლებელი გახდა ისეთ ნივთიერებათა გამოყოფა, რომელთაც ჰქონდათ ორგანიზმში მიმდინარე რეაქციების აჩქარების უნარი. მაგალითად, დაბალ ტემპერატურაზე პ ა ი ე ნ ის ა და პ ე რ ს ო ს მიერ ალაოდან გამოყოფილი იყო ნივთიერება, რომელიც საბამებელს აშაქრებდა. ამ ნივთიერებას ეწოდა დიასტაზა. ლ ი ბ ი ხ ის ა და ვ ე ლ ე რ ის მიერ აღმოჩენილი იყო ამიგდალინის დაშლის რეაქცია ემულსინით. შ ვ ა ნ მ ა გამოჰყო პეპსინი, რომელსაც ცილის დაშლის უნარი ჰქონდა.

პ ა ს ტ ე რ ი ფიქრობდა, რომ ფერმენტი, რომელიც უჯრედში ნივთიერებათა გარდაქმნას უწყობს ზელს, თავის მოქმედებას იჩენს მხოლოდ უჯრედის ცხოველმოქმედებასთან დაკავშირებით. ის დარწმუნებული იყო, რომ ფერმენტების მოქმედება უშუალო დამოკიდებულებაშია სასიცოცხლო მოვლენებთან. ამიტომ ისეთმა ფერმენტებმა, რომლებიც თავის თვისებებს ვითომც მხოლოდ ცოცხალ უჯრედში იჩენდნენ, ორგანიზებული ფერმენტების ანუ ენზიმების სახელწოდება მიიღეს; ხოლო იმ ფერმენტებს, რომელთა მოქმედება უჯრედის სასიცოცხლო პროცესებზე არ იყო დამოკიდებული, ეწოდა არაორგანიზებული ფერმენტები. მეცხრამეტე საუკუნის მიწურულში ძმებმა ბ უ ხ ნ ე რ ე ბ მ ა დაამტკიცეს, რომ დუღილის პროცესი შეიძლება წარმოებდეს ცოცხალი უჯრედების გარეშეც იმ ნივთიერების საშუალებით, რომელიც უჯრედში გამომუშავდება. ამ აღმოჩენით გაირკვა, რომ ორგანიზებულსა და არაორგანიზებულ ფერმენტებს შორის განსხვავება არ არსებობს. ფერმენტებს შეუძლია უჯრედის გარეშეც თავისი მოქმედება გამოაშჰარავოს. ბ უ ხ ნ ე რ ე ბ ის აღმოჩენამ საფუძველი ჩაუყარა ფერმენტების შესწავლის თანამედროვე მიმართულებას.

§ 1. კატალიზური რეაქცია

ფერმენტები წარმოადგენენ ბიოქიმიური რეაქციების კატალიზატორებს. კატალიზური რეაქციის სახელწოდებით ცნობილია ისეთი რეაქცია, რომელიც სპეციფიკურ ნივთიერებათა — კატალიზატორების თანდასწრებით მიმდინარეობს უფრო მეტი სიჩქარით, ვიდრე მაშინ, როდესაც კატალიზატორი რეაქციის არეში წარმოდგენილი არ არის. კატალიზატორის მოქმედების პირობად მიჩნეული იყო ის დებულება, რომ კატალიზატორი ვითომდა არ შედის რეაქციაში. ეს ქმნის შთაბეჭდილებას, რომ რეაქციის აჩქარებისათვის საკმარისია კატალიზატორის მხოლოდ თანდასწრება და ის რეაქციაში საერთოდ მონაწილეობას არ ღებულობს. უკანასკნელი დებულება სწორი არ აღმოჩნდა.

კატალიზატორის მოქმედება ვრცელდება უმთავრესად იმ ქიმიურ რეაქციებზე, რომელთა შესრულებისათვის საჭიროა განსაზღვრული დრო. იონური რეაქციები თავისთავად არაჩვეულებრივი სიჩქარით მიმდინარეობენ. ამისათვის მათი კიდევ აჩქარება კატალიზატორით საჭიროებას არ წარმოადგენს.

კატალიზატორის მოქმედების თავისებურება იმაში გამოიხატება, რომ ის აჩქარებს უკვე დაწყებულ რეაქციას. შედეგად რეაქცია იძლევა იმავე წონასწორობის მდგომარეობას, რაც მიიღებოდა კატალიზატორის მოქმედების გარეშე. მაგალითად, რთულ ეთერზე წყალი მოქმედებს, მაგრამ დიდი დროა საჭირო, რომ რეაქციამ წონასწორობას ჰიაღწიოს. წონასწორობა მყარდება, როდესაც გამოსავალ ნივთიერებათა და მიღებული პროდუქტების კონცენტრაციო აღწევს განსაზღვრულ შეფარდებას.

რთული ეთერი + წყალი = მჟავა + სპირტი

რეაქცია უკუქცევადია და წონასწორობის დამყარებისას დროის ერთეულში რა რაოდენობითაც რთული ეთერი დაიშლება, იმავე ოდენობით მჟავა მოქმედებს სპირტზე და წარმოიშობა ეთერი. რეაქცია ერთსა და იმავე მდგომარეობას აღწევს, მიუხედავად იმისა, ავიღებთ ჩვენ გამოსავალი ნივთიერების სახით ეთერსა და წყალს. თუ მჟავასა და სპირტს.

კატალიზატორის როლს ზემოთ მოტანილ რეაქციაში ასრულებს წყალბადის ან ჰიდროქსილის იონები. რეაქციაში შემავალ ნივთიერებათა წონასწორობა, რომელიც მყარდება კატალიზატორის თანდასწრებით, ან უკატალიზატოროდ, რეაქციის დასრულებისას არ იცვლება. წონასწორობა დამოკიდებული იქნება მხოლოდ აღებული ნივთიერების კონცენტრაციაზე. თუ რთულ ეთერს მიემატა წყლის ბევრი რაოდენობა, წონასწორობა გადაიხრება მარჯვნივ. მჟავასა და სპირტის მეტი კონცენტრაციის დროს წონასწორობა მარჯვნივ გადაიხრება. კატალიზატორის მოქმედება დამოკიდებული უნდა იყოს ზემოხსენებულ პირობებზე. ის აჩქარებს როგორც რთული ეთერის დაშლას, ისე სპირტისა და მჟავასაგან რთული ეთერის სინთეზს. მაშასადამე, კატალიზური რეაქცია წარმოადგენს შექცევად რეაქციას.

ვინაიდან კატალიზატორის როლი ისაზღვრება რეაქციის სიჩქარის მატებით (სხვაგვარად ის არ ამჟღავნებს თავის მონაწილეობას რეაქციაში). ამისათვის კატალიზატორი უცვლელი რჩება და მას შეუძლია განაახლოს თავისი მოქმედება რეაქციების შემდეგ წყებაზე.

უნდა აღინიშნოს, რომ ჩვეულებრივი ქიმიური ანალიზით შეუძლებელია იმის დადასტურება. თუ როგორ იწვევს კატალიზატორი რეაქციის აჩქარებას მხოლოდ თავისი თანდასწრებით. ბოლო დრომდე მიღებული იყო, რომ ის რეაქციაში მონაწილეობას არ ღებულობს. შემდეგში, კატალიზატორის მოქმედების მექანიზმის დეტალურმა შესწავლამ ნათელყო, რომ სინამდვილეში აქ აღბილი აქვს უფრო რთულ მოვლენებს. როგორც ირკვევა, კატალიზატორის მოქმედების თავისებურება იმაში გამოიხატება, რომ ის რეაქციაში მონაწილე ნივთიერებებთან ქმნის დროებით კავშირებს. ეს დაკავშირება გავლენას ახდენს რეაქციის მსვლელობის სიჩქარეზე და ამავე დროს ის იმდენად არამდგრადია, რომ ნივთიერების გარდაქმნისას კატალიზატორი პირვანდელ მდგომარეობაში აღდგება და იქმნება შთაბეჭდილება, რომ ის რეაქციაში მონაწილეობას უშუალოდ არ ღებულობს.

როგორც ცნობილია, ქიმიური რეაქციის სიჩქარე დამოკიდებულია მოქმედ მასებზე. ის პირდაპირ პროპორციულია რეაქციაში მონაწილე ნივთიერების კონცენტრაციისა. რეაქციის სიჩქარე მით უფრო მეტი იქნება, რაც დროის ერთეულში მეტი ნივთიერება გარდაიქმნება. ამის გამო რეაქციის სიჩქარის კონსტანტის სახით იგულისხმება გარდაქმნილი ნივთიერების რაოდენობის შეფარდება ამ გარდაქმნაზე დახარჯულ დროსთან. კონსტანტა გამოიხატება ნივთიერების იმ ნაწილით, რომელიც დროის ერთეულში გარდაიქმნება. აქედან გამოდინარობს, რომ კატალიზატორი აღიღებს რეაქციის სიჩქარის კონსტანტას.

დაევშვათ, რომ დროის ერთეულში გარდაიქმნება ნივთიერების განსაზღვრული ნაწილი, თუ აღვნიშნავთ ნივთიერების პირვანდელ კონცენტრაციას a -თი, ხოლო x — გარდაქმნილი ნივთიერების რაოდენობას, მაშინ რაოდენობა ნივთიერებისა, რომელიც რეაქციაში შედის უმცირესი დროის dt განმავლობაში, გამოიხატება შემდეგი განტოლებით:

$$-\frac{dx}{dt} = k(a-x),$$

სადაც k რეაქციის სიჩქარის კონსტანტას წარმოადგენს. ინტეგრირების შემდეგ ვღებულობთ:

$$k = \frac{1}{t} \ln \frac{a}{a-x}$$

ნატურალურ ლოგარითმებზე გადასვლისას განტოლება ღებულობს შემდეგ სახეს:

$$k = 0,4343 \frac{1}{t} \log \frac{a}{a-x} .$$

ზემოთ მოყვანილი განტოლებით განისაზღვრება პირველი რიგის რეაქციის (მონომოლეკულური რეაქციის) სიჩქარის კონსტანტა. განტოლების გამოყვანისას იგულისხმებოდა, რომ გარდაქმნას განიცდის ერთი სახის მოლეკულები. ამ რეაქციათა ჯგუფს ეკუთვნის ყველა ნივთიერების კატალიზური დაშლა წყლის შემწეობით. მართალია, გარდასაქმნელი ნივთიერების მოლეკულების გარდა რეაქციაში წყალიც შედის, მაგრამ მისი რაოდენობის ცვლილება, სუბსტრატის კონცენტრაციის ცვლილებასთან შედარებით, ძალიან მცირეა და ის შეიძლება მხედველობაში არ მივიღოთ.

ფერმენტის კატალიზური მოქმედება აგრეთვე ექვემდებარება მონომოლეკულური რეაქციის განტოლებას, რაც ფერმენტებზე წარმოებული მრავალი ექსპერიმენტით მტკიცდება.

ალატინის მსგავსად წყალბადის ზეიანგის დაშლის კატალიზს აწარმოებს ფერმენტი კატალაზა. ქვემოთ მოყვანილი მონაცემებიდან ირკვევა, რომ კატალაზას ზეგაგლენით წარმოებული ფერმენტული რეაქციის სიჩქარის კონსტანტა მუდმივ რიცხვს უდრის.

მაგრამ არის მრავალი გამონაკლისი, როდესაც ფერმენტული რეაქციის კონსტანტა დროის განმავლობაში უცვლელი არ რჩება და გარკვეული სიდიდით მატულობს. ეს ფაქტი იმის მაჩვენებელია, რომ ადგილი აქვს რეაქციის უფრო რთულ მსვლელობას. კერძოდ, შესაძლებელია, რომ ხანგრძლივი დროის განმავლობაში მოქმედი ფერმენტის რაოდენობა უცვლელი არ რჩება.

ფერმენტ კატალაზას მოქმედება წყალბადის ზეინგზე

დრო წუთებში	დაწლა %%-ში	$10^{-4} k = \frac{1}{t} \ln \frac{a}{a-x}$
5	24,6	245,7
10	43,3	246,6
15	57,2	245,5
20	67,7	245,4
25	75,6	245,0
30	81,9	246,9

ბიოქიმიური გარდაქმნა უჯრედში შეიძლება აგრეთვე წარმოებდეს მეორე რიგის რეაქციების მიხედვით: ამ დროს რეაქციაში მონაწილეობას ღებულობს არა ერთი ნივთიერება, არამედ ორი.

იმ შემთხვევაში, როდესაც გარდაქმნას განიცდის ორი ნივთიერება, რომელთა კონცენტრაცია დასაწყისში უდრის a და $b-x$, რეაქციის სიჩქარე დროის ერთეულში პროპორციული იქნება ორივე ნივთიერების კონცენტრაციის. თუ x -ით აღვნიშნავთ გარდაქმნილი ნივთიერების კონცენტრაციას დროის ერთეულში, მაშინ:

$$-\frac{dx}{dt} = k(a-x)(b-x).$$

თუ ორივე ნივთიერება აღებული იყო ექვიმოლარული შეფარდებით, მაშინ ფორმულა ღებულობს შემდეგ სახეს:

$$-\frac{dx}{dt} = k(a-x)^2.$$

ინტეგრირების შემდეგ ვღებულობთ:

$$k = \frac{1}{t} \cdot \frac{x}{a(a-x)}.$$

მეორე რიგის რეაქციის მაგალითის სახით ქვემოთ მოტანილია ორენოვანი მონაცემები, მიღებული ეთილაცეტატის ჰიდროლიზის დროს ნატრიუმის ჰიდრატის თანდასწრებით.

ძმარშევა ეთილ-ესთერის გახსენის სიჩქარის კონსტანტა

დრო წუთებში	$a-x$	$k = \frac{1}{t} \cdot \frac{x}{a(a-x)}$
0	8,04	—
4	5,30	0,0160
6	4,58	0,0156
8	3,91	0,0164
10	3,51	0,0160
12	3,12	0,0162

მორე რიგის რეაქციის სიჩქარის კონსტანტა დაზოკიდებულია არა მარტო დროისაგან, არამედ ნივთიერების პირვანდელი კონცენტრაციისაგან.

რეაქციის სიჩქარეზე ძალიან დიდი გავლენა აქვს აგრეთვე ტემპერატურას. ეს დამოკიდებულება ვ ა ნ ტ-პ ო ფ ი ს მიხედვით შემდეგი. დიფერენციალური განტოლებით გამოიხატება:

$$\frac{d \ln k}{dT_1} = \frac{E_a}{T_1 T_2} + B.$$

ინტეგრირების შემდეგ შესაძლებელია განტოლების გამარტივება და ის შემდეგ სახეს ღებულობს:

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a (T_1 - T_2)}{T_1 T_2} \cdot \frac{1}{R}.$$

E_a არის არენიუსის რეაქციაში შემავალ ნივთიერებათა გააქტივებისათვის საჭირო კალორიების რაოდენობა (აქტივაციის ენერგია). T_1 და T_2 არის აბსოლუტური ტემპერატურა, რომელიც სიჩქარის კონსტანტებს k_1 და k_2 შეეფარდება. R წარმოადგენს ე. წ. გაზის კონსტანტას. ამ ფორმულის ექსპერიმენტული გარკვევისას აღმოჩნდა, რომ ტემპერატურის 10° -ზე აწევის დროს ტემპერატურული კოეფიციენტი $\frac{k_{(t+10)}}{k_t}$ მერყეობს 2—3,5 ფარგლებში. ამ წესს დიდი მნიშვნელობა აქვს და მხოლოდ ისეთ მაღალ ტემპერატურაზე არ მართლდება, რომლის დროს ბიოქიმიური რეაქციების მსვლელობას ადგილი არა აქვს. აღსანიშნავია, რომ ტემპერატურის მატება აღიღებს მხოლოდ კონსტანტას, რომელიც რეაქციის სიჩქარეს ახასიათებს; ამავე დროს მას ძირითად განტოლებაში ცვლილება არ შეაქვს.

ფერმენტული რეაქციების სიჩქარე რომ განაზღვრულ დამოკიდებულებაშია ტემპერატურასთან და რეაქციის ტემპერატურულ კოეფიციენტს $\frac{k_{(t+10)}}{k_t}$ საყოველთაო გავრცელება აქვს, მტკიცდება შემდეგი მაგალითებით:

ფერმენტული რეაქციის ვანტ-ჰოფის ტემპერატურული კოეფიციენტი და არენიუსის აქტივაციის ენერგია

	ტემპერატურის ინტერვალები	E_a	$\frac{k_{(t+10)}}{k_t}$
ლერწმის შაქრის დაშლა ინვერტაზით	0,0—18°	11100	2,01
	18 —30°	9900	1,69
	30 —40°	8800	1,58
ზეთის ჰიდროლიზი ლიპაზით	15 —20°	16300	2,66
	20 —25°	4050	1,26
	25 —30°	3980	1,20
	30 —35°	3480	1,20
კახეინის ჰიდროლიზი ტრიპსინით	20,7—30,7°	29700	5,30
	30,7—38,7°	22700	3,33
სახამებლის დაშლა ამილაზით	30 —40°	12700	2,00

ირკვევა, რომ ფერმენტულ რეაქციაში მონაწილე მოლეკულების გააქტივების ენერგია ტემპერატურის მომატებისას კლებულობს. ამასთანავე მაღალი ტემპერატურის ინტერვალებში რეაქციის სიჩქარის ტემპერატურული კოეფიციენტი (ვ ა ნ ტ-პ ო ფ ის კოეფიციენტი) მცირდება. ეს კოეფიციენტი უფრო დიდ ოდენობას აღწევს შედარებით დაბალი ტემპერატურის ფარგლებში.

ვ ა ნ ტ-პ ო ფ ის განტოლება გვიჩვენებს ტემპერატურის დაპოკიდებულებას რეაქციის სიჩქარის კონსტანტისგან. განტოლებაში შეყვანილია სიდიდე, რომელიც რეაქციაში მონაწილე მოლეკულების აქტივაციის ენერგიას გამოხატავს. ცნება აქტივაციის ენერგიის შესახებ წარმოიქმნა ა რ ე ნ ი უ ს ის შემდეგი დებულების საფუძველზე. უნდა ვიგულისხმოთ, რომ ყოველ ნივთიერებაში წარმოდგენილი არის ორგვარი მოლეკულა: მოლეკულების ერთი ნაწილი რეაქციაში მონაწილეობას არ ღებულობს, მეორე ნაწილი იჩენს ქიმიური მოქმედების უნარს, ე. ი. უკანასკნელი მოლეკულები გააქტივებულია. ნორმალური მოლეკულებიდან აქტიური მოლეკულების შექმნა არის ენერგიის გადანაწილების შედეგი. ა რ ე ნ ი უ ს ის შეხედულების მიხედვით მოლეკულების გააქტივებისათვის საჭიროა განსაზღვრული ენერგიის დახარჯვა. ენერგიის ზაოდენობა, რომელიც საჭიროა აქტიური მოლეკულების ერთი გრამმოლის შექმნისათვის, ისაზღვრება აქტივაციის სითბოთი.

აქტიურ მოლეკულათა რიცხვი მატულობს ტემპერატურის გადიდებასთან ერთად. ამ გარემოებით უნდა აიხსნას რეაქციის სიჩქარის მატება ტემპერატურის გადიდებასას. კატალიზატორით გამოწვეული რეაქციის აჩქარება უნდა აიხსნას იმ გარემოებით, რომ კატალიზატორი ამცირებს აქტივაციის ენერგიას. თუ ჩვეულებრივ პირობებში მოლეკულების გააქტივებისათვის საჭიროა განსაზღვრული ენერგიის დახარჯვა, კატალიზატორის თანდასწრებისას აქტიურ მოლეკულათა რიცხვი დიდ ოდენობას აღწევს ენერგიის გაცილებით მცირე რაოდენობის დახარჯვით. აქტიურ მოლეკულათა რიცხვის გადიდება გამოწვეული უნდა იყოს კატალიზატორის მოლეკულებზე სპეციფიკური მოქმედებით.

დიდი მნიშვნელობის არის ის ფაქტი, რომ არაორგანული კატალიზატორების მოქმედების დროს აქტივაციის სითბოს შემცირება გაცილებით ნაკლებია. ვიდრე ფერმენტული კატალიზის შემთხვევაში. მაგალითად, ლერწმის შაქრის მჟავების საშუალებით ჰიდროლიზური დაშლისას აქტივაციის ენერგია E_a უდრის 25600 კალ/მოლ. ფერმენტი ინვერტაზს შემთხვევაში E_a საშუალოდ მხოლოდ 9300 კალ/მოლ. აღწევს. აქედან გამომდინარეობს, რომ ფერმენტის ზეგავლენით აქტივდება მოლეკულების გაცილებით მეტი რაოდენობა. ის ქმნის ისეთ პირობებს, რომ აქტივაციის სითბო ნაკლებ სიდიდეს აღწევს, ვიდრე ეს საჭირო იყო რეაქციის მსვლელობისათვის ან არაორგანულ კატალიზატორთან თანდასწრებით. ან (მით უფრო) უკატალიზატოროდ.

§ 3. შარშენბული რეაქციის კინეტიკა

როგორც უკვე აღნიშნული იყო, ფერმენტი, როგორც კატალიზატორი, გავლენას ახდენს რეაქციის სიჩქარეზე. რეაქციის სიჩქარის კონსტანტის მათემატიკური გამოხატულება მოცემულია პირველი და მეორე რიგის რეაქციების განტოლებაში. რეაქციის სიჩქარის კონსტანტის მატება გააირობებულება აქტიური მოლეკულების კონცენტრაციის გადიდებით და ფერმენტის ფიზიკურ-ქიმიური მდგომარეობით. იმ მრავალი ფაქტორიდან, რომელიც გავლენას ახდენს ფერმენტის ფიზიკურ-ქიმიურ მდგომარეობაზე, პირველ ყოვლისა, აღსანიშნა-

ვია ტემპერატურა. ფერმენტული რეაქციების სიჩქარის მატება ტემპერატურის გადიდებისას ექვემდებარება ვ ა ნ ტ-3 ო ფ ი ს საერთო წესს, რომლის მიხედვით ტემპერატურის 10°-ით გადიდებისას რეაქციის სიჩქარე საშუალოდ ორჯერ მატდება. ტემპერატურის გადიდების დადებით გავლენას ფერმენტულ რეაქციაზე საზღვარი აქვს. განსაზღვრული ტემპერატურის მიღწევასა და ფერმენტის ნაწილობრივ დაშლას განიცდის, რაც რეაქციის სიჩქარეს ამცირებს. ფერმენტის დაშლა შესაძლებელია ისე ინტენსიურად წავიდეს, რომ ტემპერატურის გადიდებისას რეაქციის სიჩქარის მატების ნაცვლად მიიღება მისი შემცირება.

ყოველი ფერმენტის აქტივობა შეიძლება დახასიათდეს ორი ტემპერატურის წერტილით, თუ დანარჩენი პირობები იგივე დარჩა. ერთი ტემპერატურის დროს ადგილი აქვს ფერმენტის მოქმედების მაქსიმუმს; ეს წერტილი ტემპერატურულ ოპტიმუმს წარმოადგენს. ტემპერატურის პიკურ წერტილზე იწყება ფერმენტის დაშლა.

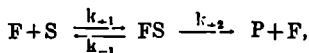
ექსპერიმენტული მონაცემებიდან ირკვევა, რომ ფერმენტების უმეტესი ნაწილი უკვე 70°-ზე ინაქტივდება. უფრო დაბალ ტემპერატურაზეც შემჩნეულია ფერმენტის რთული მოლეკულის დაზიანება. ეს დაზიანება იწვევს ფერმენტულ რეაქციებში ვ ა ნ ტ-3 ო ფ ი ს კოეფიციენტის შემცირებას. სხვადასხვა ფერმენტის ტემპერატურული ოპტიმუმი 35°—50°-ის ფარგლებში მერყეობს. ტემპერატურული ოპტიმუმის ზუსტი აღრიცხვა შეუძლებელია, რადგან ფერმენტულ მოქმედებაზე დიდი გავლენა აქვს სხვადასხვა მინარევს. იმ შემთხვევაში, როდესაც ფერმენტი მინარევებისაგან დაცვით მოქმედებას განიცდის, ოპტიმუმის მნიშვნელობა შეიძლება გადიდდეს.

მეორე ფაქტორი, რომელიც დიდ გავლენას ახდენს ფერმენტული რეაქციის სიჩქარეზე, არის ფერმენტის თვისობის ხარისხი სუბსტრატთან და რეაქციის პროდუქტებთან. ირკვევა, რომ თვისობის გაზრდა სუბსტრატთან რეაქციის სიჩქარეზე დადებით გავლენას ახდენს, ხოლო დაშლის პროდუქტებთან — უარყოფითს.

იმ შემთხვევაში, როდესაც ფერმენტის რაოდენობა უცვლელი რჩება, ხოლო გარდასაქმნელი სუბსტრატის კონცენტრაცია იცვლება, ადგილი აქვს გარკვეულ დამოკიდებულებას სუბსტრატის კონცენტრაციასა და ფერმენტული რეაქციის საწყის სიჩქარეს შორის. დამოკიდებულება ისაზღვრება ისეთი მრუდით, სადაც სუბსტრატის კონცენტრაციის გადიდებისას რეაქციის სიჩქარე ჯერ სწრაფად იზრდება და შემდეგ თანდათანობით აღწევს მაქსიმუმს. ასეთი დამოკიდებულება სუბსტრატის კონცენტრაციასა და ფერმენტული რეაქციის სიჩქარეს შორის, როდესაც რეაქციის მსვლელობაში ფერმენტის რაოდენობა უცვლელია, განიხილება მიხაელისის და მენტენის თეორიით. ამ თეორიის მიხედვით ფერმენტული რეაქციის სიჩქარე (სხვა თანაბარ პირობებში) ისაზღვრება იმ შუალედი პროდუქტის რაოდენობით, რომელიც წარმოიშობა ფერმენტის დაკავშირების შედეგად სუბსტრატთან. ეს შუალედი პროდუქტი იშლება და წარმოიშობა რეაქციის საბოლოო პროდუქტი.

ზემოხსენებული დებულებიდან გამომდინარე, მ ი ხ ა ე ლ ი ს მ ა და მ ე ნ თ ე ნ მ ა მოგვიჩვენებს განტოლებას, სადაც მოცემულია დამოკიდებულება: ფერმენტის, სუბსტრატის, მათი კომპლექსის, რეაქციის პროდუქტის რაოდენობათა და რეაქციის სიჩქარის კონსტანტებს შორის.

განვიხილოთ განტოლება:



სადაც F — ფერმენტი, S — სუბსტრატი, FS — ფერმენტ-სუბსტრატის დეკავირების შუალედი პროდუქტი, P — რეაქციის პროდუქტი, k_{+1} და k_{-1} პირდაპირი და შებრუნებული რეაქციის სიჩქარის კონსტანტებია, ხოლო k_{+2} -ით აღნიშნულია შუალედი პროდუქტის დაშლის სიჩქარე. თეორიით გათვალისწინებულია, რომ ფერმენტული რეაქციის სიჩქარე ისაზღვრება შუალედი პროდუქტის (FS -ის) დაშლის სიჩქარით. ეს იმას ნიშნავს, რომ k_{+1} და k_{-1} რიცხობრივად k_{+2} -ზე მეტია.

ამ ქიმიური განტოლების განხილვიდან გამოყვანილია კინეტიკური ტოლობა, რომელიც აკავშირებს ფერმენტული რეაქციის საწყისი სიჩქარის (v) დამოკიდებულებას სუბსტრატის კონცენტრაციასთან (S):

$$v = \frac{V}{1 + \frac{K_m}{S}}$$

სადაც V არის ფერმენტული რეაქციის მაქსიმალური სიჩქარე (ფერმენტი გაქრებულია სუბსტრატით), ხოლო $K_m = \frac{k_{-1} + k_{+2}}{k_{+1}}$ წოდებულია მიხაელი ს-მენტენის კონსტანტად.

ზემოთ მოტანილი განტოლება საფუძვლად დაედო ე. წ. მიხაელი ს-სა და მენტენის კონსტანტას (K_m) მათემატიკურ დასაბუთებას. ეს კონსტანტა ექსპერიმენტულად აღვიღად ისაზღვრება. მისი სიდიდე უდრის სუბსტრატის იმ კონცენტრაციას, როდესაც ფერმენტის მოქმედების სიჩქარე აღწევს (სუბსტრატით გაჯერების პირობებში) მისი მაქსიმალური ოდენობის ნახევარს.

მიხაელი ს-მენტენის კონსტანტა შეიძლება შემდეგნაირად გამოისახოს:

$$K_m = \frac{k_{-1} + k_{+2}}{k_{+1}}$$

განტოლებაში K_m — მიხაელი ს-ის კონსტანტაა, k_{+1} -ით აღნიშნულია პირდაპირი რეაქციის სიჩქარის კონსტანტა, ხოლო k_{-1} -ით — პირუკუ რეაქციის. k_{+2} -ით აღნიშნულია ფერმენტ-სუბსტრატის დაშლის სიჩქარის კონსტანტა.

K_m -ის სიდიდე სხვადასხვა ფერმენტის შემთხვევაში დიდ ფარგლებში იცვლება. კონსტანტის დიდი რიცხობრივი მნიშვნელობა მიუთითებს ფერმენტის და სუბსტრატის კომპლექსის კავშირის არამდგრადობაზე. რაც უფრო ნაკლებია კონსტანტა, მით უფრო მდგრადი უნდა იყოს სუბსტრატისა და ფერმენტის ურთიერთკავშირი, ამიტომ ის ფერმენტი, რომელიც მიხაელისა და მენტენის კონსტანტის მცირე მაჩვენებლით ხასიათდება, უნდა ამკლავნებდეს მაქსიმალურ აქტივობას. ამავე დროს ფერმენტი, რომლის K_m დიდია, ხასიათდება მცირე აქტიურობით. ქვემოთ ტაბულაში მოცემულია ზოგიერთი ფერმენტის K_m სიდიდეები.

ფერმენტი	K_m
სუკცინატდეჰიდროგენაზა	1×10^{-6}
კატალაზა	1×10^{-7}
საქარაზა, საფურის	$1,6-0,4 \times 10^{-9}$

მიხაელისისა და მენტენის კონსტანტის მნიშვნელობა იმაში გამოიხატება, რომ ის იძლევა ფერმენტის მოქმედების რაოდენობით დახასიათებას. მხედველობაშია მისაღები აგრეთვე ის ფაქტი, რომ ეს კონსტანტა იძლევა შესაძლებლობას ვიმსჯელოთ ფერმენტის მოქმედების აქტივობის შესახებ ისეთ პირობებში, რომელიც ცოცხალი უჯრედის პირობებს უახლოვდება. მიხაელისის და მენტენის თეორიიდან იმ დასკვნის გამოტანა შეიძლება, რომ იმ პირობებში, როდესაც ფერმენტი გაჯერებულია სუბსტრატით, ფერმენტული აქტივობა არ არის დამოკიდებული სუბსტრატის კონცენტრაციაზე: ის დამოკიდებულია ამ პირობებში მხოლოდ ფერმენტის რაოდენობაზე. როდესაც სუბსტრატის კონცენტრაცია K_m სიდიდესზე ნაკლებია, ფერმენტული აქტივობა სუბსტრატის კონცენტრაციის პროპორციულია. ცოცხალ უჯრედში ფერმენტული მოქმედება მტრ შემთხვევაში ზემოთ მოტანილი მეორე პირობით ისაზღვრება.

უკანასკნელ დრომდე ფერმენტსა და სუბსტრატს შორის შუალედი პროდუქტის წარმოშობის შესაძლებლობა გამომდინარეობდა იმ მონაცემებიდან, რომლებიც მიღებული იყო ფერმენტული რეაქციის კინეტიკის შესწავლისას. ახლანდელი გვაქვს ისეთი მონაცემები, რომლებიც უკვე არავითარ ექვს არ ტოვებენ ამ დებულებაში. ზოგერთი ფერმენტის შენებაში მონაწილეობას დებულობს ისეთი პროსტეტიული ჯგუფი, რომელსაც ახასიათებს შთანთქმის განსაზღვრული სპექტრი (კემინის ფერმენტები. ვარბურგის ყვითელი ფერმენტი, დეჰიდროჯენაზები). სპექტროფოტომეტრიული გამოკვლევებით დამტკიცდა, რომ სუბსტრატის დამატებისას ზემოხსენებული ფერმენტების ხსნარში იცვლება შთანთქმის სპექტრის მაჩვენებლები. აქედან გამომდინარე, შესაძლებელია გახდა არა მარტო დაკავშირების აღმოჩენა, არამედ მისი შექმნისა და დაშლის სინქარის გამორკვევა.

§ 4. ფერმენტების გუნება

ჯერ კიდევ მაშინ, როდესაც ორგანიზმიდან პირველად გამოყოფილ იქნა სპეციფიკური ნივთიერებანი, რომელთა ზეგავლენით სუბსტრატი გარდაქმნას განიცდიდა, გამოთქმული იყო აზრი, რომ ცოცხალ უჯრედში სუბსტრატის გარდაქმნას აწარმოებენ განსაზღვრული თვისებების მქონე ნაერთები.

ეს დებულება თავის დროზე იწვევდა კრიტიკას, რადგან უჯრედიდან გამოყოფისა და გასუფთავების განსაზღვრულ ეტაპზე ფერმენტი ხშირად მოქმედებას კარგავს. ვ ი ლ შ ტ ე ტ ე რ ი ს აზრით ნივთიერების გარდაქმნა გამოწვეულია არა იმდენად სტრუქტურით, როგორც განსაზღვრული ნაერთის ზემოქმედებით. ვ ი ლ შ ტ ე ტ ე რ მ ა შეძლო თავისი შეხედულება დაემტკიცებინა მთელი რიგი ისეთი ცდებით, რის შემწეობითაც ზემოხსენებულ შეხედულებას, ფერმენტის არამატერიალური ბუნების შესახებ, ყოველივე საფუძველი გამოეცალა. მაგრამ ვ ი ლ შ ტ ე ტ ე რ ი მეორე უკიდურესობაში ჩავარდა, როდესაც უარყოფდა ფერმენტულ მოქმედებაში უჯრედის სტრუქტურის მნიშვნელობას. მიუხედავად იმისა, რომ მან გამოიყენა ქიმიური კვლევის უზუსტესი მეთოდები, მან ვერ შეძლო ვერც ერთი ფერმენტის ქიმიური ბუნების გარკვევა.

დიდი ხანია ცნობილია ის ფაქტი, რომ ფერმენტს დიფუზიის უნარი არ გააჩნია და ტემპერატურის გადიდებისას ის აქტივობას კარგავს. აქედან ის დასკვნა იყო გამოტანილი, რომ ფერმენტები მდლამოლეკულურ ნაერთებს წარმოადგენენ. შემდეგში მოხერხდა ფერმენტების პრეპარატების გასუფთავება და ბოლოს მათი კრისტალური სახით მიღება. ყველა შემთხვევაში ფერმენტი ცი-

ლოვან ნივთიერებას წარმოადგენდა და ჰიდროლოზის შემდეგ ჩვეულებრივ ამინომჟავებს იძლეოდა.

ს ა მ ნ ე რ მ ა და შემდეგ ნ ო რ ტ რ ო პ მ ა გამოიყენეს ცილის სუფთა პრეპარატების მიღების ტექნიკა და შეძლეს დაემზადებინათ ფერმენტები ათეული და ზოგიერთ შემთხვევაში ასეული გრამის რაოდენობით. კრისტალური ფერმენტის მისაღებად მიმართავენ ამონიუმის სულფატით გამომარილებას. მარილის განსაზღვრული კონცენტრაციისას ფერმენტი იწყებს კრისტალიზაციას მარილისა და წყლის მოლეკულებთან ერთად. ეს კრისტალები ჩვეულებრივ კრისტალებს არა ჰგავს, მათ არსებობა შეუძლიათ მხოლოდ მარილის ხსნარში. ფერმენტის სუფთა პრეპარატი მიიღება დიალიზის საშუალებით მარილის მოშორების შემდეგ. კრისტალურ ფერმენტებს დიდი კატალიზური აქტივობა ახასიათებს, რომელიც მრავალჯერ გადაკრისტალების შემდეგაც არ იცვლება.

კრისტალური ფერმენტების შესწავლის შედეგად გამოიჩინა, რომ ისინი ქიმიური თვალსაზრისით ცილებს წარმოადგენენ. ანსხვავებენ მარტივ ფერმენტებს რთული ფერმენტებისაგან. მარტივი ფერმენტები წარმოადგენენ ტიპიურ ცილას, აშენებულს მხოლოდ ამინომჟავებიდან. რთული ფერმენტი აგრეთვე პროტეინია, რომლის შენებაში მონაწილეობას ღებულობს არაცილოვანი ნაშთიც. ეს ნაშთი პროტეინული ჯგუფის სახელწოდებას ატარებს. მარტივი ცილები წარმოდგენილია შემდეგ ფერმენტებში: პეპსინში, ტრიპსინში, ურეაზაში, კატეპსინში, ალდოლაზაში და სხვ.

ფერმენტის (როგორც ყოველივე ცილის) თვისებებს საზღვრავს სტრუქტურის ორგანიზაციის ოთხივე დონე. ფერმენტის აქტივობისათვის მნიშვნელობა ენიჭება არა მარტო იმას, თუ რომელ ამინომჟავებისაგან არის ის აშენებული, არამედ მათ შორიგეობას და აქედან გამომდინარე მოლეკულის სივრცით ფორმას. დიდ ინტერესს წარმოადგენს უკანასკნელი დროის ფაქტი, რომ აქტივობაში გადააშფუყვები მნიშვნელობა ენიჭება ფერმენტის მოლეკულის გარკვეულ ფრაგმენტს, სადაც თანმიმდევრობით წარმოდგენილია რამდენიმე ამინომჟავა თავისი სარეაქციო ჯგუფებით. ეს ფრაგმენტი ცნობილია ფერმენტის აქტიური ცენტრის სახელწოდებით. როგორც ირკვევა, ამინომჟავებიდან აქტიურ ცენტრში მნიშვნელობა აქვს იმ ამინომჟავებს, რომელნიც შეიცავენ სარეაქციო ჯგუფებს — ჰიდროქსილის (სერინი), თიო (ცისტეინი), იმიდაზოლის (ჰისტიდინი) სახით. სუბსტრატი კავშირდება ფერმენტის აქტიურ ცენტრში. ამასთანავე დაკავშირებაში მნიშვნელობა ენიჭება არა მარტო აქტიური ცენტრის ამინომჟავებს თავისი სარეაქციო ჯგუფებით, არამედ მის გვერდით არსებულ სხვა დამხმარე ამინომჟავებს.

ზოგიერთ შემთხვევაში შესაძლებელი გახდა აქტიური ცენტრის ამინომჟავური შემადგენლობის დადგენა. მაგალითად, ფოსფოგლუკომუტაზის აქტიური ცენტრისათვის დამახასიათებელია ამინომჟავების ასეთი თანმიმდევრობა აქტიურ ცენტრში:

ასპარაგინის მჟავა — სერინი — გლიცინი, ზოლო ქოლონესთერაზასათვის: გლუტამინის მჟავა — სერინი — ალანინი.

საყურადღებოა ის ფაქტი, რომ ზემოთ მოხსენებულ ტრიპეპტიდებს ფერმენტის გარეშე არაერთგვაროვანი ფერმენტული აქტივობა არ აქვთ. მეორე მხრივ, ცნობილია ისეთი ფაქტებიც: როდესაც ფერმენტს ჩამოაცილებენ მოლეკულის მნიშვნელოვან ნაწილს და აქტივობას ინაჩუნებ. მაგალითად, როდესაც რიბონუკლეაზას ჯაქვს ლიზინის ბოლოდან ჩამოაშორებს პოლიპეპტიდი, შემდგარო 20 ამინომჟავასაგან, მას აქტივობა არ დაუკარგავს.

უფრო რთული დამოკიდებულება უნდა არსებობდეს სუბსტრატსა და აქტიურ ცენტრს შორის ორკომპონენტიან ფერმენტებში.

ის ფერმენტები, რომლებიც მონაწილეობას ღებულობენ ჟანგვა-აღდგენით რეაქციებში, რთულ ცილებს წარმოადგენენ. არაცილოვანი-პროსტეტიული ჯგუფი ამ ფერმენტებში არის ან ვიტამინი, ან ნუკლეოტიდი, ან პორფინის ბირთვი, ან რომელიმე სხვა, შედარებით მარტივი შენების მქონე ნაერთი. ყველა ეს ნაერთი თერმოსტაბილობით ხასიათდება და დიალიზის უნარი აქვს.

გამორკვეულია, რომ ფერმენტების პროსტეტიული ჯგუფი ან მკიდროდ არის დაკავშირებული ცილასთან და მისი ჩამოშორება ხერხდება ენერგიული ზემოქმედების შედეგად, ანდა პროსტეტიული ჯგუფი ფერმენტს ჩამოშორდება. ჩვეულებრივი დიალიზის დროსაც კი. პროსტეტიული ჯგუფი, რომელიც ფერმენტს ადვილად შორდება, ეკუთვნის ე.წ. კოფერმენტების ანუ კოენზიმების ჯგუფს, რომელთა ქიმიური ბუნება დღეისათვის უმეტეს შემთხვევაში გარკვეულია. ასეთ ფერმენტებში ცილოვანი ნაშთი ატარებს აპოფერმენტის სახელწოდებას.

აპოფერმენტი ალბათ ორგვარ ფუნქციას ასრულებს. ერთი მხრივ, ის აქტივებს კოფერმენტს და, მეორე მხრივ, სუბსტრატს იკავშირებს. კოფერმენტის გააქტივება უნდა წარმოვიდგინოთ როგორც მისი სივრცითი ორიენტაცია ფერმენტზე, რის შედეგად ადვილდება ფერმენტის რეაგირება გარდასაქმნელ ნივთიერებასთან. აპოფერმენტი კავშირდება ერთდროულად როგორც კოფერმენტთან, ისე სუბსტრატთან. მიღებული კომპლექსის არსებობა ხანგრძლივი არ არის. აღსორბირებული სუბსტრატის აქტივაციის ენერგია მცირდება და მისი გარდაქმნა ადვილდება. სუბსტრატის გარდაქმნის შემდეგ ფერმენტი პირვანდელ მდგომარეობას უბრუნდება.

§ 5. ფერმენტების გამოყოფა და გაწმენდა

ფერმენტი არის უჯრედის ცხოველმომქმედების პროდუქტი. ფერმენტების ორგვარ ჯგუფს ანსხვავებენ: ლიოენზიმებსა და დესმოენზიმებს. ლიოენზიმები გვხვდება უჯრედის წვენიში და სეკრეტში ან თავისუფალი სახით, ან აღსორბირებული უჯრედის სტრუქტურული წარმონაქმნების მიერ. როდესაც ქსოვილი ან უჯრედი მოშორებულია იმ არეს, რომელზედაც დამოკიდებულია მისი ნორმალური ცხოველმომქმედება, უჯრედში ადგილი აქვს თავისებურ გარდაქმნებს. ეს პროცესი ცნობილია ავტოლიზის სახელწოდებით. ავტოლიზისათვის დამახასიათებელია ის გარემოება, რომ ნივთიერებათა გარდაქმნა უჯრედში რეგულირებული არ არის. ფერმენტებს ჯერ კიდევ აქვს მოქმედების უნარი იმ განსხვავებით, რომ მათი მოქმედება მთლიან პროცესს არ იძლევა. ავტოლიზის დროს ფერმენტები თავისუფლდება და მათი გადაყვანა ხსნარში გაადვილებულია.

დესმოენზიმები ყოველთვის დაკავშირებულია უჯრედის სტრუქტურულ ელემენტებთან. ჩვეულებრივი ქიმიური ზემოქმედებით მათი დაცილება მიზანს ვერ აღწევს, რადგან ძლიერი ქიმიური რეაგენტი, პირველ ყოვლისა, ფერმენტს სპობს. დესმოენზიმების გადაყვანა თავისუფალ მდგომარეობაში შესაძლებელი ზდება უჯრედის დასრესილი მასის დამუშავებისას სუსტი მჟავებით ან ტუტეებით, ანდა პროტეოლიზური ფერმენტებით. კარგ შედეგს იძლევა ქსოვილის დაბალ ტემპერატურაზე დამუშავება. მაგრამ ფერმენტის ნაწილი მაინც დაკავშირებული რჩება უჯრედის სტრუქტურულ წარმონაქმნებში და მათი მთლიანად

განთავისუფლება ვერ ხერხდება. ფერმენტების ამ ჯგუფს ეკუთვნის მაგალითად, ოქსიდაზები, მალტაზა, ამილაზა, პეპსინი და კატექსინი.

ფერმენტის უჩრდილადან განთავისუფლების შემდეგ იწყება ოპერაციების მთელი რიგი, რომელიც მიზნად ისახავს ფერმენტს თანამგზავრი ნივთიერებები ჩამოაშოროს, რათა სუფთა პრეპარატი დამზადდეს.

საკირაო აღინიშნოს, რომ ფერმენტები სხვადასხვა გამხსნელის მიმართ ერთი და იმავე თვისებების მქონე არ არის. ხშირად შესაძლებელი ხდება წყალბად-იონთა განსაზღვრული კონცენტრაციის დროს ფერმენტის დაშორება დანარჩენი ნივთიერებებისაგან ან მისი დალექვა სპირტის საშუალებით. ალაოსა და პანკრეასის ამილაზას შედარებით სუფთა პრეპარატების დამზადებისათვის ხშირად მიმართავენ ზემოხსენებულ წესს. კარგ შედეგს იძლევა აგრეთვე სპირტით დალექვა ემულსინისა და ურეაზას პრეპარატების დამზადებისას.

ფერმენტების გასუფთავების მიზნით აგრეთვე ხშირად მიმართავენ დიალიზსა და ელექტროდიალიზს. ფერმენტებს ნახევრად გამტარ აკეში განვლადობის უნარი არა აქვთ და ამის გამო დიალიზის დროს შესაძლებელი ხდება პრეპარატის გასუფთავება დიფუზიის უნარქონე ნაერთებისაგან. მაგრამ არც ერთი ზემოხსენებული ხერხი არ იძლევა ისეთ კარგ შედეგს, რაც მიიღება ვილმეტეტის მიერ დამუშავებული აღსორბციული მეთოდით.

აღსორბციული მეთოდის პრინციპი მდგომარეობს იმაში, რომ შესაფერისი აღსორბენტის შერჩევით შესაძლებელი ხდება ხსნარიდან ფერმენტის შთანთქმა. აღსორბირებული ფერმენტი შემდეგ თავისუფლდება სპეციალური რეაგენტის ზემოქმედების საშუალებით. ფერმენტის პრეპარატის გასუფთავების წარმატებით დამთავრება, პირველ ყოვლისა, დამოკიდებულია სპეციფიკური აღსორბენტის გამოჩვენებაზე. აღსორბენტი შერჩევით უნდა შთანთქავდეს მხოლოდ განსაზღვრულ ფერმენტს და ხელუხლებლად უნდა ტოვებდეს დანარჩენ ნივთიერებებს, რომლებიც ფერმენტთან ერთად მოიპოვება ხსნარში. ამგვარ ოპერაციას ეწოდება შერჩევითი აღსორბცია.

იმის საილუსტრაციოდ. თუ რა წარმატებას აქვს ადგილი ფერმენტის აღსორბციული გასუფთავების ტექნიკაში, ქვემოთ მოტანილია რამდენიმე მაგალითი. მონაცემებიდან ირკვევა, თუ როგორ დიდდება ფერმენტის კონცენტრაცია იმ მასალასთან შედარებით, საიდანაც ფერმენტი მზადდებოდა:

პანკრეასის ლიპაზა	240-ჯერ
ლეიძის ლიპაზა	120 "
პანკრეასის ამილაზა	125 "
საფუარების ინვერტაზა	1200 "
ლეიძის კატალაზა	220 "
პირშუშის პეროქსიდაზა	20 000 "

მაშასადამე, აღსორბციული მეთოდი იძლევა შესაძლებლობას დამზადდეს ფერმენტის უსუფთავესი პრეპარატი. შერჩევითი აღსორბცია უზრუნველყოფს ფერმენტების ერთიმეორისაგან დაცილებას. ვინაიდან აღსორბციის მოვლენა დამყარებულია იმ დროებით კავშირებზე, რომელთა საშუალებით წარმოებს აღსორბენტის მიერ აღსორბირებული ნივთიერების დაკავება, ამისათვის უნდა დავეუშვათ, რომ ფერმენტის ქიმიური შენება ერთიმეორისაგან უნდა განსხვავდებოდეს. აღსორბციული კავშირი მყარდება ფერმენტის მოლეკულაში შემავალ ატომთა განსაზღვრული ჯგუფების საშუალებით. ამ ჯგუფების შენება და თვისებები სხვადასხვა ფერმენტში განსხვავებულია, რადგან აღსორბცია სხვადასხვა შემთხვევაში ერთისა და იმავე რიგისა და ზარისხის არ არის.

ფერმენტების სუფთა პრეპარატების მიღებისათვის უკანასკნელ დროს ხშირად მიმართავენ ქრომატოგრაფიასა და ელექტროფორეზს. დამუშავებულია ქრომატოგრაფიის შესანიშნავი მეთოდები იონმცვლელთა სვეტებზე, წინაღ-დენური განაწილების, ცელულოზის დერივატებზე. განსაკუთრებულ ყურადღებას ახყრობს უკანასკნელ დროს მოწოდებული ელექტროფორეზის მეთოდები საბაქებისა და აკრილამიდის გელში.

ქრომატოგრაფიული მეთოდის გამოყენებით დამზადებულ იქნა ფერმენტების უსუფთავესი პრეპარატები. ამ პრეპარატების მოქმედების შესწავლისას გამომკვლავნდა მრავალი ისეთი ფაქტი, რომელიც წინათ გაურკვეველი რჩებოდა.

§ 8. შერევისათვის მოკვლევის ერთეული

ენიდან ფერმენტების ქიმიური სტრუქტურა საბოლოოდ გამორკვეული არ არის, მათი რაოდენობითი დახასიათება შესაძლებელი ხდება მხოლოდ იმ კატალიზური მოქმედების განსაზღვრით, რომელსაც ფერმენტი იჩენს სუბსტრატის მიმართ. ფერმენტული მოქმედების ხასიათი, თავის მხრივ, დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე. მათი გარკვევა საშუალებას იძლევა უფრო ნათელი წარმოდგენა ვიქონიოთ ფერმენტული მოქმედების მექანიზმის შესახებ.

ფერმენტის დახასიათებისათვის საჭიროა მისი მოქმედების რაოდენობითი აღრიცხვა. ეს აღრიცხვა საშუალებას იძლევა კონტროლი გავუწიოთ ფერმენტის პრეპარატის დამზადებას, წარმოდგენა ვიქონიოთ ფერმენტული გარდაქმნის ხასიათზე და ბოლოს რაციონალურად დავახასიათოთ ფერმენტული მოქმედება.

ფერმენტული მოქმედების ძირითად საზომად მიღებულ იქნა „ფერმენტის ერთეული“. ეს სიდიდე გამოიანგარიშება იმ სიჩქარიდან, რომლითაც ფერმენტის პრეპარატი აწარმოებს ნივთიერების გარდაქმნას დროის ერთეულში.

ფერმენტის ერთეულების რაოდენობას პრეპარატის ცილის ერთ მილიგრამში ეწოდება ხვედრითი აქტივობა. ფერმენტის ხვედრითი აქტივობა მატულობს პრეპარატის გასუფთაების პარალელურად.

ფერმენტული აქტივობის საუკეთესო მაჩვენებელს (მიხაელისი და მენტენისი კოეფიციენტის შემდეგ) წარმოადგენს კატალიზური ცენტრის აქტივობა (ბრუნვის რიცხვი). ეს აქტივობა უღრის სუბსტრატის რაოდენობას მოლეკულაში, რომელიც გარდაიქმნება ფერმენტის ერთი მოლის მიერ ერთი წუთის განმავლობაში და უჩვენებს, თუ წუთის განმავლობაში რამდენჯერ შევა უწყვეტად რეაქციაში ფერმენტი.

თუ რა სიჩქარით წარმოებს ფერმენტული გარდაქმნა, ადვილად წარმოადგენია ზემოთ მოტანილი რიცხებიდან. ფერმერ კატალაზას ერთ გრამ-მოლეკულას შეუძლია ერთი წუთის განმავლობაში დაშალოს $2,5 \times 10^6$ გრამ-მოლეკულა წყალბადის ზეანვი. შესაფერისი გადათვლის შემდეგ მიიღება, რომ კატალაზას 1 მილიგრამს 0°-ზე შეუძლია ზეანვიდან გაათავისუფლოს

ფერმენტის კატალიზური ცენტრის აქტივობა		
ფერმენტი	t	კატალიზური ცენტრის აქტივობა
კატალაზა	0	$2,5 \times 10^6$
ციტოქრომი	89	$1,4 \times 10^6$
პინოშვავაოა ოქსიდაზა	18	2×10^6
პოლიფენოლოქსიდაზა	20	7×10^4
ალკალდეჰიდრაზა	20	2×10^4
ტრიპოფოსფატდეჰიდრაზა	20	2×10^4
პრეკატალიზატორი	30	1×10^6

ერთი საათის განმავლობაში 2740 ლიტრა ეანგბადი. დანარჩენი ფერმენტების შემთხვევაში ასეთი ასტრონომიული რიცხვები არ მიიღება, მაგრამ ფერმენტული აქტივობა მაინც ღიდ ოღენობას აღწევს.

§ 7. წყალბად-იონთა კონცენტრაციის გავლენა ფერმენტულ მოქმედებაზე

ფერმენტთა მრავალი მნიშვნელოვანი თვისებაც დაკავშირებულია იმ გარე-ნობასთან, რომ ისინი უმეტეს შემთხვევაში ამფოტერულ ელექტროლიტებს წარმოადგენენ. ფერმენტული ნაწილაკის ელექტროქიმიური აღნაგობა გადამწყვეტ ფაქტორს წარმოადგენს მისი სპეციფიკური თვისობისათვის სუბსტრატის მიმართ. სუბსტრატთან თვისობაზე კი დამოკიდებულია ფერმენტის აქტივობა. ვინაიდან ამფოტერული კოლოიდის ელექტრომუხტი უშუალო დამოკიდებულებაშია წყალბად-იონთა კონცენტრაციასთან, ადვილი ვასაგებია, რომ ფერმენტის მოქმედება, პირველ ყოვლისა, დამოკიდებული უნდა იყოს არის pH-ზე. ყველა ფერმენტისათვის არსებობს მისთვის დამახასიათებელი წყალბად-იონთა კონცენტრაციის ოპტიმუმი, როდესაც მისი მოქმედება მაქსიმუმს აღწევს.

ზერენსენმა დაამუშავა ზუსტი მეთოდიკა, რომელიც ამ ფაქტორის ზეგავლენის შესწავლის შესაძლებლობას იძლევა. ზერენსენისა და მჩაულისის მიერ ჩატარებულმა მუშაობამ ნათელყო, რომ ფერმენტული მოქმედების შესწავლისათვის pH-ის განსაზღვრა ისეთივე აუცილებლობას წარმოადგენს, როგორც რეაქციის ტემპერატურა. გამოირკვა, რომ სხვადასხვა ფერმენტის მოქმედების ოპტიმუმი ერთნაირი არ არის და თითოეულ ფერმენტს pH-ის განსაზღვრული მნიშვნელობა ახასიათებს, როდესაც ის ოპტიმალურ აქტივობას იჩენს. სხვადასხვა ფერმენტის შემთხვევაში ეს pH 4—9 ფარგლებში მერყეობს. გამო-ნაკლისს წარმოადგენს პეპსინი, რომლის მოქმედების ოპტიმუმი pH 1—2 უდრის. წყალბად-იონთა ოპტიმალური კონცენტრაციის სიდიდის შედგირებისას ან გადიდებისას ფერმენტის მოქმედება თანდათან კლებულობს და ბოლოს სრულიად ქრება.

ქვემოთ ტაბულაში მოყვანილია ზოგიერთი ფერმენტის მოქმედების pH-ის ოპტიმუმი.

ფერმენტული მოქმედების pH ოპტიმუმი

ფერმენტი	სუბსტრატი	ოპტიმუმი
ლოპაზა პანკრეასის	ტრიბუტირინი	8.0
" კუქიდან	" " " " "	4.5
" აბუსალათინიდან	ზეთისბილის ზეთი	5.0
ინვერტაზა საფუარების	ლერწმის შაქარი	4.4—4.6
მალტაზა პანკრეასის	მალტოზა	6.1
ამილაზა პანკრეასის	სახამებელი	6.7—7.0
" ალაოს	" " " " "	4.6—5.2
პეპსინი კუქიდან	ალბუმინი	1.5—2.5
სუქციინატდეჰიდროგენაზა	ქარვის მჟავა	9.0
არგინაზა	I(+) არგინინი	9.8
პაპაინი	" " " " "	5.0
პირუეტდეკარბოქსილაზა საფუერის	პიროუურმის მჟავა	4.8
ტრიპსინი პანკრეასის	პეპტონები	7.8
ურატოქსილაზა სოკობიდან	შარდოვანა	7.0
კატალაზა სისისის	წყალბადის ზეენავი	7.0

ფერმენტების გარდა წყალბად-იონთა კონცენტრაციის ცვლილება გავლენას ახდენს თვით სუბსტრატის ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებებზე. ამიტომ, ნორტროპის აზრით, ფერმენტული მოქმედების ოპტიმუმი დამოკიდებული უნდა იყოს არა მხოლოდ ფერმენტის დისოციაციაზე, არამედ თვით სუბსტრატის დისოციაციაზეც: პეპსინისა და ტრიპსინის მოქმედების აქტივობის მრუდები ესხვაება საანალიზოდ აღებული სუბსტრატის დისოციაციის მრუდებს. ნორტროპის მიხედვით, პეპსინი, რომლის მოქმედების ოპტიმუმი ძლიერ მკაფე არეშია მოთავსებული, უნდა კავშირდებოდეს ცილის კატიონებთან; ტრიპსინი კი უნდა კავშირდებოდეს ცილის ანიონებთან, რადგან მისი მოქმედების ოპტიმუმი ტუტე არეშია მოქცეული.

მაშასადამე, pH გავლენას ახდენს ფერმენტზე და სუბსტრატზე. ორივე კომპონენტის ცვლილების შეჯამება აძლიერებს ფერმენტულ მოქმედებას, რადგან იქმნება ფერმენტის სუბსტრატთან დაკავშირების შესაფერისი პირობები.

უნდა დავუშვათ, რომ pH-ს უფრო მეტი გავლენა აქვს ფერმენტის არა პროსტეტიულ ჯგუფზე, არამედ ცილოვან კომპონენტზე. მეორე მხრივ, არსებობს მითითება იმის შესახებ, რომ კოფერმენტის კატალიზური მოქმედება განსაზღვრულ დამოკიდებულებაშია წყალბად-იონთა კონცენტრაციასთან. ფერმენტის პრეპარატის დამუშავების პროცესში ის მუხტის ნიშანს ზშირად იცვლის. ამ გარემოებას დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს შერჩევითი აღსორბციის მოვლენებისათვის, რადგან შესაძლებელი ხდება განსაზღვრული მკაფე ან ფუძე თვისებების მქონე აღსორბენტების ხმარება.

მაშასადამე ირკვევა, რომ წყალბად-იონთა კონცენტრაციის გავლენა ფერმენტულ მოქმედებაზე დამოკიდებულია, პირველ ყოვლისა, თვით ფერმენტის ელექტრო-ქიმიურ თვისებებზე. ფერმენტის ფიზიკურ-ქიმიური მდგომარეობა გამომდინარეობს ცილის, როგორც ამფოტერული კოლოიდის, ბუნებისაგან. წყალბად-იონთა კონცენტრაციის დადებითი გავლენა აგრეთვე იმაში უნდა გამოიხატებოდეს, რომ ფერმენტის შესაბამისად უნდა შეიცვალოს სუბსტრატის ფიზიკურ-ქიმიური თვისებები, რაც აადვილებს ფერმენტის სუბსტრატთან გარდამავალი კავშირების შექმნას.

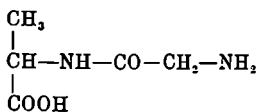
§8. შარინებაის საპიფიარობა

აზორგანული კატალიზატორებიდან ფერმენტები, სხვათა შორის, განსხვავდება მოქმედების სპეციფიკურობითაც. მაგალითად, წყალბადისა და ჰიდროქსილის იონები კატალიზურად მოქმედებენ ყველა ჰიდროლიზურ პროცესზე, იქნება ის ნახშირწყლების, ცხიმებისა, თუ რომელიმე სხვა ნაერთის დაშლა. მათი კატალიზური ჰიდროლიზი შეიძლება გამოწვეულ იქნეს აგრეთვე ფერმენტებით: განსხვავება იმაში მდგომარეობს, რომ თითოეული გარკვეული ნაერთის გარდაქმნისათვის საჭირო ხდება ცალკე, სპეციალური ფერმენტი.

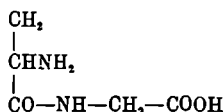
ფერმენტის სპეციფიკურობა გამოწვეულია ფერმენტების შენების ურთიერთგანსხვავებით. ექვს არ იწვევს ახლა ის გარემოება, რომ ფერმენტი, რომელიც ცხიმს შლის, თავისი ბუნებით, მაგალითად, პროტეოლიზური ფერმენტებისაგან განსხვავდება. ფერმენტების სპეციფიკურობა გამოიხატება არა მარტო ისეთი ნაერთების მიმართ, რომლებიც თავისი ქიმიური თვისებებით ერთიმეორისაგან შორს დგას; ერთისა და იმავე ჯგუფის ნაერთების გარდაქმნისათვის საჭირო ხდება სხვადასხვა ფერმენტის მოქმედება. მაგალითად, დისაქარიდილერწმის შაქარი, მალტოზა და ლაქტოზა ხასითდება ერთი და იმავე ელემენ-

ტური შენებით. ჰექსოზების ნაშთების დაკავშირება მათ მოლეკულაში წარმოებს ერთისა და იმავე ელემენტის ყანგბადის საშუალებით. მაგრამ მიუხედავად მსგავსებისა, მათი გარდაქმნისათვის სამი სხვადასხვა სპეციალიზებული ფერმენტი არსებობს. აქედან გამომდინარეობს, რომ ფერმენტების სპეციფიკურობა დამოკიდებული უნდა იყოს გარდასაქმნელი მოლეკულის სივრცით შენებაზე. ნივთიერების სივრცით შენებას რომ დიდი მნიშვნელობა აქვს ფერმენტის ხავეციფიკურ მოქმედებაზე, მტკიცდება მრავალი ბიოქიმიური რეაქციით; მაგალითად, გლუკოზის მარჯვენა იზომერი განიცდის ფერმენტულ გარდაქმნას, ხოლო მარცხენა — არა.

ფერმენტების სპეციფიკურობის მაგალითს წარმოადგენს აგრეთვე ტრიპსინის დამოკიდებულება დიპეპტიდებთან. ის აწარმოებს დიპეპტიდალანილგლიცინის კატალიზურ ჰიდროლიზს, მაგრამ ვერ მოქმედებს გლიცილ-ალანინზე.



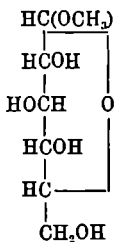
გლიცილ-ალანინი



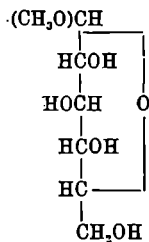
ალანილ-გლიცინი

ალანინში გლიკოკოლის დაკავშირების ხასიათი გავლენას ახდენს ფერმენტის მოქმედების შესაძლებლობაზე. საგულისხმოა, რომ ტრიპსინი მოქმედებს ისეთ პოლიპეპტიდებზე, რომლებიც აშენებულია ბუნებაში გავრცელებული ამინომჟავების ოპტიკური იზომერებისაგან.

ფერმენტის სპეციფიკურობის უკეთეს მაგალითს წარმოადგენს ის დამოკიდებულება, რომელსაც იჩენს ის გლუკოზიდების მიმართ.



α-მეთილ-
გლუკოზიდი



β-მეთილ-
გლუკოზიდი

ის ფერმენტი, რომელიც α-გლუკოზიდს შლის მეთილის სპირტად და გლუკოზად, ვერ მოქმედებს β-გლუკოზიდზე. ამავე დროს ის იჩენს მოქმედების უნარს ყველა α-გლუკოზიდზე, მიუხედავად იმისა, თუ რომელი სპირტი არის ჩანაცვლებული გლუკოზიდურ ჰიდროქსილში: მეთილის, ეთილის სპირტი, თუ არომატული ბირთვი. სამაგიეროდ β-გლიკოზიდაზას არა აქვს α-გლიკოზიდის დაშლის უნარი მიუხედავად იმისა, რომ ჯგუფების შენებით ისინი შესაძლებელია ერთიმეორისაგან არ განსხვავდებოდნენ. აქედან გამომდინარეობს, რომ ფერმენტი მგრძობიარობას იჩენს არა ჯგუფების ქიმიური შენების, არამედ მათი დაკავშირების სივრცითი განწყობის მიმართ.

ფერმენტის უნარი, იმოქმედოს განსაზღვრული სივრცითი შენების მქონე ნაერთებზე, რომლებიც აშენებულია ასიმეტრიული ნაწიბრბადის ატომებისაგან,

გულიანობას იმ გარემოებას, რომ თვით ფერმენტი ასიმეტრიულად არის აშენებული. ფერმენტების სპეციფიკურობის შესახებ ე. ფი შ ე რ მ ა თქვა, რომ -ფერმენტი ისე უნდა უდგებოდეს სუბსტრატს, როგორც გასაღები კლიტეს⁴. ზემოთ მოტანილი მაგალითები გვარწმუნებენ, რომ ფერმენტის სტრუქტურის ლეტალები უნდა შეეფერებოდეს სუბსტრატის თავისებურებას. ფერმენტისა და სუბსტრატის ჰივრციითი შენების შეთავსების აუცილებლობა გულისხმობს ამავე დროს მათ ურთიერთთვისობასაც.

ფერმენტების სპეციფიკურობა შეიძლება გამოიხატოს აგრეთვე ისეთ მოვლენაში, როდესაც ერთსა და იმავე ნივთიერებაზე სხვადასხვა ფერმენტი მოქმედებს. აქ უკვე აღგილი ექნება არა ერთგვარი რეაქციის მსვლელობას, არამედ განსხვავებულის, რომლის დროს სხვადასხვა ნაერთი წარმოიშობა; მაგალითად, პეპსინის ზემოქმედების შედეგად ცილისაგან წარმოიშობა პეპტონები, ხოლო ტრიპსინის ან პიპაინის მოქმედება ცილაზე იწვევს პეპტიდებისა და ამინომჟავების წარმოშობას. ორივე შემთხვევაში წარმოებს ცილის დაშლა, მაგრამ ჰიდროლიზის შემდეგ მიიღება სხვადასხვა პროდუქტი.

§ 9. შინაინფორმული რეაქციის აქტივაციონი და ინჰიბიტორი

გააქტივების პროცესი ერთი რომელიმე მექანიზმით კი არ ხდება, არამედ მთელი რიგი სისტემებით, რომელთა როლი ყოველ ცალკე შემთხვევისათვის თავისებურია.

გააქტივება იწვევს ფერმენტული მოქმედების აჩქარებას. ფერმენტული რეაქციის აჩქარებას იწვევს მრავალი ფაქტორი, როგორც არის pH, ტემპერატურა, ელექტროლიტები და სხვა აგენტები. ამ ფაქტორებისაგან გამოირჩევა იმ ნივთიერებათა მოქმედება, რომელიც სპეციფიკურად ფერმენტზე ახდენს გავლენას და მას ახალ თვისებას ანიჭებს. ზოგიერთ შემთხვევაში მათი უქონლობა იწვევს ფერმენტული მოქმედების მოსაზობას. ამ აქტივატორებს ეწოდება კოფერმენტები. პირიქით, იმ ნაერთებს, რომლებიც ფერმენტზე სპეციფიკურად მოქმედებენ და მისი მოქმედების დასუსტებას იწვევენ, ეწოდება ინჰიბიტორები.

უმოქმედო ფერმენტის აქტიურ ფორმაში გადასვლა და აგრეთვე ფერმენტული მოქმედების გაძლიერება შეიძლება მიმდინარეობდეს სხვადასხვა გზით:

1. იმ ნივთიერების მოქმედების აცილებით, რომელიც აკავებს ფერმენტულ მოქმედებას.
2. აქტივატორის მიერ უმოქმედო ფერმენტის ისეთი გარდაქმნით, რის შედეგად ფერმენტს მოქმედების უნარი ენიჭება.
3. ფერმენტულ სისტემაში ისეთი კომპონენტის შეყვანით, რომლის უქონლობა იწვევს ფერმენტული რეაქციის შეჩერებას.

პირველი შემთხვევის მაგალითს წარმოადგენს გლუტათიონით იმ ფერმენტების გააქტივება, რომელთა შენებაში მონაწილეობას ლებულობს სულფჰიდრილის ჯგუფები. ასეთი ფერმენტების პრეპარატების დამზადებისას მათ შენებაში მონაწილე აღდგენილი გოგირდი იყენება და დისულფიდურ ფორმაში გადადის, რის გამო ფერმენტს აქტივობა ძალიან უმცირდება. ფერმენტს აქტივობა აღვიადებს უბრუნდება ისეთი ნაერთის დამატებით, რომელიც დისულფიდურ გოგირდს აღდგენილ ფორმაში გადაიყვანს. ამგვარი გააქტივება შესწავლილია სუქცინატდეჰიდროგენაზის, კათეპსინის, პაპაინისა და სხვა სულფჰიდრილის ჯგუფების შემცველი ფერმენტების შემთხვევაში. აქტივობა უბრუნდება

აგრეთვე ციანწყალბადით მოწამლული რკინის შემცველი ჰემინის ფერმენტებს, თუ ციანწყალბადი მათ ჩამოშორდა.

ზემოთ მოტანილ მაგალითებში რკინა და გოგარდა წარმოადგენს ფერმენტის იმ აქტიურ ცენტრებს, რომელთა საშუალებით ხერხდება სუბსტრატის დაკავშირება. როდესაც ეს ცენტრები ეკრანირებულია, ფერმენტს მოქმედების უნარი ეკარგება. როდესაც ცენტრები თავისუფლდება, მაშინ ფერმენტი აქტივდება.

მეორე შემთხვევის მაგალითს პრეფერენტების აქტიურ ფერმენტში ვადაყვანა წარმოადგენს. ზოგიერთი ფერმენტი გამოიყოფა არააქტიურ პრეფერენტულ ფორმაში, მაგალითად, პრეპესინი, პრეტრიპსინი და სხვ. როდესაც მარილის მქაფა პრეპესინზე, ანდა ფერმენტი ენტეროკინაზა პრეტრიპსინზე მოქმედებს, იქმნება აქტიური პეპსინი და ტრიპსინი. პრეტრიპსინის შემთხვევაში გარკვეულია, რომ მისი სარეაქციო ცენტრები, რომელთა საშუალებით გარდასაქმნელი ნივთიერების დაკვერა ხერხდება, ეკრანირებულია პოლიმეპტიდის ხასიათის ნაერთით. როდესაც პანკრეასული წვენი, რომელიც ტრიპსინოგენს (პრეტრიპსინს) შეიცავს, წვრილ ნაწილაკებში გადადის, აქ მოქმედებს იჩენს ფერმენტი-აქტივატორი ენტეროპეპტიდაზა. ეს აქტივატორი არღვევს პოლიმეპტიდის კავშირს პრეტრიპსინში. სარეაქციო ცენტრები შიშვლდება და ტრიპსინს მოქმედების უნარი ენიჭება.

მესამე შემთხვევის მაგალითს წარმოადგენს იმ ფერმენტების გააქტივება, რომელთა მოქმედება შეკავებულია რომელიმე იონის უქონლობით. ფოსფორილირებაში, კარბოქსილისა და ენოლის ჯგუფის გარდაქმნებში მონაწილე ფერმენტები აქტივობას იჩენენ მხოლოდ მაგნიუმის იონების თანდასწრებისას. იმავე დამოკიდებულებას იჩენს ამილაზა ქლორ-იონისადმი ანდა ცინკი ფერმენტ ურიკაზას ან კარმონაჰიდრაზას მიმართ. უნდა დაუშვათ, რომ ზემოხსენებული იონები წარმოადგენენ თვით ფერმენტების აუცილებელ ინგრედიენტებს. იონები ადვილად შორდება ფერმენტს და ამიტომ გარდაქმნის წარმოებისათვის საჭირო ხდება ფერმენტულ არეში მათი ხელახალი დამატება.

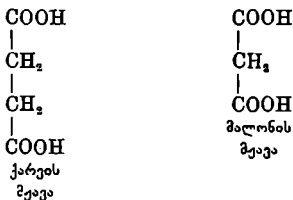
რაც შეეხება ფერმენტული რეაქციის გააქტივებას კოფერმენტის ანუ კოენზიმის საშუალებით, აქ დამოკიდებულება ფერმენტსა და აქტივატორს შორის სხვაგვარია. მხედველობაში მისაღებია ის გარემოება, რომ ფერმენტულ გარდაქმნაში აუცილებლად უნდა მიიღოს მონაწილეობა სამმა კომპონენტმა: ფერმენტმა, სუბსტრატმა და იმ ნაერთმა, რომელზეც გადადის სუბსტრატის გარდაქმნის პროდუქტი. მაგალითად, როდესაც ლერწმის შაქარი ჰიდროლიზურ დაშლას განიცდის, ფერმენტი იკავშირებს გლუკოზას და უნდა გათავისუფლდეს ფრუქტოზა. ფრუქტოზას ჩამოშორება გლუკოზასაგან შესაძლებელი ხდება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ სარეაქციო არეში არის წყალი. ეს უკანასკნელი ითვისებს ფრუქტოზას ნაშთს და ერთდროულად გლუკოზა ფერმენტს ჩამოშორდება. ამ შემთხვევაში წყალი კოფერმენტის როლს ასრულებს. განსაკუთრებული მნიშვნელობა კოფერმენტს ენიჭება ჟანგვა-აღდგენით რეაქციებში. ლაქტატდეჰიდროგენაზა რძის მქაფაში წყალბადს ააქტივებს. მაგრამ წყალბადი რძის მქაფას ჩამოშორდება იმ შემთხვევაში, თუ სარეაქციო არეში წარმოადგენილია ნად-ი, უკანასკნელი წყალბადის აქცეპტორის როლში გამოდის და ამით ხელს უწყობს რძის მქაფას დაქანგვას.

ცნობილია კინაზების მთელი რიგი, რომელნიც ააქტივებენ ფოსფატის ნაშთის გადაცემას ადენოზინტრიფოსფატიდან კრეატინზე, ფრუქტოზაზე, გლუკოზაზე. ფოსფოკინაზას მოქმედება მხოლოდ იმ შემთხვევაში ხორციელდება.

ეს სარეაქციო არეში წარმოდგენილია არა მარტო სუბსტრატი, რაზედაც ფოსფატის ნაშთი უნდა გადავიდეს, არამედ აღენოზინტრიფოსფორის მკავაც. ამიტომ ასეთ რეაქციებში აღენოზინტრიფოსფატი კოფერმენტის როლს ასრულებს. სუბსტრატის ფოსფორილირების რეაქციებში ის აუცილებელ კომპონენტს წარმოადგენს, როგორც ფოსფატის ნაშთის ღონატორი.

როდესაც შეისწავლება რთული ბიოქიმიური გარდაქმნა, სადაც მონაწილეობას ღებულობს რამდენიმე ფერმენტი, საჭირო ხდება მათი ერთმეორისაგან დაცილება. ამ მიზნისათვის მოიხმარება ე. წ. ფერმენტული შხამები, რომლებშიც გარკვეულ ფერმენტულ რეაქციას სპეციფიკურად აკავებენ. მაგალითად, ციანი აკავებს ჟანგბადით სუნთქვას, დინიტროფენოლი — ჟანგვით ფოსფორილირებას, მონოიოდოაქეტატი — გლიცერინალდეჰიდის გარდაქმნას, პროზერინი — აცეტილქოლინის დაშლას და ა. შ. ინჰიბიტორების შერჩევით შესაძლებელი ხდება ერთი რომელიმე რეაქციის შეკავება იმგვარად, რომ დანარჩენი ფერმენტული გარდაქმნები დაუბრკოლებლივ მიმდინარეობდეს.

შეკავების საინტერესო მაგალითს წარმოადგენს ე. წ. კონკურენტული შეკავება. ძალიან ხშირად ფერმენტების აქტივობა შეკავდება ისეთი ნაერთით, რომელიც სტრუქტურულად სუბსტრატთან ახლოს დგას. სუქცინატდეჰიდროგენაზა ააქტივებს ქარვის მკავაში წყალბადის ატომებს და წყალბადის აქცეპტორის თანდასწრებით ქარვის მკავას დაქანგვა დაუბრკოლებლივ მიმდინარეობს. თუ ასეთ სისტემას, რომელიც შეიცავს ფერმენტს, სუბსტრატსა და წყალბადის აქცეპტორს. დაემატა მალონის მკავა, რეაქცია შეკავდება. რეაქციის შეკავების მიზეზი იმაში მდგომარეობს, რომ მალონის მკავა სტრუქტურულად ძალიან ახლოს დგას ქარვის მკავასთან და ამიტომ შესაძლებელი ხდება ფერმენტის სარეაქციო ცენტრში ქარვის მკავას ნაცვლად მალონის მკავა მოთავსდეს. მაგრამ მალონის მკავაში წყალბადის გააქტივება ვერ ხერხდება და ფერმენტი თავის მუშაობას წყვეტს.



კონკურენტული შეკავების არსებობა იმის მაჩვენებელია, რომ სუბსტრატი ფერმენტის მოლეკულის წიაღში კავშირდება გარკვეული ჯგუფების მიერ. ეს მოვლენა ადასტურებს ფერმენტ-სუბსტრატის კომპლექსის შექმნის აუცილებლობას და ფერმენტის უაღრეს სპეციფიკურობას.

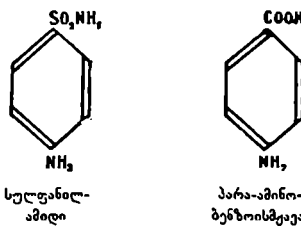
უქანასკნელ დროს მიღებული ფაქტების გაცნობის შედეგად ის დასკვნა უნდა გამოვიტანოთ, რომ კონკურენტულ შეკავებას დიდი მნიშვნელობა ენიჭება არა მარტო ფერმენტული მოქმედების კერძო საკითხების გარკვევაში, არამედ საერთოდ ნივთიერებათა ცვლის შესწავლის საქმეში. ფერმენტული მოქმედების თანამედროვე წარმოდგენა გამომდინარეობს იმ დებულებიდან, რომ სუბსტრატის კატალიზური გარდაქმნა იწყება იმის შემდეგ, რაც სუბსტრატი ფერმენტს დაუკავშირდება. ეს დაკავშირება წარმოებს ფერმენტის სარეაქციო ჯგუფების საშუალებით. ცხადია, რომ ფერმენტისა და სუბსტრატის სარეაქციო

ჯგუფებს შორის გარკვეული თვისობა უნდა არსებობდეს. ხოლო ფერმენტთან დაკავშირების შემდეგ, აქტივაციის ენერჯის შემცირების გამო, სუბსტრატს ენიჭება ქიმიური გარდაქმნის უნარი. ამავე დროს ადგილი წარმოსადგენია ისეთი ნაერთის არსებობა, რომელსაც სუბსტრატის მსგავსი სარეაქციო ჯგუფები ახასიათებს. ამასთან ანტაგონისტს, სუბსტრატისაგან განსხვავებით, ისეთა შენება უნდა ჰქონდეს, რომ ის ფერმენტთან დაკავშირების შემდეგ ან სხვანაირად უნდა გარდაიქმნეს, ანდა ხელუზღებელი დარჩეს. რადგან ანტაგონისტთან დაკავშირების გამო ფერმენტის აქტიური ჯგუფები შებოქილია, სუბსტრატის გარდაქმნა მთლიანად შეკავდება და წარმოიქმნება ორგანიზმის დალუპვის შესაძლებლობა.

სინთეზირებულია ნაერთების მთელი რიგი, რომლებიც შენებით ვიტამინებსა და ჰორმონებს ემსგავსება, მაგრამ მათ ფიზიოლოგიური მოქმედების უნარი კი არა აქვთ. ამ ნაერთების ორგანიზმში შეყვანისას ადგილი აქვს გარკვეული გარდაქმნების შეკავებას, რის შედეგად გამოიწვევა შესაფერისი ავიტამინოზი ანდა ჰორმონის ნაკლებობით დაავადება. ცნობილია ისეთი შემთხვევებიც, როდესაც ცხოველის დაავადება გამოიწვევა რომელიმე ჰირკელის ჰიპერფუნქციით. ამ დროს კონკურენტული ნაერთის — ჰორმონის ანტაგონისტის შიგნით იძლევა განკურნების ეფექტს.

კონკურენტული შეკავებით უნდა აიხსნას ნახშირბადის ქანგის უარყოფითი მოქმედება ჰემოგლობინზე და ამ გავლენის აცილება ქანგადით. სინთეზური გზით დამზადებულია გარკვეული შენების მქონე ნაერთები — ანტივიტამინები და ანტიჰორმონები, რომლებიც აკავებენ თიამინის, ასკორბინის მკვას, ტოკოფეროლის, პირიდოქსინის, თიროქსინის, პისტამინის, აცეტილქოლინისა და სხვა ფიზიოლოგიურად აქტიურ ნივთიერებათა მოქმედებას.

განსაკუთრებული მნიშვნელობა კონკურენტულ შეკავებას ენიჭება ქემოთერაპიაში, კერძოდ, ინფექციურ დაავადებათა მკურნალობაში. მთელი რიგი სამკურნალო პრეპარატების მოქმედება აიხსნება იმ უარყოფითი გავლენით, რომელსაც ეს პრეპარატები ახდენენ პათოგენური მიკროორგანიზმების მოქმედებაზე. ეს უარყოფითი გავლენა გამოიწვევა იმით, რომ სამკურნალო პრეპარატი უჯრედში აკავებს იმ აქტიური საწყისის მოქმედებას, რომელზეც დამოკიდებულია ბაქტერიული უჯრედის ზრდა და განვითარება. ასეთი შეკავების კლასიკური ნიმუშს წარმოადგენს, მაგალითად, სულფამიდის პრეპარატის მოქმედება ზოგიერთ ბაქტერიებზე.



სულფანილამიდისა და პარა-ამინობენზოის მკვასებს ერთი სარეაქციო ჯგუფი, სახელდობრ, ამინი, ანალოგიური აქვთ და ერთიმეორისაგან მხოლოდ მერე ჯგუფით განსხვავდებიან. პარა-ამინობენზოის მკვას მონაწილეობას ლებუ-

ლობს ფოლიუმის მეავას შენებაში. ეს ვიტამინი ზოგერთი პათოგენური ბაქტერიის ზრდის აუცილებელი ფაქტორია. როდესაც ბაქტერიულ არეში ემატება პარა-ამინობენზოის მეავას სტრუქტურული ანალოგი — სულფანილამიდი, უჯრედის ფერმენტული სისტემა იკავშირებს სულფანილამიდს და შედეგად კავდება ისეთი რეაქცია, სადაც ფოლიუმის მეავა ღებულობს მონაწილეობას და რომლის გარეშე შეუძლებელია მიკროორგანიზმის განვითარება. ამ აღმოჩენამ სტიმული მისცა ინტენსიურად შეესწავლათ პათოგენური ბაქტერიებისა და სოკოების ნივთიერებათა ცვლა. დღესათვის გამოკვლეულია მთელი რიგი ნაერთების აუცილებლობა მიკროორგანიზმების ნორმალური განვითარებისათვის. მეორე მხრივ, სინთეზირებულია და გამოცდილია მრავალი ასეული და ათასეული პრეპარატი, რომლებიც აქტიური საწყისების სტრუქტურულ ანალოგებს წარმოადგენენ და მათვე წინააღმდეგ მეტი თუ ნაკლები სიძლიერით ანტაგონისტურ მოქმედებას ამჟღავნებენ.

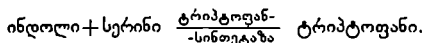
§ 10. ფერმენტების გოგამდების რეგულაცია

ფერმენტი, ისე როგორც ყოველი ნაერთი, ორგანიზმში ცვლას განიცდის: წარმოებს მისი სინთეზი, განახლება და ბოლოს დაშლა. არსებული ექსპერიმენტული მონაცემები იმაზე მიუთითებენ, რომ უჯრედში ადგილი აქვს ფერმენტის ინტენსიურ გარდაქმნებს. განსაკუთრებით კარგად შეღავნდება ეს ემბრიონალურ ქსოვილში. ცხოველთა ორგანიზმის სპეციალიზებულ ორგანოებში ეს პროცესი დიდი ოდენობით წარმოებს. მაგალითად, ამას ადგილი აქვს მომწიფებელი ტრაქტის ჭირკვლებში (სანერწყვე ჭირკვლები, კუჭის ლორწოვანი გარსი, კუჭის ქვედა ჭირკვალი).

დიდ ინტერესს იწვევს იმის გარკვევა, თუ რა მექანიზმების საშუალებით რეგულირდება ფერმენტების სინთეზი და მათი აქტივობა. როგორც ცნობილია, უჯრედში ერთდროულად მრავალი ფერმენტული გარდაქმნა მიმდინარეობს. მათი მსვლელობა თანმიმდევრულად აწყობილი და მიზანდასახულია.

ფერმენტის სინთეზის რეგულატორის როლი, პირველ ყოვლისა, მინიჭებული აქვს გენეტიკურ მექანიზმს. მოლეკულური ბიოლოგიის ერთ-ერთ მიღწევად ითვლება იმ მექანიზმის გარკვევა, რომლითაც ეს რეგულაცია ხორციელდება. რეგულაციის გენეტიკურ მექანიზმს საფუძვლად უდევს რეპრესიისა და ინდუქციის მოვლენები.

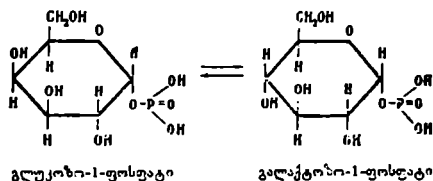
თუ ჩვენ ვაქვს რომელიმე ფერმენტული რეაქცია, მისი საბოლოო პროდუქტი შეიძლება გამოვიდეს რეპრესორის როლში, ე. ი. ეს პროდუქტი უარყოფითად მოქმედებს იმ მექანიზმზე, რომლისაგან დამოკიდებულია ფერმენტის სინთეზი. რეპრესიის კარგ მაგალითს წარმოადგენს ტრიპტოფან-სინთეტაზა შეკავება ტრიპტოფანით. ეს ფერმენტი ააქტივებს ტრიპტოფანის სინთეზს ინდოლიდან და სერინიდან:



როდესაც ფერმენტულ არეში გროვდება ტრიპტოფანის გარკვეული რაოდენობა — სინთეზური რეაქცია კავდება. იმ შემთხვევაში, როდესაც სარეაქციო არეში წინასწარ ემატება ტრიპტოფანი, რეაქცია არ იწყება ფერმენტის არსებობის მიუხედავად. რეაქციის საბოლოო პროდუქტით ფერმენტის სინთეზის რეპრესია წარმოებს უარყოფითი უკუკავშირის მექანიზმით. ამ შემთხვევაში

წინაშეწინდობა აქვს იმ ფაქტს, რომ რეპრესორი თავის გავლენას ამჟღავნებს ინფორმაციის გადაცემის შეკავების გზით.

ფერმენტის ინდუქციის მოვლენა დიდი ხანია აღმოჩენილია. მაგრამ მისი კანსარტება მოცემულია მხოლოდ უკანასკნელ დროს. ცნობილი იყო, მაგალითად, რომ საფუარები, რომელთაც არ შეუძლიათ გალაქტოზის დაღვლევა, იჩენენ ამ უნარს, თუ მადულარ არეში გლუკოზა შეცვლილი იქნება გალაქტოზით. გარკვეულია, რომ ამ ახალი თვისების გაჩენა პირობადებულა ორი ფერმენტის სინთეზის ინდუქციებით: გალაქტოკინაზითა და ჰექსოზო-1-ფოსფატი-ერიდლიტრანსფერაზით. გალაქტოკინაზა ააქტივებს გალაქტოზის ფოსფორილ ირებას, ხოლო ჰექსოზო-1-ფოსფატი-ერიდლიტრანსფერაზა გალაქტოზო-1-ფოსფატს გარდაქმნის გლუკოზო-1-ფოსფატად.



ამ მოვლენას ეწოდება ფერმენტის სინთეზის ინდუქცირება, ხოლო შესაბამისი ფერმენტები ატარებენ ინდუქცირებული ფერმენტების სახელწოდებას.

ინდუქცირებული ფერმენტების წარმოშობის მექანიზმი შესწავლილია ფრანგი ბიოქიმიკოსების მონოსა და ეაკობის მიერ ნაწლავის ჩხირის მაგალითზე. მათ მიერ გამოკვლეულია, თუ რა პირობებში ხდება ამ მიკროორგანიზმში ფერმენტი β -გალაქტოზიდაზის წარმოშობა. ჩვეულებრივად ნაწლავის ჩხირის კულტივირებისას გლუკოზის საკვებ არეში β -გალაქტოზიდაზა უჯრედში იქმნება უმნიშვნელო რაოდენობით. გლუკოზის შეცვლისას რძის შაქრით იწყება ახალი ცილის, β -გალაქტოზიდაზის სინთეზი. β -გალაქტოზიდაზის რაოდენობამ შეიძლება მიაღწიოს უჯრედში წარმოდგენილი ყველა ცილის 7%-ს. მონოსა და ეაკობის მიერ დამტკიცებულია, რომ ფერმენტის რეპრესია და ინდუქცია ხორციელდება დნმ-ს გარკვეული ფრაგმენტების მოქმედების შეკავებით ან გააქტივებით. ინდუქტორი ან რეპრესორი მოქმედებს დნმ-ის მოლეკულის ფრაგმენტზე ისეთნაირად, რომ კავდება ან იქმნება პირობები შესატყვისი ინფორმაციული რნმ-ის სინთეზისათვის.

უკანასკნელ დროს გამოიკვია, რომ პორმონების მთელი რიგი თავის გავლენას ნივთიერებათა ცვლაზე ანხორციელებს დნმ-ის მოქმედების ინდუქციით ანდა რეპრესიით. მაგალითად, ფერმენტის—გლუკოზო-6-ფოსფატაზის სინთეზი ინდუქცირდება თიროქსინით და კორტიზონით, ხოლო კავდება ინსულინით. მაგრამ ცნობილია ფაქტების მთელი რიგი, სადაც პორმონები უშუალოდ გავლენას ახდენენ არსებული ფერმენტის აქტივობაზე. ამის მაგალითს წარმოადგენს ადრენალინის ეფექტი ნივთიერებათა ცვლაზე.

ცნობილია, რომ ადრენალინის შეყვანისას ორგანიზმში, სისლში მატულობს გლუკოზის რაოდენობა. ეს გამოწვეულია იმით, რომ ადრენალინს აქვს უნარი გარკვეული გზით გაააქტივოს ფოსფორილაზის კატალიზური მოქმედება, რის შედეგად გლიკოგენი იწყებს ინტენსიურ ფოსფორილიზს და დიდი რაოდენობით გროვდება გლუკოზო-1-ფოსფატი.

ფერმენტის მოქმედების რეგულაციაზე დიდ გავლენას ახდენს არის ქიმიური შეზღვევლობა. მაგალითად, კარგად არის ცნობილი პ ა ს ტ ე რ-მ ე ი ე რ-ჰ ო ფ ი ს ე ფექტი, რომელიც დაკავშირებულია ფერმენტული გარდაქმნების მიმართულების ცვლილებასთან ქანგბადის ზეგავლენით. კარგად არის შესწავლილი აგრეთვე ანტიმეტაბოლიტების მოქმედების მექანიზმი. მათი ზეგავლენისაზღვრება გარკვეული ფერმენტული გარდაქმნის შეკავებით.

განსაკუთრებული მნიშვნელობა ფერმენტული მოქმედების რეგულაციაში ენიჭება მეტაბოლიტებს. ამ გზით რეგულაციის საფუძველს წარმოადგენს კონკურენტული შეკავება და უარყოფითი უკუკავშირის მექანიზმი. ამგვარი რეგულაციის მაგალითს წარმოადგენს სუქცინატდეჰიდროგენაზის მოქმედების შეკავება მეთაუნქმარმეთათი. როგორც ცნობილია, მეთაუნქმარმეთა წარმოიშობა ვაშლის მეთაუდან ლიმონის მეთავს ციკლის უკანასკნელ სტადიაზე მალატდეჰიდროგენაზის კატალიზური მოქმედებით. მეთაუნქმარმეთავს დაგროვება იწვევს სუქცინატდეჰიდროგენაზის შეკავებას იმიტომ, რომ ის უკავშირდება ამ ფერმენტების აქტიურ ცენტრებს და ხელს უშლის ქარვის მეთავს, წარმოშვას კომპლექსი ფერმენტთან. კონკურენტული შეკავების სიდიდე დამოკიდებულია მეთაუნქმარმეთავსა და ქარვის მეთავს კონცენტრაციების შეფარდებაზე. ამ შემთხვევაში კონკურენტული შეკავება გამოწვეულია უარყოფითი უკუკავშირით.

ზემოთ მოტანილ მაგალითში საგულისხმოა ის ფაქტი, რომ ინჰიბიტორი (მეთაუნქმარმეთა) წარმოადგენს ქიმიური გარდაქმნის საბოლოო პროდუქტს და არ არის გარდასაქმნელი სუბსტრატის ანალოგი. ის აკავებს პირველი ფერმენტის არა სინთეზს, არამედ მის მოქმედებას. პირველი ფერმენტის (სუქცინატდეჰიდროგენაზის) შეკავებას თან სდევს მომდევნო ფერმენტების მოქმედების აცილება. ეს მოვლენა წარმოადგენს ფერმენტების ალოსტერიული მოქმედების საფუძველს.

§ 11. ფერმენტების კლასიფიკაცია

ვინაიდან ჭერჭერობით ბოლომდე ცნობილი არ არის ფერმენტების ქიმიური ბუნება, ამისათვის მათი კლასიფიკაცია დამყარებულია იმ განსხვავებაზე, რომელსაც ისინი იჩენენ სხვადასხვა სუბსტრატის მიმართ. ფერმენტების მოქმედების განსხვავება გამომდინარეობს მათი სპეციფიკურობიდან, ე. ი. რომელიმე განსაზღვრული ნაერთის გარდაქმნას უპასუხებს განსაზღვრული ფერმენტი: ფერმენტების შესწავლა ამ მხრივ გამომდინარეობს მათი მოქმედების ხასიათიდან.

მიღებულია, რომ ფერმენტის სახელწოდება უნდა გამომდინარეობდეს იმ სუბსტრატის სახელწოდებიდან, რომელზეც ის მოქმედებს. სუბსტრატის სახელწოდებას ემატება სუფიქსი „აზა“, მაგალითად, მალტაზა, ლაქტაზა, ამილაზა, ლიპაზა და სხვ. ზოგიერთ ფერმენტს შერჩა ისტორიულად დამკვიდრებული სახელწოდება, მაგალითად, პეპსინი, ტრიპსინი და ერეპსინი.

დღეისათვის ცნობილია 900-მდე სხვადასხვა ფერმენტი. ფერმენტების სიმრავლემ და მათმა არარაციონალურმა დასახელებამ გამოიწვია გაუგებრობათა მთელი რიგი. ამიტომ 1968 წელს შემოღებულია მათი საყოველთაო კლასიფიკაცია და ახალი სახელწოდებები. ახალი კლასიფიკაციის მიხედვით ფერმენტები დაყოფილია ისეთ ჯგუფებად, სადაც გაერთიანებულია გარკვეული ტიპის კატალიზური რეაქციები. ფერმენტები ახლა ატარებენ ისეთ სახელწოდებას, რომელიც უფრო კარგად გამოსახავს მათი მოქმედების ხასიათს. ამასთან

შენარჩუნებულია ზოგი ძველი სახელწოდებები, ფერმენტის ე.წ. ტრევიალური დასახელებები.

ახალი კლასიფიკაციის მიხედვით ყველა ცნობილი ფერმენტი განაწილებულია შემდეგ კლასებში:

1. ოქსიდო-რედუქტაზები — მონაწილეობას ღებულობენ ნაერთების ენ-გვა-აღდგენით ფერმენტულ გარდაქმნებში.

2. ტრანსფერაზები — რადიკალებისა და ნაშთების ერთი ნაერთიდან მე-ორეზე გადამტანი ფერმენტებია.

3. ჰიდროლაზები — ააქტივებენ ჰიდროლიზურ რეაქციებს.

4. ლიაზები — კატალიზურად მოქმედებენ C—C, C—O და C—N ბმების დაშლაზე და სინთეზზე. რეაქცია დაკავშირებულია ნაერთში CO₂, NH₃ და H₂O შეყვანასთან და ჩამოშორებასთან.

5. იზომერაზები — ააქტივებენ მოლეკულის იზომერულ გარდაქმნებს.

6. ლიგაზები ანუ სინთეტაზები — მონაწილეობას ღებულობენ იმ სინთე-ზურ რეაქციებში, სადაც კოფერმენტის როლს ასრულებენ ატფ და სხვა ნუკ-ლეოტიდტრიფოსფატები.

ყოველი ზემოთ მოტანილი ფერმენტის კლასები თავის მხრივ იყოფიან ქვეკლასებად, ხოლო ქვეკლასები კიდევ უფრო მცირე ჯგუფებად.

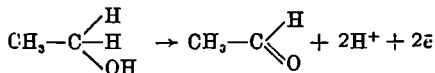
§ 12. ბიოლოგიური მანკის ფარმანები

უკვე დიდი ხანია ცნობილი ის ფაქტი, რომ სუნთქვის დროს შთაინთქმება ენგბადი და გამოიყოფა ნახშირორჟანგი, რომ სუნთქვა დაკავშირებულია ორგა-ნული ნაერთების წვასთან. რაოდენობა ენერჯისა, რომელიც თავისუფლდება შეთვისებული საკვები ნივთიერების გარდაქმნის შედეგად ორგანიზმში, დაახ-ლოებით უდრის ამ ნივთიერებათა წვის ენერჯიას. მაგრამ გაურკვეველი რჩე-ბოდა, თუ როგორ მიმდინარეობს წვა ორგანიზმში დაბალ ტემპერატურაზე. ამ საკითხის შესწავლის შედეგად ის დასკვნა გამოიტანეს, რომ ორგანიზმში ენ-გვა ორგანული ნაერთის უშუალოდ ენგბადთან შეერთებას არ წარმოადგენს. ბიოლოგიური ენგვა რთული პროცესია, რომელსაც საფუძვლად უდევს ორ-განული ნაერთიდან წყალბადის ჩამოშორება და უკანასკნელის ენგბადთან დაკავშირება. „წვა“ ორგანიზმში გულისხმობს წყალბადის დაენგვას. ორგა-ნული ნაერთი „იწვის“ იმიტომ, რომ ის წყალბადს კარგავს. ორგანული ნაერ-თის „წვის“ შედეგად საბოლოო პროდუქტის სახით იქმნება ნახშირორჟანგი და წყალი, მაგრამ გზა, რომლითაც ეს პროცესი მიემართება, ის გზა არ არის, რაზ-ედაც თავის დროზე ლ ა ე უ ა ზ ი ე მიუთითებდა. მართალია, ბიოლოგიური დაენგვის შესახებ ბევრი რამ ჭერ კიდევ უცნობი რჩება, მაგრამ თეორიის მთა-ვარი ღებულებები უკვე გამორკვეულია და ამ რთული მოვლენის შესახებ ჩვენ წინაშე ნათელი სურათი ისახება.

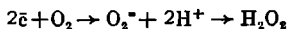
ე ა ნ გ ვ ა-ა ლ დ გ ე ნ თ ი . ს ი ს ტ ე მ ე ბ ი. ორგანული ნაერთის დაენ-გვა შესაძლებელია წარმოვიდგინოთ ან როგორც ენგბადთან დაკავშირება, ან მისგან წყალბადის ჩამოშორება. ამ რეაქციებს საფუძვლად უდევს ელექტრო-ნების მიმოქცევა. როდესაც ნაერთს ენგბადი უერთდება, ეს იმას ნიშნავს, რომ ნაერთიდან ენგბადზე ელექტრონები გადავიდა, ხოლო თვით ნაერთის ნაშთმა დადებითი მუხტების შესაფერისი რაოდენობა შეიძინა. ნახშირბადის ენგს შეუძლია დაიკავშიროს ენგბადი, დაენგვის შედეგად ნახშირბადის ატომში, კოვალენტური ბმის წარმოშობის გამო, კიდევ ორი ელექტრონი ხდება საზიარო-

ცნობილია ისეთი შემთხვევები, სადაც ნაერთის ენგბადთან დაკავშირება არ ვულისხმობს მის დაენგვას. მაგალითად, ჰემოგლობინი იკავშირებს ენგბადს, მაგრამ რკინა ვალენტოვნებას არ იცვლის, ე. ი. აქ არ ხდება ელექტრონების გადაადგილება. ენგბადის დაკავშირება დამატებითი ბმების საშუალებით ხორციელდება.

წყალბადის ჩამოშორების დროს ორგანული ნაერთი იენგება. ამ დროს წყალბადის ელექტრონი გადაეცემა ან ნაერთს, რომელიც იენგება, ან რომელიმე სხვა ნაერთს, რომელიც წყალბადის მიმართ აქცეპტორის როლს ასრულებს. როდესაც წყალბადის ატომი ელექტრონს დაკარგავს, ის წყალბადის დადებით იონად — პროტონად გარდაიქმნება. დეჰიდრირების გზით სპირტის დაენგვის დროს ადგილი აქვს შემდეგ პროცესს:

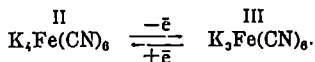


რეაქცია მიმდინარეობს მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ სპირტთან ერთად წარმოდგენილია სისტემა, რომელსაც შეუძლია დაიკავშიროს წყალბადი და ელექტრონი, ე. ი. გამოვიდეს წყალბადის აქცეპტორის როლში. ეს ადვილად ხდება, მაგალითად, კოლოიდური პალადიუმის თანდასწრებისას, რომელიც პირველადი სპირტის ჯგუფში აქტივებს ორ ატომ წყალბადს და ელექტრონები ენგბადზე გადააქვს, ენგბადი მაშინვე უერთდება წყალბადის იონებს და წარმოიშობა წყალბადის ზეენგი:



სპირტი ამ რეაქციაში წყალბადისა და ელექტრონების დონატორის როლს ასრულებს, ხოლო მოლეკულური ენგბადი — ელექტრონებისა და წყალბადის აქცეპტორის როლს.

გავრცელება აქვს მრავალ ისეთ რეაქციას, სადაც ენგბადი და წყალბადი მონაწილეობას არ ღებულობენ და ნაერთში მხოლოდ ვალენტოვნების ცვლილებას აქვს ადგილი. ვალენტოვნების ცვლილება გულისხმობს ელექტრონის შექენას ან დაკარგვას. ასეთი რეაქციების მაგალითს წარმოადგენს ქლორის საშუალებით ორვალენტოვანი რკინის სამვალენტოვნად დაენგვა.



ზემოთ მოტანილ მაგალითში რკინის დაენგვა დაკავშირებულია ორვალენტოვანი რკინის მიერ ელექტრონის დაკარგვასთან. ამ პროცესის მსვლელობა უზრუნველყოფილია ელექტრონის აქცეპტორის თანდასწრებით. აქცეპტორის როლს ასრულებს ქლორი.

მაშასადამე, ენგვის პროცესისათვის დამახასიათებელია დასაენგავი ნივთიერების მიერ ელექტრონის დაკარგვა. რეაქცია მაშინ მიმდინარეობს, თუ ერთ-ერთოულადაა წარმოდგენილი სისტემა, რომელსაც ელექტრონის მიღება შეუძლია. დეჰიდრირების შემთხვევაში, როდესაც ნაერთი ელექტრონთან ერთად წყალბადსაც კარგავს, წყალბადი და ელექტრონი ერთდროულად კავშირდება აქცეპტორის მიერ, ე. ი. ენგვა-ადღენა ერთ მთლიან პროცესს წარმოადგენს. ენგვა მაშინ ხერხდება, თუ ერთდროულად ადღენა მიმდინარეობს.

რადგან ქანგვა-აღდგენის პროცესი ელექტრონების მიმოქცევასთან არის დაკავშირებული, შესაძლებელი ხდება პროცესის ენერგეტიკული დონე ელექტრული პოტენციალის საშუალებით განვსაზღვროთ. თუ Ox -ით აღვნიშნავთ სისტემის დაქანგვული ფორმის, ხოლო Red -ით მისი აღდგენილი ფორმის კონცენტრაციას, მაშინ ქანგვა-აღდგენითი სისტემის პოტენციალი E_n უდრის

$$E_n = E_0 + 0,060 \log \frac{[Ox]}{[Red]}$$

განტოლებაში E_0 -თი აღნიშნულია სისტემის პოტენციალი, როდესაც დაქანგვული ფორმის კონცენტრაციის შეფარდება აღდგენილთან უდრის ერთს. განტოლებიდან გამოვძინარეობს, რომ ქანგვა-აღდგენითი პოტენციალი მით უფრო მეტი იქნება, რაც უფრო მეტი რაოდენობითაა წარმოდგენილი სისტემაში დაქანგვული ფორმა.

ქანგვა-აღდგენითი ერთი სისტემის მეორესთან შედარებისათვის გამოვიანებ პოტენციალიდან, როდესაც შეფარდება Ox/Red უდრის ერთს. ქანგვა-აღდგენითი პოტენციალი წარმოდგენს სისტემის უნარს შეიჯროთოს ან დაკარგოს ელექტრონები, ე. ი. წარმოდგენს ქანგვისა თუ აღდგენის მისწრაფების საზომს. ამ გზით შესაძლებელი ხდება სისტემის ქანგვის თავისუფალი ენერგია გამოვიანგარიშოთ.

ჩვეულებრივ, ქანგვა-აღდგენითი პოტენციალი ისაზღვრება ინერტული (პლატინის) ელექტროდით და მას ხშირად რედოქსიპოტენციალს უწოდებენ. ეს პოტენციალი მიუთითებს სისტემის აღდგენის თუ ქანგვის მზადყოფნას. მაგრამ არაფერს ლაპარაკობს იმის შესახებ, თუ რა სიჩქარით წავა რეაქცია. შეიძლება მხოლოდ ითქვას, რომ სისტემა, რომელსაც უფრო დაბალი პოტენციალი აქვს, იქანგება, ხოლო სისტემა, რომელსაც მაღალი პოტენციალი ახასიათებს, აღდგება.

შესწავლილია რედ-ოქსი სისტემების მთელი რიგი, რომელთაც ახასიათებთ უკუქცევადი ქანგვა-აღდგენა. ამ სისტემების ჩვეუფს ეკუთვნის მეთილენის ლურჯი, პიოციანინი, დიქლორფენილინდოფენილი. ყველა ამ საღებავს შეუძლია უკუქცევით დაიქანგოს.

უჩრედი შეიცავს უკუქცევადი ქანგვა-აღდგენითი სისტემების მრავალ წარმომადგენელს. მათ რიცხვიდან ქვემოთ მოყვანილია ზოგიერთი:

- რძისა და პიროყურძნის მეავა
- ქარვისა და ფუმარის მეავა
- ასკორბინისა და დეჰიდროასკორბინის მეავა
- აღდგენილი და დაქანგვული ციტოქრომი
- აღდგენილი და დაქანგვული ნად-ი
- აღდგენილი და დაქანგვული რიბოფლავინი
- აღდგენილი და დაქანგვული გლუტათიონი

უჩრედში ზემოთ მოყვანილი სისტემების შეფარდებები შეიძლება ძალიან დიდ ფარგლებში იცვლებოდეს და ამიტომ უჩრედშიდა არის რედოქსიპოტენციალი არ გამოხატავს რომელიმე ერთი განცალკევებული სისტემის პოტენციალს. მხედველობაში უნდა ვიქონიოთ, რომ ქანგვა-აღდგენითი რეაქციის განტოლება გამოყვანილია იმ დებულებიდან, რომ სისტემის შემადგენელი კომპონენტები დინამიკურ წონასწორობაში იმყოფება. ცოცხალი სისტემა კი არასდროს წონასწორობაში არ არის ქანგვა-აღდგენითი რეაქციების მიმართ. ამი-

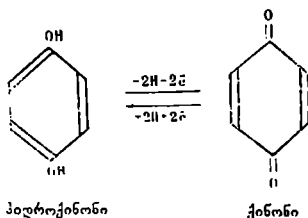
ტომ რედოქსიპოტენციალიდან გამომდინარე ძნელია ვიქონიოთ მსჯელობა ცოცხალ სისტემაში მიმდინარე ნივთიერებათა ცვლაზე. რედოქსიპოტენციალების შესწავლას დიდი მნიშვნელობა აქვს ცალკეული ჟანგვა-აღდგენითი რეაქციების დახასიათებისათვის და ცოცხალ უჯრედში მიმდინარე პროცესებში მისი მონაწილეობის გარკვევისათვის. ქვემოთ ცხრილში მოყვანილია ზოგიერთი რედოქსისისტემის ჟანგვა-აღდგენითი პოტენციალები.

რედოქსიპოტენციალები

ჟანგვა-აღდგენითი სისტემები	t	pH	პოტენციალი მილი-ვოლტებში
რძის მჟავა — პიროყურძნის მჟავა .	37°	7,3	-960
ქარვის მჟავა — ფუმარის მჟავა	37°	7,01	+1
ჰიპოქსანტინი — ქსანტინი	—	7,0	-371
ციტოქრომი	30°	7,0	+123
ასკორბინის მჟავა—დეჰიდრო-ასკორბინის მჟავა	—	7,0	+6,6
რიბოფლავინი	20°	7,0	-186
ყვითელი ფერმენტი	20°	7,0	- 60
ლიპოამიდ-დეჰიდროგენაზა	20°	7,0	-185

უმეტეს შემთხვევაში ჟანგვა-აღდგენით სისტემებში წონასწორობის დამყარებას დაეხმარება და აღდგენილ კომპონენტებს შორის დიდი დრო სჭირდება. ეს პროცესი ჩქარდება კატალიზატორის საშუალებით.

ჟანგვა-აღდგენითი სისტემის კლასიკურ მაგალითს წარმოადგენს სისტემა ჰიდროქინონი — ქინონი. ჰიდროქინონი აღდგენილი ფორმაა, ხოლო ქინონი—დაეხმარება.

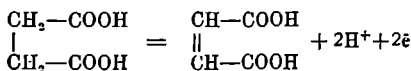


როდესაც ჰიდროქინონს წყალში მოვათავსებთ, მისი გარკვეული რაოდენობა გადადის ქინონში და მათ შორის მყარდება წონასწორობა. წონასწორობის კონსტანტა — K ისაზღვრება განტოლებით: $K = \frac{Ox}{Red}$, სადაც Ox ქინონია და

Red ჰიდროქინონი. თუ ამ სისტემაში მოთავსდა ინერტიული ელექტროდი, მაგალითად, პლატინა, შეგვიძლია აღმოვაჩინოთ, რომ ხსნარში ჰიდროქინონის და ჟანგვის შედეგად წარმოშობილ ელექტრონებს მისწრაფება აქვს გადავიდეს მეტალზე. შეიძლება გამოვიანგარიშოთ, თუ რა მუშაობა შესრულდება ელექტრონების ხსნარიდან მეტალზე გადატანის დროს, ვუ გვეცოდინება ჰიდრო-

ქინონის ის რაოდენობა, რომელიც ქინონად დაიყვანა და რა პოტენციალით ხდება ეს პროცესი.

ბიოლოგიური ქანგვა-აღდგენითი სისტემები. ბიოლოგიური რედოქსისისტემის მაგალითს წარმოადგენს ქარვის მჟავა — ფუმარის მჟავა:



ამ სისტემის რედოქსიპოტენციალი, როდესაც დაქანებული და აღდგენილი ფორმების კონცენტრაციების შეფარდება უდრის ერთს, აღწევს — 960 მილივოლტს. ამ სიდიდეზე წარმოდგენა რომ ვიქონიოთ, საჭიროა ზოგიერთი შედარება გავაკეთოთ. ის სისტემები, რომელთა რედოქსიპოტენციალი წყლის რედოქსიპოტენციალზე (+1230 მვ) ნაკლებია, ჰაერზე იყვანება. იმ სისტემებს კი, რომელთა პოტენციალი ამ რიცხვზე მეტია, აღდგენის ტენდენცია აქვს. რადგან ქარვის — ფუმარის მჟავას რედოქსიპოტენციალი —960 მვ-ს უდრის, ამიტომ ჰაერზე მისი წონასწორობა მარჯვნივ უნდა გადაიხაროს, ე. ი. ქარვის მჟავას რაოდენობა ფუმარის მჟავასთან შედარებით უნდა შემცირდეს. მაგრამ რეაქციამ რომ იწარმოოს საჭიროა ხანგრძლივი დრო. მისი აჩქარება უჯრედში წარმოებს სპეციფიკური ფერმენტით.

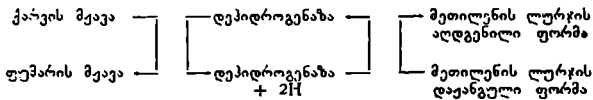
თუ ჩვენ ზემოხსენებული სისტემა შევადარებთ ციტოქრომის სისტემას, რომლის რედოქსიპოტენციალი + 123 მვ-ს უდრის, ირკვევა, რომ ციტოქრომს უნდა ჰქონდეს სხვა სისტემის დაქანების უნარი. როდესაც ციტოქრომი დაემატება ქარვის მჟავას სისტემას, ქარვის მჟავა დაიყვანება, ე. ი. ის კარგავს ელექტრონებს, ხოლო ციტოქრომი აღდება, ე. ი. ელექტრონებს ითვისებს.

ქანგვა-აღდგენითი სისტემის მოქმედება უჯრედში მიმდინარეობს ფერმენტების თანდასწრებით. ამ ფერმენტებს უწოდებენ დეჰიდროგენაზებს, რადგან ისინი ნაერთში წყალბადს აქტივებენ. დეჰიდროგენაზების თანდასწრებით რეაქციის წონასწორობის მდგომარეობა უფრო ადრე მყარდება.

იმ შემთხვევაში, როდესაც ხსნარში ფერმენტთან ერთად აიღება ორი ქანგვა-აღდგენითი სისტემა, რომელთა რედოქსიპოტენციალი ერთიმეორისაგან განსხვავდება, ცალკეული სისტემის დაქანებულსა და აღდგენილ ფორმათა შორის წონასწორობა იცვლება და ადგილი აქვს რეაქციის ერთი მიმართულებით გადახრას. მაგალითად, თუ ხსნარში, სადაც წარმოდგენილია ფერმენტი და ქარვის მჟავა, შევიტანებთ სისტემა, რომლის რედოქსიპოტენციალი ქარვის მჟავას — ფუმარის მჟავას სისტემის რედოქსიპოტენციალზე მეტია, მაშინ ადგილი აქვს ქარვის მჟავას დეჰიდრირების წონასწორობის გადახრას ფუმარის მჟავასაკენ. მეორე სისტემა, რომლის რედოქსიპოტენციალი პირველზე დიდია, გამოდის წყალბადისა და ელექტრონების აქეპტორად. შედეგად ხსნარში გროვდება ფუმარის მჟავა და მეორე სისტემის აღდგენილი ფორმა.

ჩვეულებრივად ცდებში წყალბადის აქეპტორებად იყენებენ მეთილენის ლურჯს, სალმბავს, რომლის რედოქსიპოტენციალი საკმაოდ დიდია. აღდგენისას მეთილენის ლურჯი გადადის უფერულ ლეიკო-ფორმაში. ქვემოთ მოტანილია აქემა, რომლითაც ირკვევა ორი ქანგვა-აღდგენითი სისტემის ურთიერთდაბოკო-

დებულება. რეაქციის ერთი ციკლის დროს წყალბადის ორი ატომი დაუკავშირდება ფერმენტს და მეთილენის ლურჯზე გადაიტანება. შედეგად ქარვის მკვას ორი მოლეკულა იქანგება და მეთილენის ლურჯის ერთი მოლეკულა აღდგება. წონასწორობის მდგომარეობა დამოკიდებულია მორეაგირე კომპონენტების კონცენტრაციაზე და მათ რედოქსიპოტენციალზე.



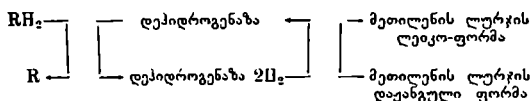
წყალბადის გადასვლა ქარვის მკვადან ხალეზაზე მიმდინარეობს მანამდე, სანამ წარმოშობილი ხალეზების ლეიკო-ფორმა იმევე სიჩქარით არ მისცემს თავის წყალბადს ფუმარის მკვას. წონასწორობის მდგომარეობა ისახლვრება თერმოდინამიკურად, მაქსიმალური მუშაობის ჰიდიდით. წონასწორობა დამყარდება, როდესაც ორივე სისტემის რედოქსიპოტენციალი გათანაბრდება. აქედან გამომდინარე, გასაგები ხდება, რომ ფერმენტის დასწრებისას ქარვის მკვას მკირე რაოდენობის შემთხვევაში მეთილენის ლურჯის დიდი რაოდენობა გამოიწვევს რეაქციის გადახრას ქარვის მკვას უმეტესი ნაწილის ფუმარის მკვად გარდაქმნისაკენ. მაგრამ თუ პროცესი ქანგბადის თანდასწრებით მიმდინარეობს, მაშინ მეთილენის ლურჯის მკირე რაოდენობაც საკმარისია, რომ ქარვის მკვას დიდი რაოდენობა დაიქანგოს ფუმარის მკვად. ეს მოხდება იმიტომ, რომ მეთილენის ლურჯი, როგორც კი აღდგება დეჰიდროგენაზას მიერ, მაშინვე დაიქანგება ქანგბადით და ამით მას ხელახლა ენიჭება უნარი დაიკავშიროს ქარვის მკვადან დეჰიდროგენაზას მიერ გადმოტანილი წყალბადი.

ფერმენტი ასრულებს ზემოთ აღნიშნულ ქანგვა-აღდგენით რეაქციაში კატალიზატორის როლს. ყოველი ციკლის შემდეგ ის პირვანდელ მდგომარეობაში აღდგება და ამიტომ მის მკირე რაოდენობას შეუძლია რეაქცია უსახლვრო დიდი დროის განმავლობაში გააქტივოს.

დაქანგვა დეჰიდრირების გზით. ჭერ კიდევ ვ. პალადინმა 1912 წელს წამოაყენა დებულება, რომ ნაერთის უჯრედში დაქანგვა მიმდინარეობს წყალბადის წართმევის, ე. ი. დეჰიდრირების გზით. ვ. პალადინის თეორიიდან გამომდინარეობდა, რომ სუბსტრატის დაქანგვაში ქანგბადი უშუალო მონაწილეობას არ ღებულობს. მისი აზრით, ბიოლოგიურ დაქანგვაში მნიშვნელობა ენიჭება არა ოქსიდაზებს, არამედ ე. წ. ქრომოგენებს — პიგმენტებს, რომლებიც ფართოდაა გავრცელებული მცენარეებში. მცენარეებში ქრომოგენები ჩვეულებრივ დაქანგულ მდგომარეობაში იმყოფებიან, რადგან ჰაერის ქანგბადის საშუალებით ძალიან ადვილად იქანგებიან. მაგრამ, როდესაც ქრომოგენი კონტაქტში მოდის სუბსტრატთან, ის გადადის ლეიკო, უფერულ ფორმაში სუბსტრატიდან წყალბადის წართმევის გამო. აღდგენილი ქრომოგენი შემდეგ ისევ იქანგება ქანგბადით. ქანგბადის როლი, ვ. პალადინის აზრით, იმაში მდგომარეობს, რომ ის უერთდება ქრომოგენებში გაქტივებულ წყალბადს და საბოლოოდ წყალი წარმოიშობა. როგორც ირკვევა, ქრომოგენის დაქანგვაში მონაწილეობას უნდა ღებულობდეს ფერმენტი პოლიფეროლოქსიდაზა, რომელიც აღდგენილ პოლიფეროლებს ქანგავს, ე. ი. მათ წყალბადს

ლი წყალბადი აერობულ პირობებში უნდა კავშირდებოდეს ეანგბადთან წყალბადის ზეჟანგის წარმოშობით, ე. ი. უნდა ხდებოდეს ეანგბადის აღდგენა ისე, როგორც ეს ხდება მეთილენის ლურჯის შემთხვევაში.

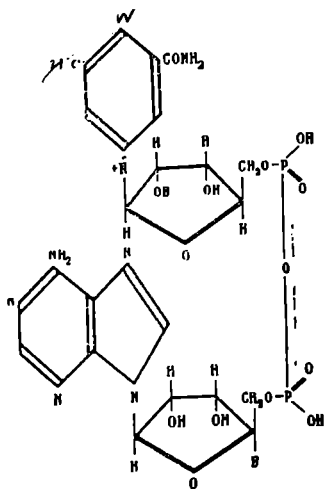
მაგრამ იმ ცდებში, სადაც მეთილენის ლურჯის ნაცვლად დეჰიდრირება წარმოებდა ეანგბადის თანდასწრებისას, მხოლოდ ზოგიერთი დეჰიდროგენაზა იჩენდა აქტიუობას. აღმოჩნდა, რომ ეანგბადსა და დეჰიდროგენაზას შორის კიდევ დამატებითი სისტემის არსებობაა საჭირო, რომ დეჰიდროგენაზას მიერ გააქტივებული წყალბადი ეანგბადს შეუერთდეს. მეთილენის ლურჯის დამატება მრავალ შემთხვევაში ხელს უწყობს დეჰიდრირების დაუბრკოლებლევ წარმოებას. ეს შეგვიძლია ასეთი სქემით წარმოვიდგინოთ:



დეჰიდროგენაზების უმეტესობას უნარი აღმოაჩნდა წყალბადის აქცეპტორის სახით მოიხმაროს ეანგბადის შემცველი, მაგალითად, მეთილენის სილურჯე. დეჰიდროგენაზების ამ ჯგუფს ეწოდება ანაერობული დეჰიდროგენაზები. მათ შეუძლიათ დეჰიდრირება აწარმოონ ეანგბადის მოხმარების გარეშე, თუ მიეწოდა წყალბადის შესაფერისი აქცეპტორი. მეორე მხრივ, აღმოჩენილია დეჰიდროგენაზების ისეთი წარმომადგენლებიც, რომლებიც რეაგირებენ მხოლოდ ეანგბადთან ყოველივე შემცველის გარეშე. ასეთი დეჰიდროგენაზები წყალბადის აქცეპტორად მხოლოდ ეანგბადს მოიხმარებენ და ამიტომ მათ აერობული დეჰიდროგენაზები ეწოდება.

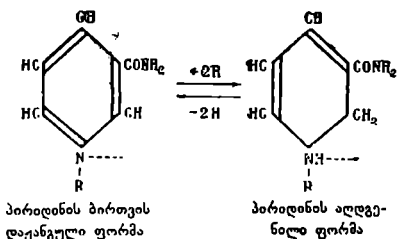
დეჰიდროგენაზების კოფერმენტები ან უკონზიმიები. შტრინგ გამონაკლისის გარდა დეჰიდროგენაზების მიერ გააქტივებული წყალბადი, როგორც აღნიშნული იყო, უშუალოდ ვერ უკავშირდება ეანგბადს. წყალბადსა და ეანგბადს შორის დეჰიდროგენაზას გარდა კიდევ ერთი ან რამდენიმე შუამავალი არსებობს. ირკვევა, რომ ეანგვა რამდენიმე ენერგეტიკულ საფეხურს გაივლის, სანამღე საბოლოო პროდუქტი მიიღებოდეს. საყურადღებოა ის ფაქტი, რომ ერთი დონიდან მეორეზე გადასვლა უკუქცევადი რეაქციების საშუალებით ხდება, რაც სისტემის თავისუფალი ენერჯის მთლიანი გამოყენებას შესაძლებლობას უზრუნველყოფს. ნაერთის ქიმიური პოტენციალის გამოყენების თვალაზრისით, რომელიმე სხვა სისტემასთან შედარებით, ცოცხალ სისტემას ენიჭება უპირატესობა. შუამავლის როლს დეჰიდროგენაზასა და წყალბადის საბოლოო აქცეპტორს შორის ასრულებენ კონზიმიები. ჭერჯერობით ცნობილია ოთხი კოდეჰიდროგენაზას ქიმიური ბუნება და მოქმედების ხასიათი.

ნიკოტინამიდ-ადენინ-დინუკლეოტიდი (ნად) და ნიკოტინამიდ-ადენინ-დინუკლეოტიდ-ფოსფატი (ნად-ფ) ქიმიური თვალაზრისით წარმოადგენენ დინუკლეოტიდებს. განსხვავება მათ შორის გამოწვეულია იმით, რომ ერთის შენებაში მონაწილეობას ღებულობს ორი ფოსფორის მკავას ნაშთი (ნად), ხოლო მეორეს შენებაში — სამი ფოსფორის მკავას ნაშთი (ნად-ფ). ნად-ი შეიძლება განვიხილოთ როგორც დინუკლეოტიდი, აშენებული ადენინ-დინუკლეოტიდიდან და ნიკოტინის მკავას ამიდის ნუკლეოტიდიდან.



ნიკოტინამიდ-ადენინ-დინუკლეოტიდი (ნად)

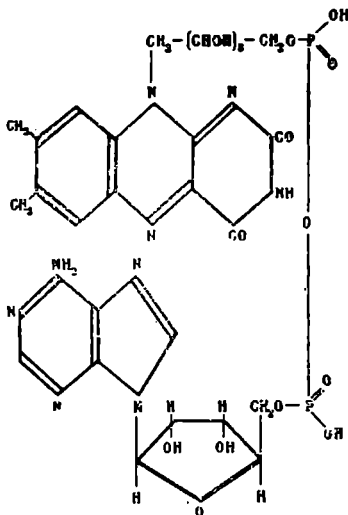
ნად-ის მონაწილეობა დეჰიდრირების პროცესში კარგად არის შესწავლილი. წარმატების მიზეზი იმაში მდგომარეობს, რომ მისი შთანთქმის სპექტრი მკვეთრად იცვლება, როდესაც დაქანებული ფორმა აღდგენილში გადადის. შესაძლებელი ხდება რეაქციის მსვლელობის განსაზღვრა იმის მიხედვით, აღდგენილ თუ დაქანებულ მდგომარეობაში იმყოფება ნად-ი. სპექტროფოტომეტრული გამოკვლევით დამტკიცდა, რომ ნად-ის მონაწილეობა ჟანგვა-აღდგენით პროცესებში ისაზღვრება პირიდინის ბირთვის აზოტის ვალენტოვნების ცვლილებით:



დეჰიდროგენაზები სუბსტრატის მიმართ დიდ სპეციფიკურობას იჩენენ, ნაერთში წყალბადის გააქტივება წარმოებს მისი შესატყვისი დეჰიდროგენაზის საშუალებით. რაც შეეხება დეჰიდროგენაზების ნად-ისა და ნად-ჟ-ისადმი დამოკიდებულებას, აქ ასეთ სპეციფიკურობას ადგილი არა აქვს. ერთი და იგივე ნად-ი ემსახურება რამდენიმე დეჰიდროგენაზს წყალბადის ჩამოშორებაში. ნად-ი თავის აქტივობას მთელი სიძლიერით ამჟღავნებს მას შემდეგ, რაც ის შესაფერის დეჰიდროგენაზს დაუკავშირდება. მეორე მხრივ, სუბსტრატში წყალბადი აქტივდება დეჰიდროგენაზთან რეაგირების შემდეგ. ამგვარად,

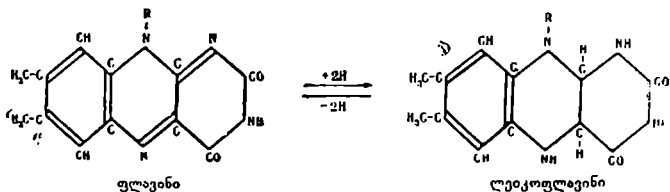
წყალბადის გადატანა სუბსტრატიდან ნაღ-ზე უნდა ზღებოდეს ერთ მთლიან კომპლექსში.

ფლავინის კოფერმენტები. აღმოჩენილია ისეთი დეჰიდროგენაზებიც, რომლებიც საერთოდ არ საჭიროებენ კოფერმენტების დახმარებას გააქტივებული წყალბადის მეთილენის ლურჯზე ან ქანგბაღზე გადატანაში. მეორე მხრივ, გამოირკვა, რომ ნაღ-ისა და ნაღ-ფ-ის გარდა არსებობს კიდევ კოფერმენტები, რომლებიც მონაწილეობენ აერობული დეჰიდროგენაზების მიერ გააქტივებული წყალბადის ქანგბაღზე გადატანაში. ამ კოფერმენტების შუნებაში მონაწილეობას ღებულობს ან ფოსფორიბოფლავინი (ფლავინმონონუკლეოტიდი), ანდა ფლავინადენინდინუკლეოტიდი.



ფლავინადენინდინუკლეოტიდი (ფაღ-ი)

ფოსფორიბოფლავინი წარმოადგენს ფოსფორილირებულ ვიტამინ B₂-ს, ბოლო ფლავინადენინდინუკლეოტიდი (ფაღ-ი) აშენებულია ადენილის მკავასა და ფოსფორიბოფლავინისაგან. ამ კოფერმენტების მონაწილეობა ქანგვა-აღდგენით პროცესებში ისაზღვრება ალოქსაზინის ბირთვში წყალბადის მიმოქცევით.



ფლავინი

ღეიკოფლავინი

ფლავინის ანუ ალოქსანინის ბირთვის შემცველი ფერმენტები მონაწილეობას ღებულობენ აერობული ანუ ფლავინპროტიდების დეჰიდროგენაზების შენებაში პროსტეტიული ჯგუფების სახით. ფლავინის აღდგენილი ფორმა ქაერზე თავისთავად იჟანგება, ის კარგავს წყალბადს, რომელიც უკავშირდება ქანგბადს წყალბადის ზეჟანგის წარმოშობით.

ცნობილია რამდენიმე ფლავინპროტიდი, რომელთაც ერთიმეორისაგან პროსტეტიული ჯგუფით ანსხვავებენ. როგორც ირკვევა, ფლავინპროტიდებზე ხელს უწყობენ წყალბადის ნად-2H-დან გადატანას ციტოქრომის სისტემაზე უკანასკნელის საშუალებით კი წარმოებს ქანგბადის აღდგენა წყალბადის ზეჟანგად.

დ ე ჰ ი დ რ ო გ ე ნ ა ზ ე ბ ი ს კ ლ ა ს ი ფ ი კ ა ც ი ა . დეჰიდროგენაზები შეიძლება დაიყოს სამ ჯგუფად:

1. ანაერობულ დეჰიდროგენაზებს შეუძლიათ დეჰიდრირება აწარმოონ ანაერობულ პირობებში ან კოფერმენტების თანდასწრებით, ანდა უკოფერმენტოდ. ამ ჯგუფს ყველაზე მეტი გავრცელება აქვს.

2. აერობული დეჰიდროგენაზები კატალიზს კოფერმენტებს თანდასწრებით აწარმოებენ.

3. აერობული დეჰიდროგენაზები მხოლოდ ქანგბადის თანდასწრებისას მოქმედებენ წყალბადის გადამტანების მონაწილეობის გარეშე.

ქანგბადთან დამოკიდებულების გარდა დეჰიდროგენაზების კლასიფიკაციას საფუძვლად შეიძლება კოფერმენტი დაუდლოთ, რომელიც გააქტივებული წყალბადის გადატანაში ღებულობს მონაწილეობას.

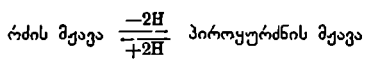
ა ნ ა ე რ ო ბ უ ლ ი დ ე ჰ ი დ რ ო გ ე ნ ა ზ ე ბ ი იყოფა ორ ჯგუფად. პირველი ჯგუფი არ საჭიროებს კონენზიმს და დეჰიდრირება უშუალოდ დეჰიდროგენაზით წარმოებს, თუ ამავე დროს წარმოადგენილია წყალბადის აქცეპტორი. ამ ჯგუფს ეკუთვნის:

ს უ ჯ ი ც ი ნ ა ტ დ ე ჰ ი დ რ ო გ ე ნ ა ზ ა აქტივებს ქარვის მჟავას დაჟანგვას ფუმარის მჟავად. ამ ფერმენტს ახასიათებს ქარვის მჟავასადმი უღარეხად დიდი სპეციფიკურობა. ის ყველა იმ ინჰიბიტორით ინაქტივდება, რომელიც სულფჰიდრილის ჯგუფებთან კავშირდება:

ლ ა ქ ტ ა ტ დ ე ჰ ი დ რ ო გ ე ნ ა ზ ა, რომელიც არ თხოულობს კონენზიმს, წარმოდგენილია საფუარებში და ზოგიერთ მიკროორგანიზმში. ეს ფერმენტი პროსტეტიული ჯგუფის სახით შეიცავს ჰემის ბირთვს. ის აქტივებს I(+) რძის მჟავას დაჟანგვას პიროყურძნის მჟავად.

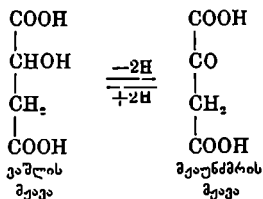
ანაერობული დეჰიდროგენაზების მეორე ჯგუფში პროსტეტიული ჯგუფი არის ან ნად-ი, ანდა ნად-ფ. ნად-ს შემდეგი დეჰიდროგენაზები შეიცავენ:

კ უ ნ თ ი ს ლ ა ქ ტ ა ტ დ ე ჰ ი დ რ ო გ ე ნ ა ზ ა მიღებულია კრისტალურ ფორმაში. მაშინ, როდესაც საფუარის ლაქტატდეჰიდროგენაზა რეაგირებს რძის მჟავასთან და წყალბადი უშუალოდ მეთილენის ლურჯზე გადააქვს, კუნთის ფერმენტისათვის საჭიროა ერთი დამატებითი შუამავალი ნად-ი. ამ ფერმენტს დიდი მნიშვნელობა ენიჭება კუნთში მიმდინარე ნახშირწყლების ცვლაში. წონასწორობა:



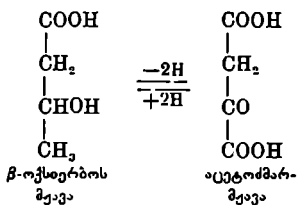
გადახრილია მარცხნივ, ე. ი. ჩვეულებრივ პირობებში პიროყურძნის შეავა-
რძის შეავად უნდა გარდაიქმნეს.

მ ა ლ ა ტ დ ე ჰ ი დ რ ო გ ე ნ ა ზ ა აქტივებს 1(—) ვაშლის შეავას გარდაქ-
მნას შეუქმმრის შეავად.



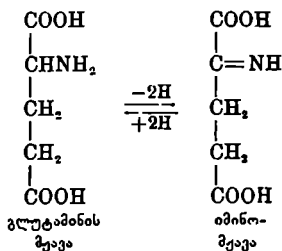
აქაც წონასწორობა გადახრილია მარცხნივ.

ბ-ოქსიერბოს შეავას დეჰიდროგენაზა გავრცელებულია ცხოველთა ქსოვილებში, გულში და ღვიძლში. ის გარდაქმნის ბ-ოქსიერბოს შეავას აცეტომარშეავად:

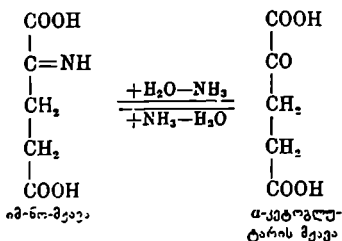


ა ლ კ ო ჰ ო ლ დ ე ჰ ი დ რ ო გ ე ნ ა ზ ა აღმოჩენილია საფუარებში. დამზა-
დებულია კრისტალური ფორმით. შეიცავს სულფჰიდრილის ჯგუფებს. მოქ-
მედებს პირველადსა და მეორად სპირტებზე და გადაყავს ისინი შესაფერისად
ალდეჰიდებად და კეტონებად. მისი მოქმედება აქტივდება ნად-ით. წონასწო-
რება გადახრილია სპირტისაკენ.

1(—) გ ლ უ ტ ა მ ა ტ დ ე ჰ ი დ რ ო გ ე ნ ა ზ ა გავრცელებული ფერმენ-
ტია. ცხოველთა ორგანიზმში მეტი რაოდენობით წარმოადგენილია ღვიძლში. ეს
დეჰიდროგენაზა აქტივდება როგორც ნად-ით, ისე ნად-ფ-ით.

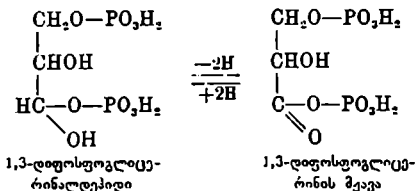
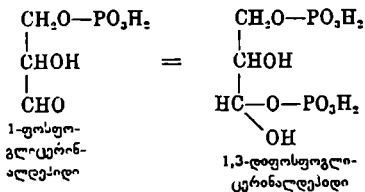


დეჰიდრირების შედეგად მიიღება იმინოჰეჰეა, რომელიც სპონტანურად წყლის საშუალებით იშლება α-კეტო-გლუტარის ჰეჰეად და თავისუფლდება ამონიაკი:



რეაქციის წონასწორობა გადახრილია გლუტამინის ჰეჰეას შექმნისაკენ.

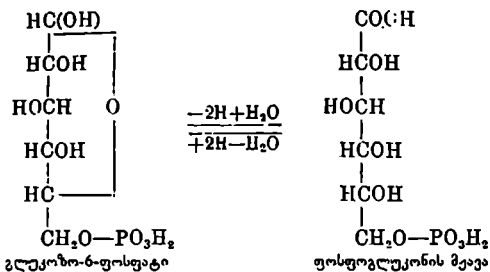
1-3-დიფოსფოგლიცერინის ალდეჰიდის დეჰიდროგენაზას დიდი გავრცელება აქვს. მიღებულია კრისტალური სახით. მგრძობიარობას იჩენს სულფჰიდრილის ჯგუფის შხამებისადმი. რეაქციის მსვლელობისათვის საჭიროა ფოსფატის იონისა და Mg^{2+} თანდასწრება. დეჰიდრირების მსვლელობის დროს არაორგანული ფოსფატი უკავშირდება ალდეჰიდურ ჯგუფს და მხოლოდ ამის შემდეგ იწყება დეჰიდრირება.



3-ფოსფო-გლიცერინალდეჰიდ-დეჰიდროგენაზას პროსტეტიული ჯგუფი არის გლუტათიონი. ნად-ი ამ რეაქციაში მონაწილეობას ლებულობს როგორც წყალბადის გადამტანი ციტოქრომის სისტემაზე.

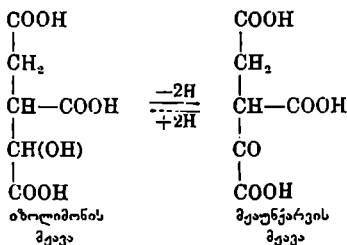
ანაერობული დეჰიდროგენაზების მესამე ჯგუფს ეკუთვნის ფერმენტები, რომელთა პროსტეტიული ჯგუფი არის ნად-ფ.

გლუქოზოზონოფოსფატის დეჰიდროგენაზა აღმოჩენილია საფუარებში და ერითროციტებში. ყურადღებას იპყრობს იმით, რომ გლუქოზას ერთი ბოლოდან ეანგავს.



გლუკოზის დეჰიდროგენაზა არაჩვეულებრივი სპეციფიკურობით ხასიათდება. ის სხვა შაქრებზე არ მოქმედებს.

იზოლიმონის მჟავას დეჰიდროგენაზა ფართოდ არის გავრცელებული მცენარეულსა და ცხოველთა ქსოვილებში. ის I(-) იზოლიმონის მჟავაზე მოქმედებს მჟაუნქარვის მჟავას წარმოშობით.



აერობული დეჰიდროგენაზები ანაერობული დეჰიდრაზების მსგავსად შეიძლება გაიყოს ორ ჯგუფად. დეჰიდროგენაზების ერთი ჯგუფი აქტივობას იჩენს მხოლოდ კოფერმენტების თანდასწრებისას. მეორე ჯგუფი მოქმედებს კოფერმენტების მონაწილეობის გარეშე. პირველი ჯგუფი განაგრძობს იმ პროცესს, რომელიც ანაერობული დეჰიდროგენაზების მიერ იწყება. მეორე ჯგუფს დამოუკიდებელივ გადააქვს წყალბადი ენგბადზე. ამიტომ მათ ოქსიდაზებს უწოდებენ.

კოფერმენტების შემცველი აერობული დეჰიდროგენაზების ჯგუფს ეკუთვნის:

ვარბერგის ყვითელი ფერმენტი აღმოჩენილია 1931 წელს საფუარებში და ერითროციტებში. მისი პროსტეტიული ჯგუფი ფად-ია. ეს ფერმენტი მონაწილეობას ღებულობს ნად-ფ-იდან ენგბადზე წყალბადის გაღ-ტანაში. ის ტიპური ფლავოპროტეინის წარმომადგენს.

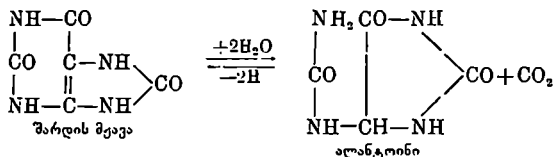
ციტოქრომრედუქტაზა აგრეთვე ფლავოპროტეინს წარმოადგენს. ის მონაწილეობას ღებულობს ციტოქრომის უშუალო აღდგენაში იმ წყალბადით, რომელიც სუბსტრატიდან გადმოიტანება ნად-ფ-ზე. ის ამავე დროს ნად-ფ-ის დამეანგველი ფერმენტია. ნად-ზე ის ვერ მოქმედებს. ამგვარად, ციტოქრომრედუქტაზა ნად-ფ-ისა და ციტოქრომის სისტემას შორის უშუამავლის როლს ასრულებს. ამ ფერმენტის პრეპარატი დამზადებულია საფუარებიდან.

პოლიფენოლოქსიდაზას სისტემას შეუძლია სუბსტრატის დიდი რაოდენობა კატალიზურად გარდაქმნას. ამგვარი მექანიზმით უნდა აიხსნას ვ. პალდინის თეორია ქრომოგენების მონაწილეობის შესახებ ჟანგვით პროცესებში.

პოლიფენოლოქსიდაზების ჯგუფს ეკუთვნის ფერმენტი p-დიფენოლოქსიდაზა და O-დიფენოლოქსიდაზა. პირველი იზოლირებულია ლაქის ხის რძის წვენიდან. ის მონაწილეობასღებულობს პოლიფენოლების დაჯანგვის კატალიზში. O-დიფენოლოქსიდაზას დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ცხოველთა პიგმენტაციაში. ის ააქტივებს ტიროზინის დაჯანგვას, რის შედეგად იქმნება პიგმენტი — მელანინები.

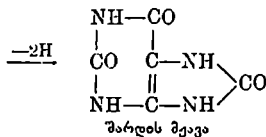
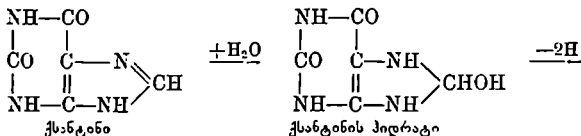
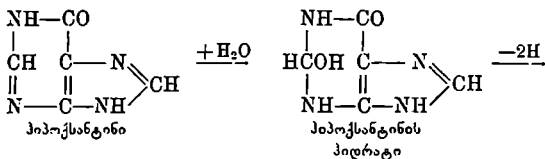
ასკორბინატოქსიდაზა გავრცელებულია მცენარეულობაში. ფერმენტი შეიცავს სპილენძს, მისი პრეპარატი დამზადებულია გოგრუქიდან. ასკორბინის მევა ადვილად იჟანგება აგრეთვე პილიფენოლოქსიდაზას საშუალებით.

ურატოქსიდაზა ააქტივებს შარდის მევაას დაჯანგვას ალანტონინად. ის რამდენიმე ფერმენტის ნარევეს უნდა წარმოადგენდეს, რადგან შარდის მევაას დაჯანგვა დაკავშირებულია არა ერთ, არამედ რამდენიმე რეაქციასთან.



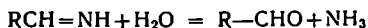
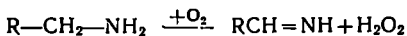
ურატოქსიდაზა შეიცავს რკინასა და ცინკს ერთდროულად. აღადგენს ჟანგბადს წყალბადის ზეჯანგის წარმოშობით. ეს ფერმენტი დიდი რაოდენობით არის იმ ძუძუმწოვარ ცხოველთა ღვიძლში, სადაც პურიების ცვლა მთავრდება არა შარდის მევათი, არამედ ალანტონინით (მაგალითად, ძაღლი). ურატოქსიდაზა ნაპოვნია მცენარეებშიაც.

ქსანტინოქსიდაზა ააქტივებს ჰიპოქსანტინის დაჯანგვას ქსანტინად, ხოლო უკანასკნელის — შარდის მევაად.



ქსანტინოქსიდაზა ურატოქსიდაზას მსგავსად გადაიტანს წყალბადს მოლეკულურ ენჯებადზე წყალბადის ზეჟანგის წარმოშობით. ქსანტინოქსიდაზას ეპოულობთ ცხოველთა და მცენარეულ ქსოვილებში. მისი აქტიური პრეპარატი დამზადებულია რძისგან, სადაც ის დიდი რაოდენობით არის წარმოდგენილი. ქსანტინოქსიდაზას აგრეთვე აღდექიდების დაჟანგვის უნარი აქვს. ეს იმაზეა დამოკიდებული, რომ ქსანტინოქსიდაზა აღდექიდების ჰიდრატებზე მოქმედებს. აღდექიდის ჰიდრატის დეჰიდრირების შედეგად წარმოიშობა შესაფერისი ორგანული მჟავა. ქსანტინოქსიდაზას ეს უნარი აიგივებს მას შარდინგერის ფერენტთან, რომელიც დიდი ხანია აღმოჩენილია რძეში.

მონოამინოქსიდაზა (მაო) მოქმედებს იჩენს ამინებზე, რომლებიც ამინომჟავათა დეკარბოქსილირების შედეგად იქმნებიან.



რეაქციის შედეგად წარმოიშობა აღდექიდი, წყალბადის ზეჟანგი და თავისუფლდება ამონიაკი. განსაკუთრებულ ინტერესს იწვევს მისი მოქმედება სეროტონინზე და ადრენალინზე, რის შედეგად იქმნება დაჟანგვის პროდუქტების მთელი წყება (იხ. ადრენალინი).

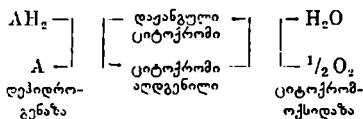
სუნთქვის ფერმენტები. მაშინ როდესაც ვილანდი დაჟანგვის პროცესში უბირატესობას წყალბადის გააქტივებას ანიჭებდა, ვარბურგი ამის საწინააღმდეგოდ ამტკიცებდა, რომ ბიოლოგიური ენჯის პროცესში წამყვანი როლი რკინაშემცველ ფერმენტებს ეკუთვნის. ამ ფერმენტების საშუალებით, ვარბურგის აზრით, ზორციელდება ენჯებადის გააქტივება და მისი კონტაქტი სუბსტრატთან. ეს დასკვნა გამოტანილი იყო მის მიერ ჩატარებული მრავალი ცდიდან მოდელეზზე, რომელიც რკინას შეიცავდა. ისე როგორც მოდელურ ცდებში, სუნთქვა უჭრედში თითქმის მთლიანად კავდებოდა რეაგენტებით, რომლებიც რკინასთან რეაგირებდნენ. მაგალითად. ციანიდი $n/1000$ კონცენტრაციით 80—90%-ით აკავებს უჭრედის მიერ ენჯებადის მოხმარებას. უჭრედის სუნთქვა კავდება გოგირდ-წყალბადით და ნარკოტიკებით. რკინაშემცველი ფერმენტების მოქმედების ხასიათის შესწავლის საქმეში განსაკუთრებული მნიშვნელობა ჰქონდა ცდებს ნახშირბადის ენჯით. ნახშირბადის ენჯი აკავებს უჭრედის სუნთქვას სიბნელეში, მაგრამ სინათლეზე სუნთქვა იავე აღდგება. ეს შხამი რკინასთან იძლევა კომპლექსს. რომელიც სინათლეზე იშლება. უჭრედის უნარი, განაახლოს სუნთქვა სინათლეზე ნახშირბადის ენჯით მოწამვლის შემდეგ, ითვლება ერთ-ერთ მძლავრ არგუმენტად რკინაშემცველი ფერმენტების არსებობის შესახებ. ამ ფერმენტს ვარბურგმა უწოდა სუნთქვის ფერმენტი.

ციტოქრომი. ჯერ კიდევ სუნთქვის ფერმენტის აღმოჩენამდე უჭრედში ცნობილი იყო სხვა რკინაშემცველი პიგმენტები. ეს პიგმენტები კეილინის კვლევის საგნად გახდა და მათ ციტოქრომი ეწოდა. კეილინის მიერ შესწავლილი იყო ციტოქრომების გავრცელება. აღმოჩნდა, რომ ციტოქრომს მეტი თუნაკლები რაოდენობით ყველა მცენარეული და ცხოველური წარმოშობის უჭრედი შეიცავს. გამოირკვა, რომ ციტოქრომის რაოდენობის მიხედვით იცვლება უჭრედში სუნთქვის ინტენსივობა.

ციტოქრომის აღმოჩენა უჭრედში დიდ სიძნელეს არ წარმოადგენს, რადგან ის შთანთქმის დამახასიათებელ სპექტრს იძლევა. კიდევ მეტი, ძალიან

აღვილად ხეობდება ციტოქრომის დაჟანგული და აღდგენილი ფორმის გარკვევა უჯრედის ცხოველმომქმედების პროცესში. უჯრედის სპექტროფოტომეტრიული გამოკვლევების შედეგად აღმოჩნდა, რომ უჯრედში წარმოდგენილია არა ერთი, არამედ რამდენიმე ციტოქრომი. მათგან ყველაზე მეტი რაოდენობით გავრცელებული არის ციტოქრომი c. დღეისათვის აღმოჩენილია სხვადასხვა თანათვისის სპექტრის მქონე ათი ციტოქრომი.

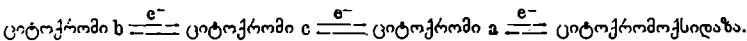
ციტოქრომი c-ს სუფთა პრეპარატი, თუ ის რომელიმე რეაგენტით აღვადგინეთ, ჟანგბადის არეში უბრალო ნჯღრევით ხელახლა აღარ იჟანგება. მაგრამ იმ შემთხვევაში, როდესაც პრეპარატის ხსნარს ცოცხალი უჯრედების ჰომოგენიზირებული ემატება, ციტოქრომი c მაშინვე იჟანგება. ეს იმის დამამტკიცებელია, რომ უჯრედში ციტოქრომის დაჟანგვა ოქსიდაზას საშუალებით უნდა ხდებოდეს. ამ ოქსიდაზას უწოდეს ციტოქრომოქსიდაზა. ციტოქრომოქსიდაზა ვარბურგის სუნთქვის ფერმენტის იდენტურია. ზემოხსენებულიდან გამომდინარე, ციტოქრომი c-ს დაბოკიდებულება დეჰიდროგენაზებთან და ციტოქრომოქსიდაზასთან შეიძლება განვიხილოთ შემდეგი სქემით:



(სქემაში AH_2 -ით აღნიშნულია სუბსტრატი, რომელმაც დეჰიდრირება უნდა განიცადოს. ხოლო A დაჟანგული სუბსტრატია).

ციტოქრომი c წარმოადგენს წყალბადის გადატანის უკანასკნელ ეტაპს, როდესაც უკვე მონაწილეობას ღებულობს ჟანგბადი. ჟანგბადის აღდგენაში მონაწილეობას უნდა ღებულობდეს ციტოქრომოქსიდაზა, რომელიც ციტოქრომში წყალბადს ააქტივებს.

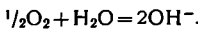
სხვადასხვა ციტოქრომები ერთიმეორეაგან განსხვავდებიან ჟანგვა-აღდგენითი პოტენციალით. ეს პოტენციალი დაბალი აქვს ციტოქრომ b-ს, ხოლო ციტოქრომ c-ს — მაღალი. ელექტრონების გადაცემის ჯაჭვში შემდეგ თანმიმდევრობას აქვს ადგილი:



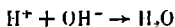
ციტოქრომრედუქტაზა აღადგენს ციტოქრომ b-ს. აქედან ელექტრონი გადაეცემა ჯერ c-ზე, შემდეგ ციტოქრომ a-ზე და საბოლოოდ ციტოქრომოქსიდაზაზე. რომელიც უშუალო მონაწილეობას ღებულობს წყალბადის გადატანაში ჟანგბადზე წყლის მოლეკულის წარმოშობით.

ციტოქრომოქსიდაზა ჟანგავს ციტოქრომ a-ს. ეს რეაქცია დაკავშირებულია ციტოქრომ a-ში Fe^{++} გადასვლასთან Fe^{+++} და ერთდროულად ელექტრონის გადატანასთან ციტოქრომოქსიდაზაზე.

ციტოქრომოქსიდაზა იერთებს ელექტრონს და მისი Fe^{+++} გარდაიქმნება Fe^{++} . ახლა აღდგენილ ციტოქრომოქსიდაზაზე მოქმედებს მოლეკულური ჟანგბადი. ციტოქრომოქსიდაზა იჟანგება, ე. ი. კარგავს ელექტრონს და ერთდროულად ჟანგბადის ერთი ატომი რეაგირებს მოლეკულა წყალთან და მიიღება ორი ჰიდროქსილის იონი

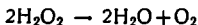


ციტოქრომ ა-ს დაქანგვის დროს წარმოშობილი წყალბადის იონი და ცი-
ტოქრომოქინადაზას ფერმენტული მოქმედების შედეგად მიღებული ჰიდროქსი-
ლის იონები ერთმეორეს ანეიტრალებენ და საბოლოოდ მიიღება წყალი



კატალაზა აგრეთვე რკინაშემცველ ფერმენტს წარმოადგენს. რკინა
დაკავშირებულია სპეციფიკური შენების მქონე ჰემში. ეს ფერმენტი გავრცე-
ლებულია ყველგან, სადაც კი ჟანგბადს ზომამარებას აქვს ადგილი.

კატალაზა მიღებულია სუფთა კრისტალური პრეპარატის სახით. მისი მო-
ლეკულა შეიცავს 4 ჰემს პროსტეტული ჯგუფის სახით. მას ახასიათებს წყალ-
ბადის ზეყანგის დაშლის არაჩვეულებრივი მაღალი ფერმენტული აქტივობა.
არის მითითება იმის შესახებ, რომ ის აქტივებს აგრეთვე სხვადასხვა სპირტე-
ზის დაქანგვას



კატალაზა სპეციფიკურად წყალბადის ზეყანგზე მოქმედებს, დანარჩენი ზე-
ყანგების მიმართ ის მცირე აქტივობას იჩენს. ამგვარი ორგანული ზეყანგების
არსებობა დამტკიცებულია, მაგალითად, კაროტინოიდებში, ტერპენებში და
პოლიფენოლებში.

ჟანგბადს ზეყანგებში ახასიათებს მომატებული ქიმიური აქტივობა და
ამიტომ ზეყანგებით ადვილად ხერხდება ისეთი ნაერთების დაქანგვა, რომლე-
ნიც ჩვეულებრივ პირობებში მოლეკულური ჟანგბადით არ იქანგებიან.

ცოცხალ უჯრედში ზეყანგი აქტივდება სპეციალური ფერმენტით — პერ-
ოქსიდაზით. წარმოიშობა სისტემა, სადაც დაქანგვის პოტენციალი კიდევ უფრო
მომატებულია. ამ გზით შესაძლებელია მცენარეულ ორგანიზმში წარმოებდეს
პოლიფენოლები და დაქანგვა.

პეროქსიდაზის დაქანგვის აუცილებელ კომპონენტს ფერმენტი პეროქსი-
დაზა წარმოადგენს. ეს ფერმენტი გავრცელებულია მცენარეულობაში. პეროქ-
სიდაზის თვისებები ახასიათებს ჰემოგლობინს, კატალაზასა და სხვა ჰემის შემ-
ცველ ფერმენტს. თვით პეროქსიდაზას პროსტეტული ჯგუფი ჰემი არის. აქ-
ტიურ პეროქსიდაზას დიდი რაოდენობით შეიცავს პირშუშა. მიუხედავად იმი-
თხა, რომ ცხოველთა ქსოვილებში პეროქსიდაზა ნაპოვნი არ არის, რძიდან გა-
მოყოფილია პეროქსიდაზას კრისტალური პრეპარატი. მისი მოლეკულური
წონა უდრის 4×10^4 .

§18. დამანავველი ფერმენტების თანამდროვე ნომენკლატურისა და კლასიფიკაციის პრინციპები

ახალი კლასიფიკაციის მიხედვით ოქსიდორედუქტაზები იყოფა 14 ქვეკლას-
სად. პირველ ქვეკლასს ეკუთვნის ოქსიდორედუქტაზების ის ჯგუფი, რომელიც
მოქმედებს ბმაზე $CH-OH$; მეორე ქვეკლასში გაერთიანებულია ფერმენ-
ტები, რომელნიც აქტივებენ ალდეჰიდისა და კეტონების ჯგუფების შემცველი
ნაერთების აღდგენას. მესამე კლასში წარმოდგენილია ფერმენტები, რომელთაც
მოქმედების უნარი აქვთ $CH-CH_2$ ბმებზე, მეოთხეში — ბმებზე $CH-NH_2$
და ა. შ. ეს ქვეკლასები თავის მხრივ იყოფა შემდეგ უფრო მცირე ჯგუფებად.
ყოველ ფერმენტს აქვს თავისი ოთხნიშნისანი შიფრი. მაგალითად შიფრი 1.1.1.1

ნიშნავს, რომ ეს ფერმენტი ოქსიდორედუქტაზის კლასიდან არის, რომ ის ზოქ-
ნედებს CH—OH ბმაზე, რომ მისი წყალბადის აქცეპტორი არის ნად-ი და ბო-
ლოს, ამ ჯგუფის პირველი წარმომადგენელია ალკოჰოლდეჰიდროგენაზა. ქვე-
მოთ მაგალითისათვის მოტანილია ცხრილი, სადაც ჩვენ მიერ განხილული ოქ-
სიდორედუქტაზების დახასიათება არის მოცემული.

დეჰიდროგენაზების კლასიფიკაცია, რომელთა პროსტეტული ჯგუფია: ნად-ი ანდა ნად-ფ-ი

შიფრი	სახელწოდება ახალი კლასიფიკაციის მიხედვით	ტრივიალური სახელწოდება
1.1.1.1	ალკოჰოლ: ნად-ოქსიდორედუქტაზა	ალკოჰოლდეჰიდროგენაზა
1.3.99.1	სუქცინატ (აქცეპტორი) — ოქსიდორედუქტაზა	სუქცინატდეჰიდროგენაზა
1.1.1.27	L — ლაქტატ: ნად-ოქსიდორედუქტაზა	ლაქტატდეჰიდროგენაზა
1.1.1.37	L — მალატ: ნად-ოქსიდორედუქტაზა	მალატდეჰიდროგენაზა
1.4.1.3	L — გლუტამატ: ნად-ფ-ოქსიდორედუქტაზა	გლუტამატდეჰიდროგენაზა
1.2.1.12	D — გლიცერალდეჰიდ-3-ფოსფატ: ნად-ოქსი- დორედუქტაზა	3-ფოსფო - გლიცერინალდე- ჰიდდეჰიდროგენაზა

ზემოთ ჩამოთვლილი პრინციპებიდან გამომდინარე, ფერმენტები დაშიფ-
რულია რიცხვებით. მაგალითად, გლუტამიკოდეჰიდროგენაზას აქვს შიფრი
1.4.1.3. ამ შიფრში პირველი რიცხვი იმას ნიშნავს, რომ ეს ფერმენტი ოქსიდო-
რედუქტაზაა, მეორე რიცხვი (4) ნიშნავს იმას, რომ ფერმენტი მოქმედებს
 CH—NH_2 ბმაზე, ე. ი. ამინომჟეაზე. მესამე რიცხვით იგულისხმება, რომ
წყალბადის აქცეპტორია ნად-ი ანდა ნად-ფ-ი. უკანასკნელი რიცხვით (3) აღინიშ-
ნება კონკრეტული ფერმენტის სახელწოდება: L — გლუტამატ ნად-ფ — ოქსი-
დორედუქტაზა, ეს სახელწოდება განმარტავს, თუ რომელ რეაქციას ააქტივებს
ფერმენტი. ქვემოთ მოტანილია კიდევ ერთი მაგალითი — შიფრით 3.5.3.1.
რიცხვი 3 (იხ. გვ. 287) ნიშნავს იმას, რომ ეს ფერმენტი ჰიდროლაზების ჯგუფს
უნდა მიეკუთვნოთ. მეორე რიცხვი (5) აღნიშნავს ფერმენტის მოქმედების ხა-
სიათს, რომ ის ააქტივებს CH—NH_2 არაპეპტიდური ბმის გარდაქმნას. მესამე
რიცხვით აღინიშნება, რომ საქმე გვაქვს ხაზობრივ ამილინებთან და უკანასკ-
ნელი, მეოთხე რიცხვი, რომ ეს ფერმენტი არის L-არგინინი-ამილინჰიდროლაზა
(არგინაზა).

**§ 14. ჰიმიური რადიკალებისა და ნაშთების გადაბანა ერთი ნაერთიდან
მეორეზე. ტრანსფერაზები**

ფერმენტების ეს კლასი აღინიშნება რიცხვით 2, ის აერთიანებს რვა ქვე-
კლასს. ტრანსფერაზების მნიშვნელობა იმაში გამოიხატება, რომ, როგორც გა-
რკევა, ნივთიერებათა ცვლა უჯრედში მიმდინარეობს არა მარტო უშუალო
დაშლისა და სინთეზის გზით, არამედ რადიკალების, ფუნქციური ჯგუფებისა
და ნაშთების ერთი ნაერთიდან მეორეზე გადაქცევით. იმისდა მიხედვით, თუ რა
ნაშთი გადაიტანება ერთი ნაერთიდან მეორეზე, ანსხვავებენ: ერთნაწირო-
ბადიანი ჯგუფების (მეთილის, კარბოქსილის, ფორმილის), ალდეჰიდის და კე-
ტონის, აცილის ნაშთების (აცეტილის, სუქცინილის), გლიკოზილის, ალკილის,

აზოტშემცველი ჯგუფების, ფოსფატის, გოგირდის ტრანსფერაზებს. ქვემოთ მოტანილია ზოგიერთი მათგანის დახასიათება.

კ ი ნ ა ზ ე ბ ი აქტივებს ფოსფატის ნაშთის გადატანას ერთი მოლეკულიდან მეორეზე. გადამტანის როლს ასრულებს სისტემა: ადენოზინტრიფოსფორიზა და ადენოზინდიფოსფორის მქაევა. ცნობილია ფოსფატის ნაშთის გადატანის მრავალი შემთხვევა, მაგრამ მხოლოდ ზოგიერთი რეაქცია არის კარგად შესწავლილი. უკანასკნელთა ჯგუფს ეკუთვნის რეაქცია, რომელიც ადენოზინტრიფოსფატა და კრეატინს შორის წარმოებს.

ადენოზინტრიფოსფატი + კრეატინი = კრეატინფოსფატი + ადენოზინდიფოსფატი
ამ რეაქციას კუნთისა და ნერვული ქსოვილს მოქმედებაში დიდი მნიშვნელობა აქვს.

ფოსფოფერაზების საშუალებით წარმოებს ფოსფატის ნაშთის გადატანა მთელ რიგ ნაერთებზე, როგორცაა: პირიდოქსალი, თიამინი, კოენზიმი A, ქოლინი, კრეატინი, არგინინი, შაქრები, გლუტამინის მქაევა, პიროყურძნის მქაევა, ადენოზინდიფოსფორის მქაევა და, ალბათ, მრავალი სხვა, ჯერ კიდევ შეუსწავლელი ნაერთი.

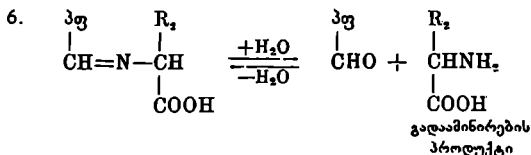
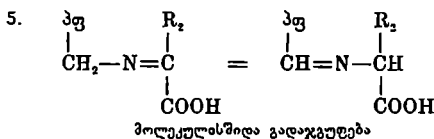
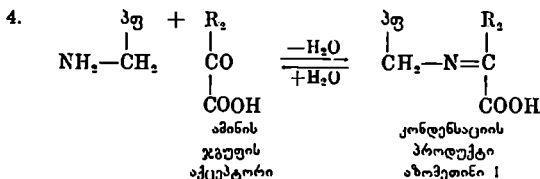
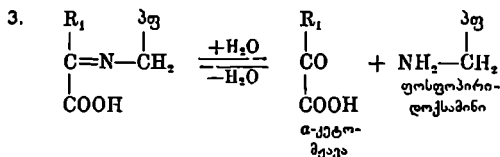
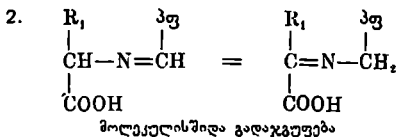
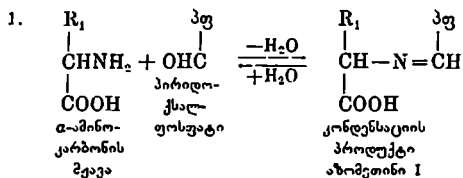
შაქრების ფოსფოფერაზებიდან დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ე. წ. ჰექსოკინაზას, რომელიც აქტივებს ატფ-დან ფოსფატის ნაშთის გადატანას გლუკოზაზე:



საყურადღებოა ის ფაქტი, რომ ფოსფატის გადატანა არ არის დაკავშირებული ერთი ნაერთის დაშლასთან და მეორის სინთეზთან, ე. ი. ამ რეაქციის დროს არ ხდება ფოსფატის ჯგუფის ჩამოშორება და განთავისუფლება.

ამ ი ნ ო ტ რ ა ნ ს ფ ე რ ა ზ ე ბ ი ანუ გადაამინირების ფერმენტები აერთიანებენ ფერმენტებს, რომლებიც აქტივებენ ამინის ჯგუფის გადატანას ამინოდიკარბონის მქაევიდან კეტო-მქაევიზე. ამ რეაქციის ქიმიური მექანიზმი უკეთესად არის შესწავლილი, ვიდრე რომელიმე სხვა გადამტანი ფერმენტის.

ამინოტრანსფერაზების პროტეტიული ჯგუფი არის ფოსფოპირიდოქსალი (ფუ—CHO). ამ ჯგუფის საშუალებით ფერმენტი იკავშირებს α-ამინოდიკარბონის მქავას (რეაქცია 1) და წარმოიშობა კონდენსაციის პროდუქტი. გარდაქმნის შემდეგ ეტაზზე კონდენსაციის პროდუქტში ადგილი აქვს მოლეკულისშიდა გადაჯგუფებას, რაც დაკავშირებულია წყალბადის აზოტის ატომიდან ნახშირბადის ატომზე გადაადგილებასთან. ამგვარად, ამინოტრანსფერაზა ფუნქციონირებს ერთდროულად როგორც ეანგვა-აღდგენითი სისტემა (რეაქცია 2). გადაჯგუფების შემდეგ კონდენსაციის პროდუქტი პიროლონიზურად გარდაიქმნება, თავისუფლდება α-კეტო-მქაევა, ხოლო ამინის ჯგუფები კავშირდება პირიდოქსალთან ფოსფოპირიდოქსამინის წარმოშობით (რეაქცია 3). ფოსფოპირიდოქსამინი გარდაქმნის შემდეგ ეტაზზე იკავშირებს იმ კეტო-მქავას, რაზედაც უნდა წარმოებდეს ამინის ჯგუფის გადაცემა. ადგილი აქვს ხელახალ კონდენსაციას. ამ შემთხვევაში ფოსფოპირიდოქსამინის ამინის ჯგუფი კავშირდება კეტო-მქავას კეტო-ჯგუფთან (რეაქცია 4). კონდენსაციის პროდუქტი ხელახლა განიცდის მოლეკულისშიდა გადაჯგუფებას (რეაქცია 5), რის შემდეგ ადგილი აქვს წყლით დაშლას, რომლის დროს ხდება პირიდოქსალფოსფატის რეგენერაცია და ამინის ჯგუფი გადაიტანება α-კეტო-მქაევაზე (რეაქცია 6).



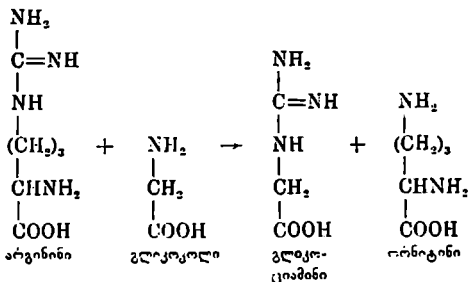
ზემოთ მოტანილი სქემა ნათელ სურათს იძლევა იმ რთული ქიმიური მექანიზმის შესახებ, რომლითაც ხერხდება ამინის ჯგუფის გადატანა ერთი ნაერთიდან მეორეზე. უნდა ვიფიქროთ, რომ სხვა შემთხვევაშიაც ფერმენტსა და სუბსტრატს შორის მსგავსი დამოკიდებულება არსებობს. ეს დამოკიდებულება გამოიხატება შუალედი პროდუქტების წარმოშობაში და ქიმიური ბმების ენერგეტიკული დონის იმგვარ გადაადგილებაში, რის შედეგადაც აღვილდება სუბსტრატის გარდაქმნა.

შესწავლილია ორი ამინოფერაზას — გლუტამიკო-ამინოფერაზასა და ას-პარტიკო-ამინოფერაზას — მოქმედება. ეს ფერაზები დიდ სპეციფიკურობას იჩენენ ამინის ჯგუფის დონორებისადმი და ნაკლებს — აქცეპტორებისადმი.

ამინოფერაზები ააქტუებენ ამილნის ჯგუფის



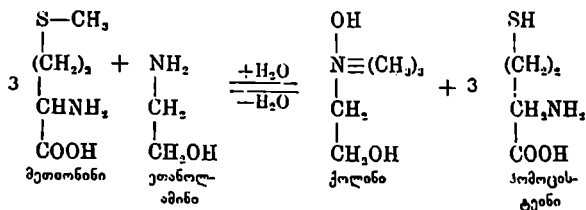
გადატანას ერთი ნაერთიდან მეორეზე. ცნობილია ასეთი რეაქციის ერთი შემთხვევა, სახელდობრ, ამილნის ჯგუფის გადატანა არგინინიდან გლიკოკოლზე. ამ რეაქციის დროს არგინინი გამოდის ამილნის ნაშთის დონატორად, ხოლო გლიკოკოლი აქცეპტორად. რეაქციის შედეგად მიიღება გლიკოციამინი და ორნიტინი.



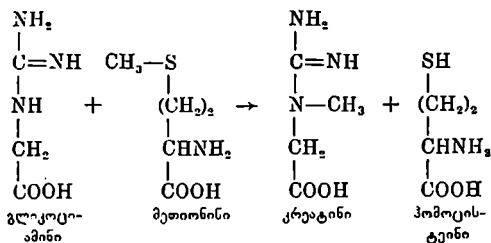
ზემოთ აღნიშნულ რეაქციაში მონაწილე ფერმენტის რაციონალური სახელწოდება არის — L-არგინინ: გლიცინ-ამილნოტრანსფერაზა (2.1.4.1).

მეთილფერაზები მონაწილეობას ლებულობენ მეთილის ჯგუფის გადატანაში. ბუნებაში გავრცელება აქვს დიდი რაოდენობით ისეთ ნაერთებს, რომლებიც მეთილის ნაშთებს შეიცავენ. ყველა ეს ნაერთი შეიძლება გაიყოს ორ დიდ ჯგუფად: ერთი ჯგუფი შეიცავს მოძრავი მეთილის ჯგუფებს (ქოლინი, მეთიონინი, მეთილპურინები, მეთილირებული პეპტინის ნივთიერებანი). მეორე ჯგუფის ნაერთებში მეთილის ჯგუფი მკვიდროდ არის დაკავშირებული (კრეატინი, ბეტაინები, მეთილალკალიიდები, ლიგნინი და სხვ.). მეთილირებული ნაერთების გავრცელების მიუხედავად, მეთილის ჯგუფის მოძრაობა ჯერ კიდევ საბოლოოდ არ არის შესწავლილი.

როგორც აღნიშნული იყო, მეთიონინი ადვილად გადასცემს თავის მეთილის ჯგუფს მთელ რიგ ნაერთებს, კერძოდ, ეთანოლამინს, რის შედეგად წარმოიშობა ქოლინი:



მეთიონინი გამოიყენება აგრეთვე გლიკოციამინის მეთილირებაში, რის შედეგად წარმოიშობა კრეატინი.

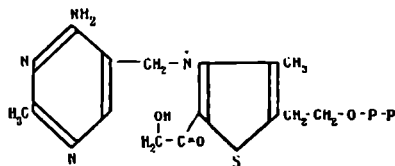


როგორც გამოირკვეა, ეს რეაქცია უკუქცევადი არ არის.

მეთიონინი წარმოადგენს მეთილის ჭგუფის უნივერსალურ დონატორს სხვადასხვა ნაერთის მეთილირების რეაქციებში. მეთიონინის გააქტივებაში კოფერმენტის როლს ასრულებს ატფ.

ატფ + მეთიონინი = S-ადენოზილმეთიონინი + პიროფოსფატი + ფოსფატი

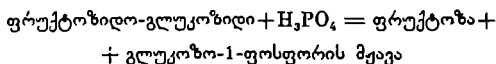
დიდი მნიშვნელობა ენიჭება შაქრების ურთიერთგარდაქმნაში ტრანსკეტოლაზას. ამ ფერმენტის მოქმედებით მცენარეულ უჯრედში და საფუარებში ადვილდება ჰექსოზების, ჰექსოზების, პენტოზების და ტეტროზების ცვლა. ტრანსკეტოლაზის კოფერმენტის როლს ასრულებს თიამინპიროფოსფატი, რომელიც შაქრების ცვლის ერთ-ერთ შუალედ პროდუქტთან, სახელდობრ გლიკოლის ალდეჰიდთან ქმნის აქტიურ ნაერთს.



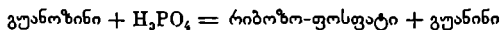
გლიკოლის ალდეჰიდის კონდენსაციის პროდუქტი თიამინპიროფოსფატთან

თიამინპიროფოსფატი კოფერმენტის როლს ასრულებს აგრეთვე კეტომჟავების დეკარბოქსილირების რეაქციებში.

ფოსფორილაზების საშუალებით ზდება აგრეთვე ზოგიერთ მიკრობში ლერწმის შაქრის დაშლა, რეაქციის შედეგად მიიღება გლუკოზო-1-ფოსფატი და ფრუქტოზა



ნუკლეოზიდზა, რომელიც ნუკლეოზიდებზე მოქმედებს, უნდა მივაკუთვნოთ ფოსფორილაზების ჭგუფს. რეაქცია მიმდინარეობს ფოსფორის მჟავას თანდასწრებით, რომელიც რეაქციის შედეგად კავშირდება რიბოზასთან:

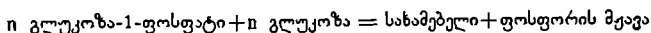


ზემოთ მითითებული ნუკლეოზიდაზა პენტოზილტრანსფერაზებს წარმო-
ვადგენელია.

გლუკოზილ-და პენტოზილ-ტრანსფერაზები იმიტომ მიეკუთვნებიან ტრანს-
სფერაზებს, რომ ადგილი აქვს შაქრების ნაშთების გადატანას ფოსფატის შემ-
ცველი შაქრებიდან რომელიმე ნაერთზე. შაქრების აქცეპტორად შეიძლება
იყოს ნაპირწყალი, აზოტოვანი ფუძე, ფენოლები, სპირტები, ამინები და სხვ.
გლუკოზილ-ტრანსფერაზების შიფრი იწყება 2.4.1.1-დან და მთავრდება 2.4.1.29,
ხოლო პენტოზილტრანსფერაზების — 2.4.2.1-დან 2.4.1.16-მდე.

შიფრის პირველი რიცხვი ნიშნავს, რომ ჩვენს წინაშე ტრანსფერაზა არის,
პეორე რიცხვი — 4 მიუთითებს იმაზე, რომ ეს ფერმენტები ეკუთვნიან ტრანს-
სფერაზების იმ ქვეკლასს, სადაც ხდება შაქრების გადატანის გააქტივება. შიფ-
რის მესამე რიცხვი განსხვავდება ერთიმეორისაგან გლუკოზისა და პენტოზას
გადატანის მიხედვით, ხოლო შიფრის უკანასკნელი მეოთხე რიცხვით აღინიშნება
ფერმენტების რიგითი ნომერი ამ ქვექვეკლასში.

წინათ ყველა ზემოხსენებულ ფერმენტი ცნობილი იყო ფოსფორილაზე-
ბის სახელწოდებით, რადგან რეაქციაში მონაწილეობას ღებულობს ფოსფორის
მჟავა. ფოსფორილაზის ტიპური წარმომადგენელია სახამებლისა და გლიკო-
გენის ფოსფორილაზა, რომელიც აქტივებს რეაქციას:



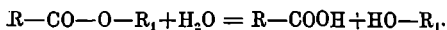
როგორც ირკვევა, პოლისაქარიდების უჭრედშიდაცვლა მცენარეში და
ცხოველებშიც დაკავშირებულია როგორც ჰიდროლიზთან, ისე ფოსფოროლიზ-
თან. ფოსფოროლიზის დროს პოლისაქარიდში გლუკოზიდური ბმების ადგილზე
უერთდება ფოსფორის მჟავა, რის შედეგად წარმოიშობა არა მალტოზა ანდა
გლუკოზა. არამედ α -გლუკოზო-1-ფოსფატი. ფოსფოროლიზის რეაქცია უკუქ-
ცევადია. გარკვეულ პირობებში შესაძლებელი ხდება α -გლუკოზო-1-ფოსფა-
ტიდან ხელახლა აშენდეს სახამებელი ანდა გლუკოზა.

კუნთოვან ქსოვილში ფოსფორილაზა წარმოდგენილია აქტიური α -ფორმი-
სა და არააქტიური β -ფორმის სახით. ფოსფორილაზას α -ფორმა იქმნება β -ფორ-
მის ფოსფორილირების შედეგად. ამ რეაქციას აქტივებს 3'-5'-ადენილის მჟავა.
ფოსფორილაზა α ფორმის მოლეკულური წონა უდრის 495000-ს, ხოლო
 β -ს — 242000-ს. საინტერესოა აღინიშნოს, რომ კუნთის ფოსფორილაზა შეი-
ცავს პირიდოქსალფოსფატს, რომელიც გავლენას ახდენს ფოსფორილაზას ნა-
ტიური ფორმის კონფორმაციაზე.

§ 15. ჰიდროლაზების ცალკეული წარმომადგენლები.
ესთერაზები და ლიპაზები

ჰიდროლაზებში გაერთიანებულია მრავალი ფერმენტი. მათთვის დამახასი-
ათებელია ნაერთის ჰიდროლიზური დაშლა წყლის საშუალებით. ეს შეიცავს 9
ქვეკლასს: ესთერაზებს, პოლიაზებს, ეთერაზებს, პროტეაზებს, ამიდაზებს, ფოს-
ფატაზებს და სხვ.

ესთერაზების ჯგუფს ეკუთვნის ყველა ის ფერმენტი, რომელიც აქტივებს
ესთერის კავშირის ჰიდროლიზსა და სინთეზს.



ესთერაზის წარმომადგენელია ლიპაზები, რომლებიც აწარმოებენ როგორც ტრიგლიცერიდების, ისე სტერიდების დაშლას ცხიმოვან მკვავად და სპირტად.

ლიპაზას შიფრი არის 3.1.1.3. პირველი რიცხვი ნიშნავს, რომ ლიპაზა ეკუთვნის ჰიდროლაზების ჯგუფს: მეორეტი აღინიშნება მისი მოქმედება რთულ ეთერზე, მესამე რიცხვით აღინიშნება, რომ ლიპაზა მოქმედებს კარბონის მკვავას ეთერზე და უკანასკნელი რიცხვი (3) იმაზე მიუთითებს, რომ ლიპაზას ფერმენტების ამ (3.1.1) ჯგუფში მესამე ადგილი უჭირავს.

განცალკევებით დგას ის ესთერაზები, რომელთა ზეგავლენით წარმოებს ორგანული რადიკალისა და ფოსფორისა და გოგირდის მკვავების ჩამოშორება.

ცხოველური წარმოშობის ლიპაზები. ცხოველთა ორგანიზმში ლიპაზა წარმოდგენილია როგორც მომწიფებელ ტრაქტში, ისე ორგანოებში და ქსოვილებში. ნაწლავებში დიდი მნიშვნელობა აქვს პანკრეასულ ლიპაზას, რომელიც აწარმოებს ცხიმის ჰიდროლიზურ დაშლას შემადგენელ კომპონენტებად. ქსოვილების ლიპაზა მონაწილეობას ღებულობს ცხიმების ექვრედშიგნითა ცვლაში; ლიპაზების დახმარებით უნდა წარმოებდეს ფოსფატიდების, სფინგომიელინებისა და ცერებროზიდების გარდაქმნებიც.

ლიპაზებიდან ყველაზე უკეთ შესწავლილია პანკრეასის ლიპაზა. ის შლის როგორც ნეიტრალურ ცხიმებს, ისე დაბალმოლეკულურ ესთერებს. ის ადვილად იხსნება წყალში და გლიცერინში. ფერმენტის წყლის ხსნარი ადვილად იშლება და მოქმედების უნარს ჩქარა კარგავს. გლიცერინში ლიპაზა თავის აქტივობას დიდხანს ინარჩუნებს.

წყალბად-იონთა კონცენტრაციის ოპტიმუმი სხვადასხვა წარმოშობის ლიპაზასათვის დიდ ფარგლებში მერყეობს. წყალბად-იონთა კონცენტრაციის ცვალებადობა დამოკიდებულია მინარევ ნივთიერებაზე. იმ შემთხვევაში, თუ ცხოველური წარმოშობის ლიპაზას პრეპარატი გასუფთავდა მინარევებიდან, მისი მოქმედების ოპტიმუმი სტაბილდება და მისი pH 7—8 უდრის.

ფიქრობდნენ, რომ პანკრეასის ჰირკელის ლიპაზას გააქტივება ნაღვლის მკვავებით (სახელდობრ, ქოლის მკვავებით) გაპირობებულია სუბსტრატზე აქტივატორის დადებითი გავლენით ან მისი კოფერმენტული მოქმედებით. გამოირკვა, რომ ნაღვლის მკვავების დადებითი გავლენა აიხსნება იმ გარემოებით, რომ ეს მკვავები ადსორბირდებიან ფერმენტების მიერ. სუბსტრატისა და ნაღვლის მკვავების ერთდროული ადსორბციის შედეგად იქმნება ფერმენტის სუბსტრატზე მოქმედების უკეთესი პირობები. მკვავე არეში ასეთი ადსორბცია ვერ წარმოებს და ნაღვლის მკვავები აქტივაციის უნარს არ იჩენენ.

ლიპაზას სპეციფიკური მოქმედების დამახასიათებლად მიჩნეულია ესთერის კავშირის დაშლა. როგორც ირკვევა, ესთერის შენებაში მონაწილე რადიკალებს ლიპაზას აქტივობისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს. მაშინ, როდესაც პანკრეასის ლიპაზა კარგად შლის ნეიტრალურ ცხიმებს, ის დაბალმოლეკულურ ტრიგლიცერიდებზე და სტერიდებზე ძნელად მოქმედებს. პირიქით, ნაღვლის ლიპაზა დაბალმოლეკულურ ტრიგლიცერიდებზე და სტერიდებზე ძნელად მოქმედებს. პირიქით, ნაღვლის ლიპაზა დაბალმოლეკულურ ტრიგლიცერიდებს ინტენსიურად შლის. ფილტვების ლიპაზა ფილტვების ქსოვილში მიმდინარე ცხიმებისა და ფოსფატიდების გარდაქმნაში დიდ აქტივობას იჩენს. მაშასადამე, უნდა დაეუშვათ, რომ ლიპაზას სპეციფიკურობა მარტო ესთერის კავშირის დაშლით არ განისაზღვრება. სხვადასხვა ლიპაზის ახასიათებან უფრო ღრმა და-

მატებითი სპეციფიკურობა ლიპიდების შენებაში მონაწილე კომპონენტებსადმი.

მ ც ე ნ ა რ ე უ ლ ი ლ ი პ ა ზ ე ბ ი. ლიპაზა პეენარეულ ორგანიზმში წარმოადგენილია უმთავრესად თესლში. გარდა ამისა ის ნაპოვნია ობებში, საფურცლებში და ზოგიერთ ბაქტერიულში. ძლიერ მოქმედი პრეპარატები დამზადებულია აბუსალათინის თესლისგან (რიცინის ლიპაზა). კარგად არის შესწავლილი აგრეთვე სოიას თესლის ლიპაზა.

მცენარეული ლიპაზა წყალში არ იხსნება, არ იხსნება აგრეთვე ორგანულ გამხსნელებშიც, ძალიან ადვილად განიცდის დაშლას კოლოიდური მდგომარეობის შეცვლისას. ამის გამო მისი პრეპარატის დამზადების დროს მიმართავენ მთელ რიგ გამაფრთხილებელ ზომებს. კარგ შედეგს იძლევა მიღების ისეთი წესი, როდესაც პრეპარატის დამზადების პროცესში ფერმენტი ცხიმთან კონტაქტში იმყოფება. მცენარეული ლიპაზას მოქმედების pH ოპტიმუმი უდრის pH—4,7—5,0, ბუფერული ხსნარებიდან უკეთესი შედეგი მიიღება აცეტატის ხსნარებისას. უფრო ცუდ შედეგს იძლევა ფოსფატის ბუფერი.

ბაქტერიული ლიპაზას pH ოპტიმუმი უდრის 7,9-ს, ხოლო ობის pH ოპტიმუმი — 8,5 — 9,3-ს.

მცენარეული ლიპაზას ტემპერატურული ოპტიმუმი 35°-ს არ სცილდება. ფერმენტულ ხსნარში (წყალთან ერთად) ფერმენტი უკვე 60°-ზე იშლება. საინტერესოა აღინიშნოს, რომ სუფთა ზეთში ის უძლებს 100° გაყვებებს და მხოლოდ 160°-ზე იშლება.

ლიპაზების ჯგუფს უნდა მიეკუთვნებოდნენ ქოლინესტერაზა. რომელიც აცეტილქოლინის დაშლას აწარმოებს. ამ რეაქციას დიდი მნიშვნელობა ენიჭება აგზნებად ქსოვილებში. სადაც აცეტილქოლინი აგზნების იმპულსის გადაცემას იწვევს დიდ როლს ასრულებს.

ფ ო ს ფ ა ტ ა ზ ე ბ ი. ფოსფატაზა ააქტივებს ორგანული ფოსფორის მკვას ჩამოშორებას ყველა იმ ნაერთში, სადაც დაკავშირება ესთერის კავშირის საშუალებით წარმოებს.

ფოსფატიდების ფრაქციულა ჰიდროლიზის დროს მიღებული გლიკოლინ-ფოსფორის მკვას დაშლა აქტივდება არასპეციფიკური ფოსფატაზით — გლიკოლინ-ფოსფატაზით. მისი მოქმედი პრეპარატი დამზადებული იყო საფურცლებისაგან, აგრეთვე ობისგან და სოიასგან.

არასპეციფიკურ ფოსფატაზებში გაერთიანებულია ისეთი ფერმენტები, რომელნიც ააქტივებენ ფოსფორის მკვას ესთერების დაშლას სპირტის ნაშთის ქიმიური ბუნების მიუხედავად. არასპეციფიკური ფოსფატაზები იყოფა თავის მხრივ მკვას და ტუტე ფოსფატაზებად. პირველი ქვეჯგუფის მოქმედების pH ოპტიმუმი არის 4,5—5,0, ხოლო ტუტე ფოსფატაზების pH = 8,5 — 9,0-ს.

ფოსფატაზებთან ახლოს დგას აგრეთვე ფიტაზა. რომელიც ფიტინიდან ფოსფორის მკვას ათავისუფლებს.

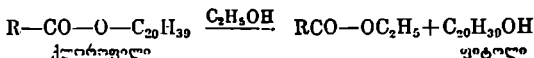
ფოსფატაზების მნიშვნელოვანი წარმომადგენელია ადენოზინტრიფოსფატაზა და ატფ-პიროფოსფორილაზა. უკანასკნელი ადენოზინტრიფოსფატს ჩამოაცილებს ორი ფოსფატის ნაშთს. ატფ-პიროფოსფორილაზა ნაპოვნია მიკრო-ორგანიზმებში და მცენარეებში. კარტოფილის ატფ-პიროფოსფორილაზას უწოდებენ აპირაზას.

სპეციალური ფოსფატაზების ჯგუფს ეკუთვნის აგრეთვე ფერმენტი ნუკლეაზა, რომელიც მოქმედებს ფოსფორის ბმებზე პოლინუკლეინის მკვასში და

ათავისუფლებს ნუკლეოტიდებს. ფოსფორის მქავეს ნუკლეოტიდან განთავისუფლება ფერმენტ ნუკლეოტიდაზას მოქმედებით წარმოებს.

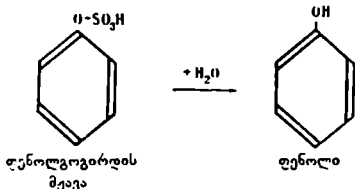
ფოსფატაზას ძალიან დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ხრტილოვანი ქსოვილის ოპიფიკაციის პროცესში. როდესაც ხრტილის გაძვალვა ხდება, სისხლში წარმოდგენილი ფოსფორის ორგანული ნაერთები ფოსფატაზას მოქმედებით ათავისუფლებენ არაორგანული ფოსფორის მქავეს, რომელიც უკავშირდება კალციუმსა და ქრისტალური ნაერთის სახით ლაგდება ხრტილის ყალიბში.

ქ ლ ო რ ო ფ ი ლ ა ზ ა. როგორც აღნიშნული იყო, ქლოროფილაზას მოქმედებით ქლოროფილში წარმოებს მისი შემადგენელი სპირტის შეცვლა იმ სპირტით, რომლითაც წარმოებდა ქლოროფილის გამოყოფა ფოთლიდან. ალკოჰოლის ეს რეაქცია მიმდინარეობს შემდეგი განტოლების მიხედვით.



რეაქცია უკეთესად მიმდინარეობს სპირტის 80% ხსნარში. 50°-ზე ქლოროფილაზა უკვე ინაქტივირდება.

ს უ ლ ფ ა ტ ა ზ ა მოქმედებას იჩენს ფენოლების გოგირდმქავეს ესთერებზე. ეს გაწყვილებული ნაერთები, როგორც აღნიშნული იყო, შარღში გადადიან და იქ ბაქტერიების ცხოველმქმედების შედეგად ისინი სულფატაზას კატალიზური მოქმედებით დაშლას განიცდიან.



სულფატაზა აღმოჩენილია სხვადასხვა მიკრობში და აგრეთვე *Aspergillus urisae*-სგან დამზადებულ ტაკადაისტაზაში (ტაკადაისტაზა წარმოადგენს ობის ფერმენტულ პრეპარატს, რომელიც შეიცავს მრავალ აქტიურ ფერმენტს).

§ 16. პოლიაზაზი

პოლიაზების ჯგუფში გაერთიანებულია ის ფერმენტები, რომლებიც აქტივებენ პოლისაქარიდების ეთერიან კავშირის კატალიზურ დაშლას ან სინთეზას.

ამილაზა. კარგად არის შესწავლილი სახამებლისა და გლიკოგენის დამშლელი ფერმენტი ამილაზა. მისი მოქმედება სახამებელზე და გლიკოგენზე დისაქარიდ-მალტაზას წარმოშობით განისაზღვრება. ეს ის ფერმენტია, რომლის კატალიზური მოქმედება აღმოჩენილი იყო ჯერ კიდევ 1811 წელს და როგორც ფერმენტი პირველად აღაოიდან იყო გამოყოფილი.

ამილაზა გავრცელებული ფერმენტია განსაკუთრებით მცენარეულობაში (დიასტაზა). ცხოველთა ორგანიზმში ის წარმოადგენილია ნერწყვში (პტიალინი), პანკრეასის წვენში (პანკრეასიან ამილაზა), ლეიძლში, კუნთოვან და ნერვულ ქსოვილში. მცენარეული ამილაზა შედარებით დიდი რაოდენობით გროვდება თესვლში მისი გალივების დროს. ამ გარემოებაზე არის დამყარებული ალაოიდან ამი-

ლაზას პრეპარატის დამზადება. მცენარეული წარმოშობის ამილაზას ეწოდება ღიასტაზა.

ჩვეულებრივი გზით მიღებული პრეპარატი შეიცავს ორგვარ ამილაზას: α -და β -ამილაზას. ბუნებრივ პირობებში ეს ორი ამილაზა ერთად მოქმედებს და სახამებელი და გლიკოგენი მალტოზაში გადაჰყავს. მაგრამ ისინი მოქმედების მექანიზმის მხრივ ერთიმეორისაგან განსხვავდებიან. ეს განსხვავება გასაგებები ხდება, თუ მხედველობაში მივიღებთ სახამებლისა და გლიკოგენის სტრუქტურას.

როგორც უკვე აღნიშნული იყო, სახამებელში წარმოდგენილია ორი პოლისაქარიდი: ამილოზა და ამილოპექტინი. ამილოზაში 200—300 გლუკოზას ნაწილი ურთიერთკავშირდება და იქმნება გრძელი ჯაჭვი. ამილოპექტინში ჯაჭვის სიგრძე უფრო ნაკლებია. გლიკოგენი ამ მხრივ ამილოპექტინს ემსგავსება. β -ამილაზა მოქმედებს ამილოზას გრძელ ჯაჭვზე და თანდათანობით ამოკლებს მას მალტოზას ჩამოშორების გზით. მაგრამ როდესაც β -ამილაზა ამილოპექტინის ჯაჭვზე მოქმედებს. ის ათავისუფლებს მალტოზას მხოლოდ ჯაჭვის სიგრძის მოკლე მანძილზე. მის მოქმედებას ეღობება ამილოპექტინში არსებული მოკლე ჯაჭვების გვერდითი დაკავშირება. ამიტომ ამილოპექტინში დექსტრინის მაგვარი ნაერთები 50%-ით ხელუხლებელი რჩება. α -ამილაზას კი უნარი აქვს იმოქმედოს უკვე დექსტრინებზე და აწარმოოს მისი თანდათანობითი დაშლა. როდესაც α -და β -ამილაზა ამილოზაზე, ამილოპექტინზე ანდა გლიკოგენზე ერთდროულად მოქმედებენ, ადგილი აქვს მალტოზას განათავისუფლებას 95%-ის რაოდენობით. α -ამილაზას უწოდებენ დექსტრინოგენურს, ხოლო β -ამილაზას — მალტოზოგენურ ამილაზას.

α -ამილაზას შიფრი არის 3.2.1.1., ხოლო β -ამილაზასი — 3.2.1.2. ეს იმას ნიშნავს, რომ ამილაზები ეკუთვნიან ჰიდროლაზების ჯგუფს, მოქმედებენ გლიკოლიზის ნაერთებზე (შაქრების დამაკავშირებელ ეთერის ბმებზე) და ააქტივებენ გლუკოზიდების ჰიდროლიზს.

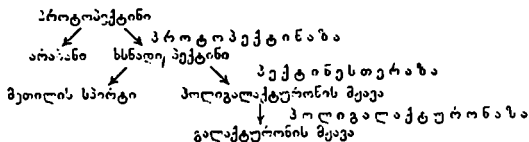
ინულაზა გამოყოფილია გეორგინების ბოლქვებიდან და სოკოებიდან. მისი ზემოქმედებით ფრუქტოზანი — ინულონი განიცდის ჰიდროლიზს და მიიღება ფრუქტოზა. ინულაზას მოქმედების pH ოპტიუმში უდრის 3,8-ს. ტუტე არეში ფერმენტი სწრაფად იშლება. ტემპერატურული ოპტიუმში უდრის 55°-ს. ინულაზას მოქმედების მექანიზმი ჯერჯერობით კარგად არ არის შესწავლილი.

ცელულაზა. ცხოველთა ორგანიზმიდან არ არის წარმოდგენილი იმ ფერმენტის პრეპარატი, რომელიც ცელულოზას ჰიდროლიზურ დაშლას ააქტივებს. როგორც უკვე აღნიშნული იყო, ცელულოზას ენერგიული დაშლა მცოხნავ ცხოველთა მომწელებელ ორგანიზმში ხდება იმ ბაქტერიული ფლორის საშუალებით, რომელიც იქ არის დასახლებული. ცელულოზას დაშლა უკეთ არის შესწავლილი ბაქტერიებში და სოკოებში. ფერმენტის პრეპარატი, რომელსაც ცელულოზას ჰიდროლიზი ცელობიოზას სტადიამდე დაყავს, დამზადდა პრინსპიემის მიერ სპეციფიკური ერბოსმეფავ ბაქტერიებიდან. ამ ფერმენტს ეწოდა ცელულაზა. ცელულაზას შიფრი არის 3.2.1.4.

როგორც ცნობილია, ცელულაზას გარდა მცენარეული უჯრედის კედლის შენებაში მონაწილეობას ღებულობს სხვა პოლისაქარიდებიც, რომლებიც მექანიკური დანიშნულების გარდა ასრულებენ აგრეთვე ენერგეტიკული მასალის როლს. მათი დამოკიდებულება უნდა იყოს განსაზღვრული ფერმენტების ზემოქმედებით. მაგალითად, ჰემიცელულოზას ჰიდროლიზური დაშლის აქტივა-

ტორი პემიციულაზა (ცატაზა). უნდა დაეუშვათ. რომ პემიციულაზა სხვა-
დასხვა სპეციფიკურ ფერმენტს აერთიანებს.

პექტინის ნივთიერებათა დამშლელი ფერმენტების
კომპლექსი აერთიანებს სხვადასხვა ხასიათის ფერმენტს. მათ შორის
განსხვავება ადვილი წარმოადგენია, თუ გავიხსენებთ პექტინის ნივთიერებათა
შენებას. პექტინის ნივთიერების საფუძველს წარმოადგენს პოლიგალაქტურონი
ნაწილი. რომელიც იკავშირებს ნახშირწყლების, სპირტისა და ძმრის მქავეს
ნაშთებს და ქმნის რთულ პროტოპექტინს. პროტოპექტინაზა შლის კავშირს
მეთილირებულ პოლიგალაქტურონის მქავესა და არაბანს შორის, რის შედეგად
წარმოიშობა ხსნადი პექტინი (მეთილირებული პოლიგალაქტურონის მქავე).
უკანასკნელი იშლება პექტინესთერაზას საშუალებით. ის თავისუფლებს მეტ-
ოქსილის ნაშთებს, ე. ი. მოქმედებს ესთერის ბმებზე მეთილის სპირტისა და
და პოლიგალაქტურონის მქავეს შორის. უკანასკნელი ფერმენტული სის-
ტემა, რომელიც შლის გლუკოზიდურ კავშირებს გალაქტურონის მქავეთა შო-
რის, არის პოლიგალაქტურონაზა. ყველაფერა ეს მოტანალია ქვემოთ სქემაში:



პექტინესთერაზას გარდა ყველა დანარჩენი ფერმენტი, რომელიც მონა-
წილეობას ღებულობს პექტინის ნივთიერებათა დამლაში (და, ალბათ, სინთეზ-
შიც). აღმოჩენილია აგრეთვე მიკრობებში და ობებში.

გლუკოზიდების ჰიდროლაზები. ფერმენტების ის ჯგუფი.
რომელიც აქტივებს გლუკოზიდების (კრძოდ დისაქარიდების) ჰიდროლიზურ
დამლას, გაერთიანებულია გლუკოზიდების ჰიდროლაზების სახელწოდებით.
ისინი სუბსტრატის შენების მიმართ განსაკუთრებული სპეციფიკურობით ხაი-
ათდებიან. კლასიფიკაციას საფუძველად დაედო გლუკოზიდების შენების ის
თავისებურება, რომელიც გამოვლინარეობს: 1) მოლეკულაში შემავალი ნაშთე-
ბის შენებისაგან, 2) გლუკოზიდური ჰიდროქსილის სიერციით განწყობისაგან
და 3) იმ უანგბადის მდებარეობისაგან, რომელიც მონოსაქარიდის ორ ნაშთს
ეთერისებურად აკავშირებს.

ბ-ფრუქტოფურანოზიდაზა (3.2.1.26) (ინვერტაზა). ეს ფერმენტი
შლის ლერწმის შაქარს გლუკოზად და ფრუქტოზად. მას დიდი გავრცელება
აქვს. გვხვდება ნერწყვში, პანკრეასის და ნაწლავების წვენი, მცენარეულო-
ბიდან — საფურარებში. სოკოებში და უმადლეს მცენარეებში. სახელწოდება
ინვერტაზა (ინვერტინი) მან მიიღო იმისათვის, რომ მისი მოქმედებისას ლერ-
წმის შაქარი მიერ პოლარიზებული სხივის: დადებითი ბრუნვა უარყოფითზე
იცვლება.

ინვერტაზას უკეთეს წყაროს წარმოადგენენ საფურარები, საიდანაც დამზა-
დებულია ძლიერ სუფთა პრეპარატი. ინვერტაზას აქტივობა პრეპარატში 3000-
ჯერ იზრდება საფურარის აქტივობასთან შედარებით.

მცენარეში ლერწმის შაქრის სინთეზი იმ გზით არ მიმდინარეობს, როგორც
დამლა. ამ პროცესში მონაწილეობას უნდა ღებულობდეს ფრუქტოზას გადამ-
ტანი ფერმენტი (იხ. ტრანსგლუკოზიდაზები).

საფურის β -ფრუქტოფურანოზიდას pH ოპტიმუმი საკმაოდ დიდ ფარგლებში მერყეობს, სახელობრ 3,5 — 5,5. ნაწლავების წვენი საქარასას pH ოპტიმუმი უდრის 6,8-ს. ტემპერატურული ოპტიმუმი კი 55°-ს. მაგრამ ამ ტემპერატურაზე ფერმენტი ნაწილობრივ იშლება.

α -გლუკოზიდაზა პირველად გამოყოფილი იყო საფურებიდან, გავრცელებულია აგრეთვე მცენარეებში, წარმოდგენილია ნერწყვში. პანკრეასის და ნაწლავის წვენში. ის აქტივებს მალტოზას ჰიდროლიზურ დაშლას ორი მოლეკულა გლუკოზას წარმოშობით და მეტი თუ ნაკლები სისწრაფით მოქმედებს ყველა α -გლუკოზიდზე. მისი pH ოპტიმუმი უდრის 6,75—7,25-ს. ოპტიმუმის ცვალებადობა დამოკიდებულია მინარეებზე. მეავე არეში ის სწრაფად იშლება.

β გლუკოზიდაზა აქტივებს ცელობიოზას ჰიდროლიზურ დაშლას. ეს ფერმენტი აღმოჩენილია სოკოებში და მცენარეებში; საფურებში ის აღმოჩენილი არ არის. დამოკიდებული არ არის აგრეთვე მისი არსებობა ცხოველებში. β -გლუკოზიდაზას მოქმედებით ცელობიოზასაგან მიიღება გლუკოზას ორი მოლეკულა.

β -გალაქტოზიდაზა მოქმედებს β -გალაქტოზიდო-გლუკოზაზე — რძის შაქარზე (ლაქტოზაზე). ამიტომ მას ლაქტაზასაც უწოდებენ. მცენარეულობაში ეს შაქარი აღმოჩენილი არ არის. ხოლო მისი დამშლელი ფერმენტი ნაპოვია როგორც საფურებში და სოკოებში. ისე ზოგიერთ უმაღლეს მცენარეში. რაც შეეხება ცხოველებს, მისი არსებობა დადასტურებულია ისეთ ორგანიზმებში. რომლებიც რძით იკვებებიან. ზრდადამთავრებული ცხოველების ნაწლავების წვენი ლაქტაზას არ შეიცავს. რძით კვებიან კი ის ხელახლა წარმოიშობა. ნაწლავების გარდა ცხოველთა სხვა ორგანოში ლაქტაზა არ მოიპოვება.

ლაქტაზას ზემოქმედებით რძის შაქარი იძლევა გალაქტოზას და გლუკოზას თითო მოლეკულას. შესწავლილია ფერმენტის ის პრეპარატი, რომელიც მიღებულია საფურებიდან. მისი მოქმედების pH ოპტიმუმი უდრის 7,0-ს.

§ 17. ამილაზაი

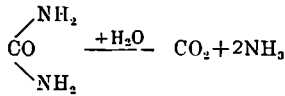
ამილაზების სახელწოდებით გავრთიანებულია ყველა ის ფერმენტი, რომელიც აქტივებს ნახშირბადისა და აზოტის კავშირის ჰიდროლიზურ დაშლას ან სინთეზს. ამ თვისებებით ამილაზები განსხვავდებიან ჰიდრალაზებისა და უსთერაზებისაგან, რომლებიც ნახშირბადისა და ეანგბადის კავშირის დაშლას აქტივებენ.

სახელწოდება ამილაზა გამომდინარეობს იმ სუბსტრატიდან, რაზედაც ფერმენტების ეს ჯგუფი იჩენს მოქმედებას. ამილაზები აწარმოებენ ამინომჟავათა და ამიდების კატალიზურ გარდაქმნას. მათი მოქმედება განსხვავდება დენამინირების პროცესისაგან, მიუხედავად იმისა, რომ ორივე შემთხვევაში ამონიაკი თავისუფლდება.

არ გ ი ა ზ ა სპეციფიკურად მოქმედებს არგინინზე და მას შლის ორნიტინად და შარდოვანად. ცხოველებში არგინაზათი მდიდარია ღვიძლი. ის წარმოდგენილია აგრეთვე მცენარეულობაში, საფურებში და სოკოებში. არგინაზა იმ აუცილებელ ფერმენტს წარმოადგენს, რომელსაც შარდოვანას ბიოლოგიურ სინთეზში დიდი როლი ენიჭება.

საინტერესოა აღინიშნოს, რომ ფერმენტის აქტივობა შეუღლებულია ეანგვა-ალდგენით პროცესებთან. ის შეიცავს მანგანუმს. მისი მოქმედების pH ოპტიმუმი უდრის 9,5—9,9-ს.

ურეაზა ცხოველთა ორგანიზმში წარმოდგენილი არ არის; სამაგიეროდ ბევრის ცილით მდიდარ მცენარეულ თესლში, განსაკუთრებით სოიამში. ურეაზას მოქმედებით შარდოვანა განიცდის ჰიდროლოზურ დაშლას, რის შედეგად წარმოიშობა ამონიაკი და ნახშირორჟანგი:



ურეაზას მოქმედების pH ოპტიუმში უდრის 7,0-ს. გამორკვეულია, რომ რაც უფრო მეტი რაოდენობით არის წარმოდგენილი შარდოვანა ხსნარში, მით უფრო ურეაზას მოქმედების ოპტიუმში იხრება მყავე არისაყენ.

მცენარეულ უჯრედში ურეაზას მოქმედება იმდენად ძლიერია, რომ შარდოვანას აღმოჩენა მხოლოდ სპეციალური მეთოდის დამუშავების შემდეგ გახდა შესაძლებელი. ამ მოვლენის მიზეზი იმაში მდგომარეობს, რომ როგორც კი არგინინისაგან შარდოვანა წარმოიშობა, ის ენერგიულად იშლება და ამიტომ შარდოვანას დაგროვებას მცენარის ორგანიზმში ადვილი არა აქვს. ირკვევა, რომ მცენარეულ ორგანიზმშიაც შარდოვანას წარმოშობას დიდი გავრცელება აქვს და მას აზოტის ცვლაში დიდი ფიზიოლოგიური მნიშვნელობა ენიჭება.

ასპარაგინაზა ასპარაგინიდან ამიდის ჯგუფს ათავისუფლებს. რეაქციის საბოლოო პროდუქტის სახით ამონიაკი წარმოიშობა და ასპარაგინის მყავე თავისუფლდება. ასპარაგინაზა აღმოჩენილია ჭაფურბებში და ობებში. დიდი გავრცელება უნდა ჰქონდეს მას აგრეთვე უმაღლეს მცენარეთა ორგანიზმშიც.

გლუტამინაზა გლუტამინზე სპეციფიკურად მოქმედებს და მისგან ამიდის ჯგუფს ამონიაკის სახით ათავისუფლებს. ამ ფერმენტს განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება ცხოველთა ორგანიზმში, სადაც ამონიაკის აცილება ძირითადად გლუტამინის მყავათი ხდება. ასხევეებენ ორგვარ გლუტამინაზას: ტვინის გლუტამინაზა, რომელიც აქტივდება ფოსფატით, და ლეიძლის გლუტამინაზა, რომელიც აქტივდება კეტო-მყავებით. უკანასკნელ შემთხვევაში გლუტამინი მონაწილეობას ღებულობს გადაამინირების პროცესში და ერთდროულად თავისუფლდება ამიდის ჯგუფი ამონიაკის სახით.

პურიინდეზამინაზები. მათი მოქმედება ემსგავსება ისეთ დეზამინირებას, რომელიც დეჰიდრირების გზით მიმდინარეობს; უკანასკნელისაგან იმით განსხვავდება, რომ ანაერობულ პირობებში წარმოებს.

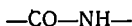
ცნობილია ორი პურიინდეზამინაზა: ადენინდეზამინაზა, რომელიც ადენინის დეზამინირებას ააქტივებს და გუანინდეზამინაზა, რომელიც გუანინზე მოქმედებს. მათ ნუკლეინის მყავების ცვლაში დიდი მნიშვნელობა აქვთ.

ამ დეზამინირების ფერმენტებისგან განსხვავდება ადენილის მყავას დეზამინაზა, რომელიც სპეციფიკურად მოქმედებს ადენილის მყავაზე და მისგან ათავისუფლებს ამონიაკს. განსაკუთრებული აქტივობით ამ მხრივ ხასიათდება კენთის ქაოვილი, სადაც ადენილის მყავას დეზამინაზა წარმოდგენილია ხსნადი და უხსნადი ფორმით. უხსნადი დეზამინაზა დაკავშირებულია მიოზინთან, რომლისგან განთავისუფლება მრავალჯერ გადაკრისტალბის შემდეგაც ვერ ხერხდება.

ამ დეზამინაზას რაციონალური სახელწოდება არის ადენოზინმონოფოსფატის დეზამინაზა. მისი შიფრია 3.5.4.6, საიდანაც გამომდინარეობს, რომ ფერმენტი ეკუთვნის მესამე კლასს, მოქმედებას იჩენს არა პეპტიდურ C—N-ბმებზე, არამედ ხაზობრივ ამიდებზე და არის მეექვსე წარმომადგენელი.

§ 18. პროტეაზები

პროტეაზების სახელწოდებით გაერთიანებულია ყველა ის ფერმენტი, რომელიც ააქტივებს ცილის პიროლიზურ თანმიმდევრობით დაშლას ამინომჟავათა სტადიამდე. ამ ფერმენტების საერთო დამახასიათებელ თვისებად უნდა ჩაითვალოს სპეციფიკური მოქმედება მჟავა-ამიდურ კავშირზე:



ცილის კატალიზური დაშლის რთულ პროცესში მრავალი ფერმენტი დებულობს მონაწილეობას. მათი ურთიერთგანსხვავება დამოკიდებულია იმ სუბსტრატის სტრუქტურის თვისებებზე, რომელზეც ფერმენტები მოქმედებენ.

საინტერესოა აღინიშნოს, რომ ყველა პროტეოლიზურ ფერმენტს ახალ კლასიფიკაციაში შერჩა ისტორიულად დამკვიდრებული სახელწოდებები, მათი რიგი იწყება 3.4.4.1-ით და დღეისათვის მთავრდება 3.4.4.25-ით, ე. ი. ცნობილია 25 სხვადასხვა პროტეაზა. შიფრის პირველი რიცხვი ნიშნავს, რომ პროტეაზები ეკუთვნიან მესამე კლასს, რომ მოქმედებენ პეპტიდურ ბმებზე და წარმოადგენენ პეპტიდილ-პეპტიდილპიროლაზებს.

ცილოვანი ნივთიერების ფერმენტული გარდაქმნა გამოიხატება გრძელი პოლიპეპტიდური ჯაჭვების შემოკლებაში. ამ პროცესს თან სდევს თავისუფალი ამინისა და კარბოქსილის ჯგუფების რიცხვის მატება. ამინისა და კარბოქსილის ჯგუფების განთავისუფლება ცილის მოლეკულაში შეიძლება დამოუკიდებლად წარმოებდეს ოთხი სხვადასხვა ტიპის ფერმენტის საშუალებით:

1) პეპსინი, კუჭის წვენი ფერმენტი, რომელიც ძლიერ მჟავე არეში იჩენს მოქმედების უნარს.

2) ენტეროკინაზათი გააქტივებული ტრიპსინი, რომელიც ტუბე არეში მოქმედებს.

3) ქიმოტრიპსინი, რომელიც თავისი მოქმედებით ტრიპსინს ემსგავსება.

4) კატეპსინი (პაპაინი), ცხოველთა და მცენარეული უჯრედის ფერმენტი, რომელიც უმეტეს შემთხვევაში ცილის იზოელექტრულ წერტილში მოქმედებს.

ცილის დაშლის შემდეგი ეტაპი გამოიხატება პოლიპეტიდაზების საშუალებით შემოკლებული პოლიპეტიდების დაშლაში. ასხვავებენ ორგვარ პოლიპეტიდაზებს:

1. კარბოქსი-პოლიპეტიდაზა, რომელიც მოქმედებს პოლიპეტიდის ჯაჭვის იმ ბოლოში, სადაც თავისუფალი კარბოქსილის ჯგუფია მოთავსებული.

2. ამინო-პოლიპეტიდაზა, რომელიც ჯაჭვზე თავისუფალი ამინის ჯგუფის დაბოლოების მხრიდან მოქმედებს.

პროტეოლიზის უქანასკნელ სტადიას წარმოადგენს პოლიპეტიდაზების მოქმედების შედეგად მიღებული დიპეტიდების დაშლა. ამ დაშლას ააქტივებს ე. წ. დიპეტიდაზები. დიპეტიდაზებზე მოქმედებას იჩენენ დიპეტიდაზუ,

თუ მის მოლეკულაში თავისუფალია როგორც ამინის, ისე კარბოქსილის ჯგუფი.

პეპსინი წარმოდგენილია მხოლოდ ცხოველების კუჭის წვეწვში, თუ მკვლევლობაში არ მივიღებთ იმ პეპსინისმაგვარ პროტეინაზას, რომელიც აღმოჩენილია მცენარე *Drosera*-ს ჭირკვლების მომწელებელ სეკრეტში. პეპსინი მიღებულია კრისტალური სახით. მისი მოლწონა 33 000 — 38 000 ფარგლებში მერყეობს. ეს ფერმენტი წარმოადგენს ცილას მკვეთრად გამოხატული მკაუური თვისებებით. მისი იზოელექტრული წერტილი უდრის $pH = 2,7$ -ს. პეპსინის მოლეკულაში დიდი რაოდენობით არის გლუტამინისა და ასპარაგინის მკავა და მკირე რაოდენობით — დიამინომკავეები. პეპსინის აქტიური ჯგუფი, რომლითაც ის სუბსტრატს ეკავშირებს, არის ტიროზინის ფენოლის ჯგუფი.

კუჭის ლორწოვანი გარსი შეიცავს პრეპეპსინს, რომელიც მარილის მკავას ზემოქმედებით გადადის აქტიურ პეპსინში. ეს გადასვლა დაკავშირებულია პრეპეპსინიდან პოლიპეტიდის ჩამოშორებასთან. როგორც ჩანს, ეს პოლიპეტიდი ფარავს პრეპეპსინში სარეაქციო ჯგუფებს. პეპსინი მოქმედებს უმთავრესად ცილის იმ პეპტიდურ კავშირზე, რომლითაც გლუტამინის ან ასპარაგინის მკავას კარბოქსილის ჯგუფი კავშირდება ამინოჯგუფთან. ამავე დროს აუცილებელ პირობას წარმოადგენს ის, რომ ამინოდიკარბონის მკავას მეორე კარბოქსილის ჯგუფი თავისუფალი იყოს. ცილაზე პეპსინის მოქმედების შედეგად წარმოიშობა ძირითადად პეპტონები და მკირე რაოდენობით პეპტიდები და ამინომკავეები.

ტრიპსინი იმყოფება კუჭის ქვედა ჭირკვალში პრეტრიპსინის სახით. პრეტრიპსინი შედგება ტრიპსინისა და პოლიპეტიდისაგან. პოლიპეტიდი ტრიპსინის ინიჰიბიტორია და ჩამოშორდება ნაწლავის წვეწვში არსებული ენტეროკინაზით. ტრიპსინის პრეპარატი მიღებულია კრისტალურ ფორმაში. იწარმოადგენს ცილას, რომლის მოლწონა 34 000 უდრის. ეს ფერმენტი მოქმედებს იმ პეპტიდურ ბმებზე, რომლითაც პოლიპეტიდურ ჯაჭვში არგინინისა და ლიზინის კარბოქსილის ჯგუფი კავშირდება. აუცილებელ პირობას წარმოადგენს დიამინომკავეებში მეორე ამინის ჯგუფის თავისუფალ მდგომარეობაში არსებობა.

ქიმოტრიპსინი არის კუჭის ქვედა ჭირკვალს მეორე პროტეოლიზური ფერმენტი. პანკრეასულ წვეწვში ის წარმოდგენილია არააქტიური პრეპროტრიპსინის სახით. აქტივდება ტრიპსინის ზემოქმედების შედეგად. ეს ფერმენტი შლის იმ პეპტიდურ კავშირს, რომელიც იქმნება ტიროზინის, ტრიპტოფანის, ფენილალანინის ანდა მეთიონინის კარბოქსილის ჯგუფებით. ქიმოტრიპსინი, ტრიპსინის მსგავსად უნარი აქვს იმოქმედოს პეპტონებზე და უშუალოდ ცილებზედაც. ჰიდროლიზური დაშლის საბოლოო პროდუქტების სახით წარმოიშობა პეპტიდები და თავისუფალი ამინომკავეები.

ამგვარად, მომწელებელი ტრაქტის ზემოთ ჩამოთვლილი ფერმენტების საშუალებით ცილის რთული მოლეკულა განიცდის დაშლას და საბოლოო პროდუქტის სახით წარმოიშობა პეპტიდები და ამინომკავეები. ამ ფერმენტების შემთხვევაში ჩვენ ასე თუ ისე ნათელი წარმოდგენა გვესახება სპეციფიკურობის შესახებ. რაც შეეხება უჯრედშიდა პროტეოლიზურ ფერმენტებს, რამდენიმე გამონაკლისის გარდა, საკითხი გაურკვეველი რჩება. შესაძლებელია, რომ უჯრედში ცილების დაშლა მიმდინარეობდეს არა პროტეოლიზური, არამედ ვალმტანი ფერმენტების (ტრანსფერაზების) საშუალებით.

კათექსინი და პაპაინი თავისი მოქმედებით ტრიპსინს უახლოვდება. ეს ფერმენტები მონაწილეობას ღებულობენ ცილის უჯრედშიდა ცვლაში. კათექსინი ცხოველური წარმოშობის ფერმენტია, ხოლო პაპაინი — მცენარეული. ნესვის ხის რძის წვენიდან მიღებული პაპაინის პრეპარატიდან დამზადებულია ფერმენტის კრისტალური ფორმა. მისი მოლეკულური წონა უდრის 20 000-ს. იმისდა მიხედვით, თუ რომელ ცილაზე მოქმედებს პაპაინი, pH ოპტიუმში დიდ ფარგლებში ცვალებადობს. პაპაინი, ისე როგორც კათექსინი, შეიცავს სულფჰიდრილის ჯგუფებს. ამიტომ ამ ფერმენტების ინაქტივირება ხდება ყველა იმ აგენტით, რომელიც სულფჰიდრილის ჯგუფებთან რეაგირებს.

ქიმოზინი წარმოადგენს იმ ფერმენტს, რომელიც იწვევს რძეში კაზეინოგენის შედგენას. კაზეინოგენის შედგენა დაკავშირებულია მის გარდაქმნასთან მეორე ცილად — კაზეინად, რომელიც დაკავშირდება რძის კალციუმთან და ქმნის კოაგულატს.

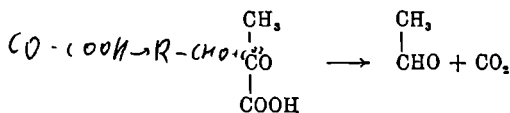
ზოს კუქიდან დამზადებულია ქიმოზინის კრისტალური ფორმა. მისი მოქმედების pH ოპტიუმში უდრის 6,2-ს და მისი ერთი წილი ადღებებს რძის 10⁷ წილს.

თრომბინი ფერმენტია, რომელიც აქტივებს სისხლის პლაზმის ცილის — ფიბრინოგენის შედგენას ფიბრინად. თრომბინი წარმოდგენილია სისხლში უმოქმედო პროთრომბინის სახით. პროთრომბინი გადადის მოქმედ თრომბინში თრომბოკინაზის ზეგავლენით. იგი ათული ცილების — გლუკოპროტეინების ჯგუფს ეკუთვნის, ხოლო თრომბოკინაზა ლიპოპროტეიდს წარმოადგენს და შეიცავს ფოსფოლიპიდს. ფიბრინი, რომელიც თრომბინის ზემოქმედების შედეგად მიიღება ფიბრინოგენისაგან, უხსნად ფორმაში გადადის კალციუმთან დაკავშირების გამო. თუ სისხლს წინასწარ დაემატა კალციუმის დამლექველი (ოქსალატი, ციტრატი), ფიბრინი ხსნად მდგომარეობაში რჩება. თრომბინის, როგორც ფერმენტის, თავისებურება იმაში გამოიხატება, რომ დიალიზის შემდეგ 100°-ზე გაცხელებისას აქტივობას ინარჩუნებს.

§ 19. ლიზაზები

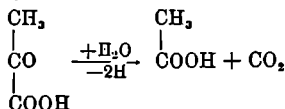
ამ ჯგუფის ფერმენტები აქტივებენ სუბსტრატიდან წყლის, ამონიაკის, ნახშირორჟანგის ჩამოშორებასა და შეერთებას. დიდი მნიშვნელობა ენიჭებათ მათ ნივთიერებათა უჯრედშიდა ცვლაში. მიუხედავად მათი სახელწოდებისა ამ ჯგუფის უმეტეს წარმომადგენელს კარგად გამოხატული სინთეზის უნარი აქვს.

დეკარბოქსილაზები წარმოადგენენ ფერმენტებს, რომლებიც აქტივებენ ნახშირორჟანგის ჩამოშორებას კეტო-მეცხევიდან და ამინო-მეცხევიდან. ისინი სპეციფიკურობას იჩენენ სუბსტრატის მიმართ. არც ერთი კარბოქსილაზას კრისტალური ფორმა ჯერჯერობით მიღებული არ არის. კარბოქსილაზას მოქმედება პირველად შესწავლილი იყო საფუარებში. აქ ის აქტივებს პიროყურძნის დეკარბოქსილირებას, რის შედეგად მიიღება აცეტალდეჰიდი:



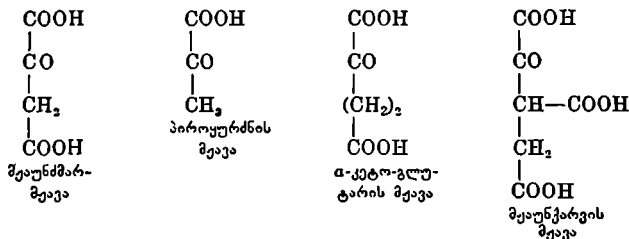
ზემოთ მოტანილი დეკარბოქსილირების რეაქცია არაუკუქცევადია. დეკარბოქსილაზას კოენზიმი არის დიფოსფოთიამინი (დიფოსფო-ვიტამინი B₁). ეს ფერმენტი გავრცელებულია მხოლოდ მიკრობებში და მცენარეულ ორგანიზმებში.

პიროყურძნის მჟავას დეკარბოქსილირება ცხოველთა წარმოშობის უჯრედში მიმდინარეობს აერობულ პირობებში და ცნობილია აერობული დეკარბოქსილირების სახელწოდებით.



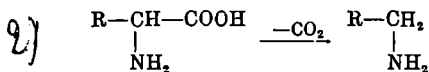
საფუერის დეკარბოქსილაზას ცხოველური დეკარბოქსილაზა ემსგავსება იმით, რომ ორივე შემთხვევაში ფერმენტის პროსტეტიული ჯგუფი არის პიროფოსფოთიამინი. პიროყურძნის მჟავას ჟანგვითი დეკარბოქსილირება მიმდინარეობს მხოლოდ მაგნიუმის იონების თანდასწრებისას.

ძალიან გავრცელებულ ფერმენტებს წარმოადგენენ β-დეკარბოქსილაზები, რომლებიც აქტივებენ მჟაუნძმარმჟავას და კეტო-გლუტარის მჟავას დეკარბოქსილირებას. ეს რეაქციები განსაკუთრებულ ყურადღებას იპყრობენ, რადგან გარკვეულ პირობებში უკუქცევით მიმდინარეობენ.



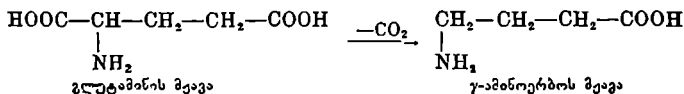
ამინომჟავათა დეკარბოქსილირება უფრო მიკრობებისა და მცენარეთათვის არის დამახასიათებელი. ცხოველთა ორგანიზმში აღმოჩენილია მხოლოდ რამდენიმე შემთხვევა და მათი მოქმედების მოცულობა შედარებით დიდია ტვინში.

მიკრობების მთელ რიგს შეუძლია გარდაქმნას ამინომჟავა დეკარბოქსილირების გზით, რის შედეგად წარმოიშობა ამინები.

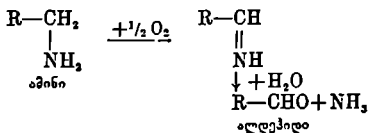


ზემოთ მოყვანილი სქემის მიხედვით იქმნება: თირამინი, ჰისტამინი, პუტრესცინი, კადავერინი და სხვა ამინები.

ცხოველთა ორგანიზმში შედარებით მეტი ინტენსივობით მიმდინარეობს გლუტამინის მჟავას დეკარბოქსილირება თავის ტვინში, რის შედეგად იქმნება γ-ამინოერბოს მჟავა. გლუტამინის მჟავას დეკარბოქსილაზას კოენზიმის როლს პირიდოქსალფოსფატი ასრულებს.

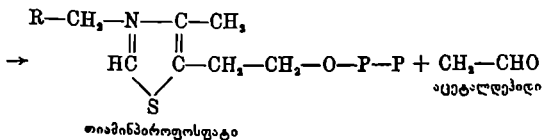
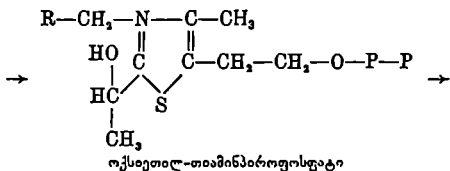
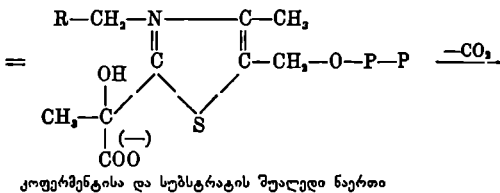
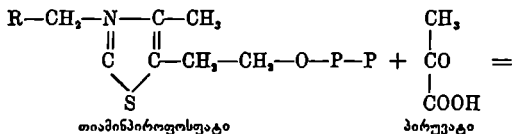


გლუტამინის შეავას გარდა ცხოველთა ორგანიზმში მცირე მოცულობით დეკარბოქსილირებას განიცდის 5-ოქსიტრიფტოფანი, ჰისტიდინი, ცისტეინის შეავა და დოფა (3,4-დიოქსიფენილალანინი). ამინები ცხოველთა ორგანიზმში ექანება ამინოქსიდაზების მოქმედებით და წარმოიშობა ალდეჰიდები:

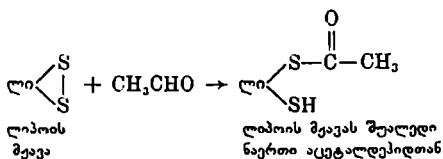


ცისტეინის შეავას დეკარბოქსილირება იძლევა ტაურინს, რომლის ბიოლოგიური როლი ჯერ გაურკვეველი რჩება. ამინოშეავათა დეკარბოქსილაზების კონზიმს პირიდოქსალფოსფატი წარმოადგენს.

ქანვეითი დეკარბოქსილირების რეაქციაში მონაწილეობას დებულობენ: პიროფოსფოთიამინი, კონზიმი A, ნად-ი და მაგნიუმის იონები. დეკარბოქსილირების პირველ ეტაპზე კეტომეავა უკავშირდება პიროფოსფოთიამინის და წარმოიშობა შუალედი პროდუქტი, სადაც დეკარბოქსილაზა ააქტივებს ნახშირორქანგის ჩამოშორებას Mg^{2+} თანდასწრების პირობებში.

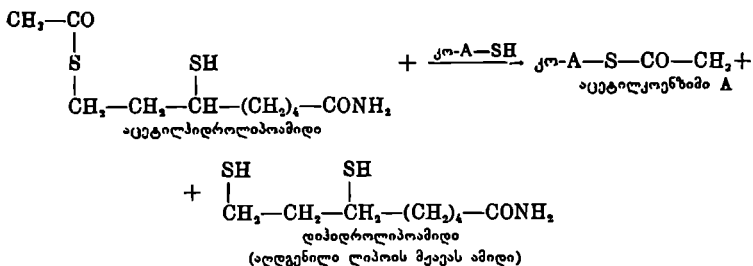


რეაქციის მეორე ეტაპზე აცეტალდეჰიდი კავშირდება ლიპოს მჟავასთან. ეს რეაქცია ენჯევა-აღდგენასთან არის დაკავშირებული: ლიპოს მჟავა ასრულს წყალბადის აქცეპტორის როლს.



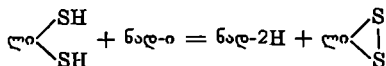
ლიპოს მჟავა გოგირდის შემცველი კოფერმენტია. ის რეაქციაში მონაწილეობას ღებულობს ამილის სახით (ლიპოამიდი) და იერთებს იმ ნაერთს, რომელიც ლიპოს მჟავასთან დაკავშირების შედეგად იქანგება, ხოლო ლიპოს მჟავა აღდგება:

პირველ სტადიაზე ლიპოს მჟავასა და აცეტილალდეჰიდის შუალედი ნაერთი რეაგირებს კო-A-თან და გადასცემს მას აცილის ნაშთს. იქმნება ნაერთი, სადაც აცილის ნაშთს ენიჭება ქიმიური ძვრადობის დიდი უნარი. ამ გაცვლითი რეაქციის აქტივატორი არის ფერმენტი ლიპოამიდ-აცეტილტრანსფერაზა (აცილ-კო-A: დიჰიდროლიზოამიდ-S-აცეტილტრანსფერაზა 2.3.1.12);



შემდეგ ფაზაში აცეტილ კო-A რეაგირებს ან წყალთან აცეტატის განთავისუფლებით, ანდა აცეტილის ნაშთი გადაიტანება რომელიმე ნაერთზე აცეტილ-კო A-ს ტრანსფერაზას კატალიზური მოქმედებით.

აღდგენილი ლიპოს მჟავას ამილის დეჰიდრირება წარმოებს ნად-ის საშუალებით.

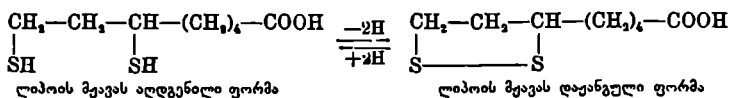


ლიპოამიდის დაქანგვას ააქტივებს ფერმენტი ლიპოამიდ-დეჰიდროგენაზა, რომელიც ფლავოპროტეიდს წარმოადგენს (ნად-ლიპოამიდ: ოქსიდორედუქტაზა 1.6.4.3).

პიროუყურძნის მჟავას ენჯევითი დეკარბოქსილირების შედეგად წარმოიშობა აღდგენილი ნად-2H და აცეტილ კო-A. უქანასენელ ნაერთში აცეტილის ბმის ენერგია უდრის ან შესაძლებელია მეტიც იყოს ატფ-ის ფოსფატის ბმის ენერგიაზე. ამის გამო აცეტილის ნაშთი კო-A-ში ადვილად შედის ტრანს-ციტილირების რეაქციებში.

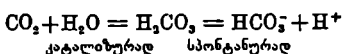
პრის მჟავა პირველად აღმოჩენილი იყო მიკრობებში. შემდეგში გამოირკვა, რომ მას საყოველთაო გავრცელება აქვს.

ცნობილია ლიპოის მჟავას რამდენიმე ფორმა. მათგან მეტი გავრცელება და მნიშვნელობა აქვს α-ლიპოის მჟავას, რომელიც 6,8-დითიოოქტანის მჟავას წარმოადგენს. გლუტათიონის მსგავსად ლიპოის მჟავა თავისი სულფჰიდრილის ჯგუფის საშუალებით მონაწილეობასღებულობს ეანგვა-აღდგენით რეაქციებში როგორც წყალბადის გადამტანი:



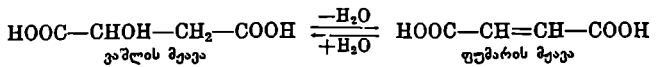
ყურადღებას იპყრობს ლიპოის მჟავას მონაწილეობა ფოტოსინთეზის პროცესში. როგორც ირკვევა, ლიპოის მჟავა უნდა რეაგირებდეს ქლოროფილთან როგორც ეანგვა-აღდგენითი სისტემა.

კარბონატიდრაზა შეიძლება წარმოვიდგინოთ როგორც ფერმენტი, რომელიც ააქტივებს ნახშირორჟანგის ჩამოშორებას და მის წყლის მოლეკულაში შეყვანას. ეს ფერმენტი წარმოდგენილია ერთროციტებში. შედარებით ნაკლები რაოდენობით ვპოულობთ მას სხვა ცხოველურსა და მცენარეულ ქსოვილებში. ფერმენტის სუფთა პრეპარატი დამზადებულია ერთროციტებისაგან და შეიცავს ცინკს.



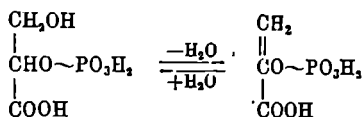
კარბონატიდრაზას დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ფილტვების კაპილარებში, სადაც ერთროციტები კატალიზურად ათავისუფლებენ ნახშირორჟანგს. ეს პროცესი დაკავშირებულია იონთა გადანაწილებასთან პლაზმასა და ერთროციტებს შორის. ერთროციტებში ოქსიჰემოგლობინი მოქმედებს ბიკარბონატზე და თავისუფლდება ნახშირის მჟავა. როგორც კი ბიკარბონატის კონცენტრაცია ერთროციტში კლებულობს, პლაზმიდან ხელახლა შემოდის ბიკარბონატის ანიონი. ერთდროულად ერთროციტიდან გადის ქლორიონის ეკვივალენტური რაოდენობა. ნახშირის მჟავა, რომელიც იქმნება ოქსიჰემოგლობინის შემოქმედების შედეგად ბიკარბონატზე, მაშინვე თავისუფლდება კარბონატიდრაზას ზემოქმედებით ნახშირორჟანგის სახით.

ფუმარატ-ჰიდრატაზა ააქტივებს წყლის შეერთებასა და ჩამოცობას სისტემაში: ვაშლის მჟავა — ფუმარის მჟავა



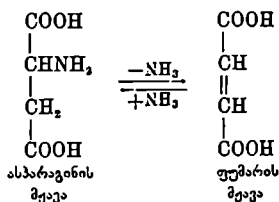
ფუმარატ-ჰიდრატაზა ყველა ორგანიზმში გავრცელებულ ფერმენტს წარმოადგენს. მას დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ნახშირწყლების უჯრედშიდაცვლაში.

ფოსფორიკატიდრაზა (ენოლაზა) წარმოადგენს ფერმენტს, რომელიც 2-ფოსფოგლიცერინის მჟავას უკუქცევით გარდაქმნის ფოსფოენოლპიროყურძნის მჟავად:

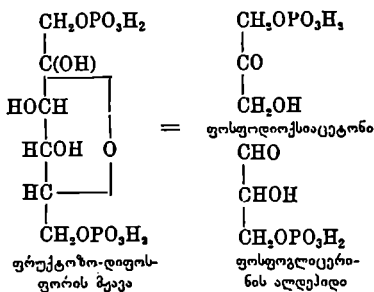


ეს ორი ფოსფორის ესთერი მაკროერგულ წაერთა ჯგუფს ეკუთვნის. ფერმენტი მოქმედების უნარს იჩენს მხოლოდ მაგნიუმის თანდასწრებისას. დამზადებულია ის სუფთა პრეპარატის სახით. რადგან ის მაგნიუმს შეიცავს, ამიტომ დიდ მგრძნობიარობას იჩენს ფლუორის იონისადმი. ეს იმიტომ, რომ ფოსფატის თანდასწრებით მაგნიუმი ილექება მაგნიუმფლუორფოსფატის სახით. ფერმენტის შიფრია 4.2.1.11.

ასპარტატ-ამონიაკ-ლიაზა (ასპარტაზა) გავრცელებულია მხოლოდ მცენარეებში და ბაქტერიებში. ის ააქტივებს ამონიაკის ნაშთის ჩამოშორებას და შეერთებას სისტემაში: ასპარაგინის მკეა და ფუმარის მკეა.



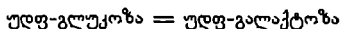
კეტოზო-1-ფოსფატ-ალდოლაზა (4.1.2.7) გავრცელებულია ყველა ორგანიზმში. ის ააქტივებს ფრუქტოზო-დიფოსფატის დაშლასა და სინთეზს.



ფერმენტი სპეციფიკურობას იჩენს მხოლოდ ფოსფოლიციკონის მიმართ. ამიტომ მას შეუძლია აწარმოოს კონდენსაციის რეაქცია ყოველგვარ ალდეჰიდთან. ალდოლაზური აქტივობა კუნთოვან ქსოვილში ახასიათებს ცილა მთავრს.

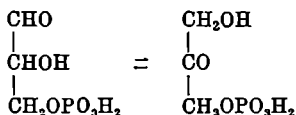
მცენარეულ ორგანიზმში ალდოლაზას დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ფოტოსინთეზში, როდესაც ორი ფოსფორიზიდან იქმნება ფრუქტოზოდიფოსფატი. ეს ფერმენტი მიღებულია კრისტალური სახით.

ამ ჯგუფს ეკუთვნის ფერმენტები, რომლებიც ააქტივებენ მოლეკულის შიგნითა გარდაქმნებს. გარდაქმნა დაკავშირებულია რაცემიზაციასთან, ეპიმეროზაციასთან, იზომერიზაციასთან, მოლეკულის შიგნითა ეანგვა-აღდგენასთან და მოლეკულის შიგნით ჯგუფების გადატანასთან. რაცემიზაციის მაგალითს წარმოადგენს ალანინის L-ფორმის უკუქცევადი ფერმენტული გარდაქმნა D-ფორმად. უღფ-გლუკოზო-ეპიმერაზა (5.1.3.2) ააქტივებს ურიდონდინუკლეოტიდთან დაკავშირებულ გლუკოზის (უღფ-გლუკოზის) გარდაქმნას გალაქტოზად:



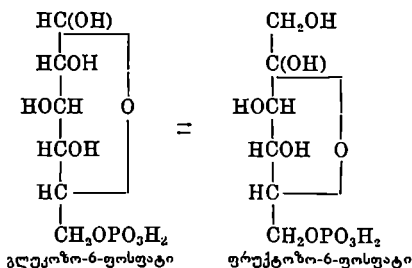
საფუერის უნარი, დაადულოს გალაქტოზა გაპირობებულია ამ ეპიმერაზის არსებობით.

იზომერაზები მონაწილეობას ღებულობენ ნახშირწყლების უჯრედშიდა ცვლაში. ფოსფოტრიოზების იზომერაზა ააქტივებს 3-ფოსფოგლიცერონის აღდებიდის უკუქცევად გარდაქმნას ფოსფოდიოქსიაცეტონად:



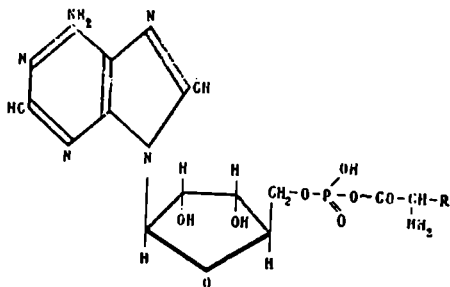
ამ ორი ფოსფოტრიოზას ურთიერთდამოკიდებულება იმით არის ღირსშესანიშნავი, რომ ერთ-ერთის არსებობა ფერმენტულ ხსნარში თავისთავად გულისხმობს მეორეს შექმნის შესაძლებლობას და განსაზღვრულ პირობებში მათი კონცენტრაცია დამოკიდებულია წონასწორობის კონსტანტაზე.

გლუკოზოფოსფატიზომერაზას საშუალებით წარმოებს გლუკოზო-6-მონოფოსფატის უკუქცევადი გარდაქმნა ფრუქტოფურანოზო-6-მონოფოსფატად:



ფერმენტულ ხსნარში წონასწორობა მყარდება, როდესაც გლუკოზო-6-ფოსფატის შეფარდება ფრუქტოზო-6-ფოსფატთან 3:1 უდრის.

აკონიტატ-კიდრატაზა (აკონიტაზა) ააქტივებს ღიმონისა და იზოღიმონის მქავას ურთიერთგარდაქმნას, შუალედი ნაერთის სახით წარმოიშობა აკონიტის მქავა.

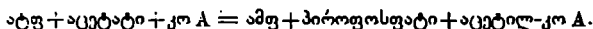


ამინოცილადენილატი

საყურადღებოა, რომ ამინომჟავას კარბოქსილის ჭგუფი ანჰიდრიდის ბმით კავშირდება ნუკლეოტიდის ფოსფატის ნაშთთან.

რეაქციის მეორე ეტაპზე აქტივირებული ამინომჟავა კავშირდება ტ-რნმ-თან და უკანასკნელის საშუალებით გადაიტანება რიბოსომებზე მყოფ ი-რნმ-ზე, რომელზედაც წარმოებს ცილის სინთეზი.

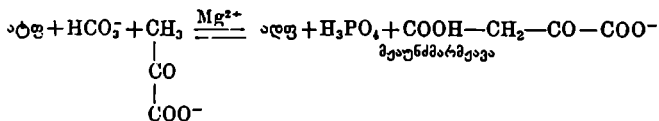
ლიგაზების ქვეკლასის — C=S წარმომადგენელი არის აცეტილ-კო A-სინთეტაზა (6.2.1.1), რომელიც ააქტივებს ძალიან მნიშვნელოვან რეაქციას:



აცეტილ-კო A-სინთეტაზა მიღებულია კრისტალური სახით. მისი სისტემატური სახელწოდება არის აცეტატ-კო A-ლიგაზა (ამფ).

ასპარაგინ- და გლუტამინ-სინთეტაზა ეკუთვნიან იმ ლიგაზების ქვეკლასს, რომელნიც ააქტივებენ ამონიაკის ნაშთის ჩანაცვლებას შესატყვის ა-კეტო-დიკარბონის მჟავებში (შიფრი 6.3.1.1 და 6.3.1.2).

ლიგაზების უკანასკნელ ქვეკლასში გაერთიანებულია ფერმენტები, რომელნიც ააქტივებენ ნახშირორჟანგის ჩანაცვლებას ორგანულ მჟავებში. ამ ფერმენტების წარმომადგენელი არის პირუვატ-კარბოქსილაზა (6.4.1.1), სისტემატური სახელწოდებით პირუვატ-CO₂-ლიგაზა (აღფ). ეს ლიგაზა კატალიზურად მოქმედებს რეაქციაში:



ფერმენტის მოქმედებისათვის საჭიროა მკაუნუმის იონები. კოფერმენტის როლს ასრულებს ვიტამინი ბიოტინი.

თ ა ვ ი მ ე ც ა მ ე ტ ი

ვიტამინები

§ 1. ცნება ვიტამინებზე და მათი კლასიფიკაცია

გასული საუკუნის მეორე ნახევარში ფიქრობდნენ, რომ ცხოველთა ორგანიზმის რაციონალური კვებისათვის საკმარისია ცილების, ცხიმების, ნახშირწყლებისა და მინერალური ნაერთების განსაზღვრული რაოდენობა. ცხოველთა ორგანიზმის მოთხოვნილებების დაკმაყოფილება გამოითვლებოდა ენერგეტიკული თვალსაზრისით.

შემდეგში დამტკიცდა, რომ ორგანიზმის დაკმაყოფილება მხოლოდ ზემოხსენებული ნაერთებით შეუძლებელია. გაირკვა, რომ ცხოველის ორგანიზმის ნორმალური ფუნქციონირებისათვის საჭიროა კიდევ დამატებით განსაკუთრებული ნივთიერებები. მიუხედავად იმისა, რომ ეს ნივთიერებანი ენერგეტიკული თვალსაზრისით შესაძლებელია არავითარ როლს არ ასრულებენ, მათ დიდი მნიშვნელობა აქვთ ორგანიზმში მიმდინარე ნივთიერებათა ცვლის ნორმალური მსვლელობისათვის. მათი უქონლობა საკვებ რაციონში იწვევს ორგანიზმის დაავადებას და ხშირად სიკვდილს. იმ ნივთიერებებს, რომელთა დამატება აუცილებელია რაციონის სრული საკვები ღირებულების მიღებისათვის, ეწოდა ვიტამინები, ხოლო დაავადებებს, რომლებსაც იწვევდა ვიტამინების უქონლობა—ავიტამინოზი.

ე ი კ მ ა ნ ი პირველი მკვლევარი იყო, რომელმაც ექსპერიმენტულად დამტკიცა, რომ ბერი-ბერი არის არარაციონალური კვების შედეგი. მან დააყენა ცდები ქათამებზე და გამოარკვია, რომ ის ფრინველი განიცდიდა დაავადებას, რომელიც იკვებებოდა თეთრი ბრინჯით. ფრინველის დაავადება ბერი-ბერით ხდებოდა ყველა იმ ზორბლით, რომელსაც წინააწარ გარსი ჩამოშორებული ჰქონდა. პირიქით, ფრინველის კვებისას გაუცხეველი ბრინჯით, კვავით, კარტოფილით, ლუდის საფუარებითა და ქერით დაავადება შემჩნეული არ ყოფილა.

ფ უ ნ კ ი გამოდიოდა ზემოხსენებული მონაცემებიდან, როდესაც მან 1912 წელს ბრინჯის ქატოდან გამოჰყო აქტიური ნივთიერება, რომლის 4—8 მგ-ს უნარი ჰქონდა ბერი-ბერით დაავადებული მტრედი განეკუთრნა. მანვე შემოიღო ახალი ტერმინი „ვიტამინი“ და გამოთქვა ჰიპოთეზა საკვებში რამდენიმე ვიტამინის არსებობის შესახებ. ვიტამინების უქონლობას ის აწერდა ისეთ დაავადებათა წარმოშობას, როგორც არის სკორბუტი, ბერი-ბერი და სხვ. მიუხედავად იმისა, რომ ფ უ ნ კ ი ს შეხედულება ვიტამინებზე, როგორც ამინების თვისებების მქონე ნაერთებზე, არ გამართლდა, ვიტამინების სახელწოდება უცვლელი დარჩა და ყველას მიერ იქნა მიღებული. ვიტამინების შექმნის უნარი ცხო-

ველის ორგანიზმს არა აქვს. ამიტომ მის რაციონალურ კვებას დიდი მნიშვნელობა ენიჭება. ვიტამინოზი არის ნივთიერებათა ცვლის ნორმალური მსვლელობის აღრევის შედეგი. ეს აღრევა იმით არის გამოწვეული, რომ ვიტამინები მონაწილეობას ღებულობენ რიგი ფერმენტების შენებაში. ვარდა ამისა, ზოგიერთი მათგანი დამოუკიდებლად მონაწილეობს ისეთ ბიოქიმიურ გარდაქმნებში. სადაც მათი შეცვლა სხვა ნაერთით ვერ ხერხდება. ასეთი დამოკიდებულება ვიტამინების მიმართ ცხოველთა ორგანიზმების გარდა აღმოჩენილია დაბალ საფეხურზე მდგომ ორგანიზმებშიაც.

ვიტამინების ქიმიური კლასიფიკაცია ვერ ხერხდება, რადგან ამ ჯგუფში გაერთიანებულია სხვადასხვა ქიმიური ნაერთი. საერთოა მათთვის ფიზიოლოგიური მოქმედება: საკვებში მათი უქონლობა სპეციფიკურ დაავადებას იწვევს. წინათ, როდესაც ქიმიური შენება ცნობილი არ იყო, ვიტამინებს ერთიმეორესაგან მხოლოდ იმით ასხვავებდნენ, თუ რომელ დაავადებას იწვევდა ამა თუ იმ ვიტამინის უქონლობა. დღეისათვის ცნობილია სამი ათეული ვიტამინის ქიმიური შენება. ხსნადობის მიხედვით ვიტამინები ორ ჯგუფად იყოფა: ლიპოხსნადი და წყალში ხსნადი ვიტამინები. რადგან ყოველი ახალი ვიტამინის ქიმიური შენება დიდხანს გაურკვეველი რჩებოდა, ამიტომ ისინი აღინიშნებოდა ლათინური ალფაბეტის ასოებით. რაციონალური სახელწოდების გარდა ვიტამინებს ალფაბეტური ძველი სახელწოდებაც შერჩათ.

§ 2. ვიტამინი A

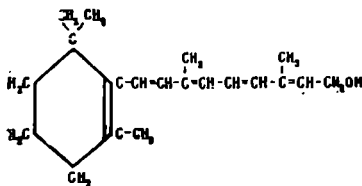
A ვიტამინის უქონლობა იწვევს მოზარდი ცხოველების ზრდის შეჩერებას და აგრეთვე ცოცხალი წონის დაკლებას. ზრდა ცხოველს უახლდება, თუ რაციონში შეტანილ იქნა ვიტამინი A. ამის გამო ვიტამინი A ცნობილია როგორც „ზრდის ფაქტორი“; ზრდის შეჩერებასთან ერთად ვითარდება თვალის სპეციფიკური დაავადება, რომელიც ცნობილია ქსეროფტალმიისა და კერატომალაციის (ჩქოვანი გარსის გარბილება) სახელით. ქსეროფტალმია და კერატომალაცია წარმოადგენენ A ვიტამინის უქონლობის სპეციფიკურ მაჩვენებელს. ამის გამო ვიტამინი A ცნობილია აგრეთვე როგორც „ანტიქსეროფტალმიური ფაქტორი“. გარდა თვალისა ვიტამინი A-ს უქონლობა იწვევს სხვა ორგანოების ებითელალური ქსოვილების დეგრადაციას, მაგალითად, თირკმლების, საშარდე ბუშტის, საშოს, საკვერცხეების, ნაწლავებისა და ჰხვა.

ქ ი მ ი უ რ ი ბ უ ნ ე ბ ა. გამორკვეული იყო, რომ ვირთაგვების გასუფთავებული ნაერთებით კვებისას ადგილი ჰქონდა თვალის გარსის დაავადებას (ქსეროფტალმიას). თევზის ზეთის რამდენიმე წვეთი იწვევდა ცხოველების სწრაფ განკურნებას. აქედან გამომდინარე იქნა დასკვნა, რომ თევზის ზეთი შეიცავს ანტიქსეროფტალმიური ფაქტორის დიდ რაოდენობას.

აღმოჩნდა აგრეთვე, რომ აქტიური საწყისი წარმოდგენილია თევზის ზეთის გაუსაბნავ ნაწილში. ეს ნაწილი შეადგენს ცხიმის მხოლოდ 1%-ს. მისი ქოლესტეროლისაგან დიგიტონინის საშუალებით გაწმენდისას და გამოხდისას მაღალ ეპიუზში 147°—220°-ზე შესაძლებელი გახდა უფრო აქტიური პრეპარატების დამზადება.

შემდეგში დამტკიცდა, რომ β-კაროტინს აქვს ვიტამინური მოქმედების უნარი და ის პროვიტამინს წარმოადგენს. ამ გარემოებამ თავის მხრივ გააადვილა A ვიტამინის ქიმიური შენების გამორკვევა. ისე როგორც β-კაროტინი, ვიტამინი A ოზონირებისას იძლევა გერონის მჟავას, და ქრომის მჟავას დაჟან-

გვისას — ძმრის მევენს სემ მოლეკულას. აღმოჩნდა, რომ A ვიტამინის მოლეკულაში 5 არანაჭერი კავშირი და ერთი პირველადი სპირტის ჯგუფია.

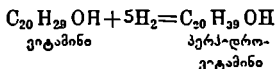


ვიტამინი A

მიღებული მონაცემების საშუალებით კარგა გამოარკვია, რომ ვიტამინი A წარმოადგენს კაროტინის იმგვარი დაშლის პროდუქტს, რომლის დროს β-კაროტინის ერთი მოლეკულა იძლევა A ვიტამინის ორ მოლეკულას.

ვიტამინი A წარმოადგენს მოყვითალო ფერის ზეთს. ის არანაჭერი პირველადი სპირტია, რომლის შენებაში მონაწილეობას ღებულობს β-იონონის რგოლი. როგორც უკვე აღნიშნული იყო, ვიტამინი A შეიძლება წარმოიშვას იმ ყვითელი პიგმენტებისაგან, რომელთა შენებაში აგრეთვე β-იონონი იღებს მონაწილეობას. გამოარკვეულია, თუ რატომაა A ვიტამინის სპეციფიკური მოქმედება ორგანიზმში დამოკიდებული β-იონონის რგოლზე. გვერდით არანაჭერი ღია ჯაქვს ამ შემთხვევაში დიდი როლი არ ეკუთვნის.

A ვიტამინის სტრუქტურის სისწორე მტკიცდება იმით, რომ კარგა სინთეზურად დამზადდა პერპიდროვიტამინი A, რომლის თვისებები სრულიად ემსგავსება პიდრიტებულ ბუნებრივ A ვიტამინის თვისებებს.



A ვიტამინის ზემოთ მოცანილი ქიმიური სტრუქტურის დამამტკიცებელ საბუთს წარმოადგენს სინთეზური ვიტამინი A. ამ პროდუქტს ახასიათებს ბუნებრივი ვიტამინის ყველა თვისება. საინტერესოა აღინიშნოს A ვიტამინის პრეპარატების მოქმედების სიძლიერე. კუნის მიერ დამზადებული β-კაროტინის 2,5 გამა (1 გამა = 0,001 მილიგრამს) საკმარისია, რათა აცილებულ იქნეს ვირთავის ავიტამინოზი.

ვიტამინი A წარმოადგენს ლაბილურ ნაერთს, რომელიც პერზე ადვილად იჟანგება და უმოქმედო პროდუქტს იძლევა. განსაკუთრებით მგრძობიარეა ის ულტრაიისფერი სხივების მიმართ. β-კაროტინისა და A ვიტამინის გამძლეობა საგრძობლად მატულობს ბუნებრივ არებში. უკეთეს გამსწნელად ითვლება მცენარეული ზეთები. ვიტამინი A ოპტიკურად უმოქმედოა. ქლოროფორმის ხსნარში მისი შთანქმის მაქსიმუმი უდრის 328 მკ, ტრიქლორმრის მევენს-თან ლურჯად იღებება 572 და 606 მკ შთანქმის მაქსიმუმით, დაუშლელად გამოიხატება მაღალ ვაკუუმში 136°–138° ტემპერატურაზე.

A ვიტამინის სტანდარტად მიღებულია β-კაროტინის ის რაოდენობა, რომელიც ვირთავის ორგანიზმს იკავს ქსეროფტალმიით დაავადებისაგან. ეს ერთეული უდრის β-კაროტინის 0.6 გამას.

A ვიტამინის გაკრცელება. მოზრდილი ადამიანისათვის A ვიტამინის ყოველდღიური მინიმალური დოზა უდრის დაახლოებით 0,25 მგ-ს, ოპტიმალური კი — 1,5 მგ-ს. ღორისათვის ეს მოთხოვნილება უდრის 4 მგ-ს, ხოლო კვერცხისმდებელი დედლისათვის — 0,5 მგ-ს.

ცხოველთა ორგანიზმში უმეტეს შემთხვევაში წარმოდგენილია როგორც A ვიტამინი, ისე β-კაროტინი. მარაგის სახით კაროტინა და A ვიტამინი ინახება ღვიძლში (კაროტინების თითქმის 90%). განსაკუთრებით მდიდარია ამ მხრივ ზოგადი თევზის ღვიძლის ცხიმი. β-კაროტინის (კერძოდ A ვიტამინის) რაოდენობა ცხოველის ორგანიზმში უშუალოდ დამოკიდებულია საკვებ მასალაზე.

დიდ ინტერესს იწვევს ის ფაქტი, რომ ვიტამინი A და მისი გარდაქმნის პროდუქტები თვალის ბალურაში დიდი რაოდენობით მოიპოვება, მას თვალის მხედველობით ფუნქციაში დიდი როლი ეკუთვნის.

გამორკვეულია, რომ მხედველობის ძოწი წარმოადგენს ცილა ოპსინის ნაერთს ვიტამინ A-ს აღდებიდურ ნაწარმთან. სინათლეზე ძოწი იშლება რეტინენად (ვიტამინი A-ს აღდებიდად) და ოპსინად. რეტინენი სინათლის უფრო ხანგრძლივი მოქმედებისას აღდგება ვიტამინ A-დ. ამგვარად ბალურაში, რომელიც სინათლეზე ადაპტირებული იყო, ადგილი აქვს მხედველობის ძოწის დაშლას და ვიტამინი A-ს განთავისუფლებას.

ცხოველთა პროდუქტებისაგან ვიტამინი A და β-კაროტინის შემადგენლობის მხრივ ყველაზე მნიშვნელოვანია რძე. ზაფხულის რძის ცხიმის ერთი გრამი შეიცავს β-კაროტინის 10 მკგ-ს. სხვადასხვა თევზის ღვიძლის ცხიმი შეიცავს 5000—25000 მკგ კაროტინს.

მცენარულ პროდუქტებში ვიტამინი A ნაპოვნი არ არის. აქ გვხვდება კაროტინები და სხვა პიგმენტები, რომელთა გარდაქმნისას ცხოველი ამზადებს A ვიტამინს. საზოგადოდ ცნობილია, რომ ახალ მწვანეულობაში β-კაროტინი მეტია. თივაში მისი რაოდენობა საგრძნობლად კლებულობს. ხილში, ძირნაყოფებში (სტაფილოს გარდა) β-კაროტინის რაოდენობა შედარებით მცირეა.

§ 8. ვიტამინი D

D ვიტამინის უქონლობა მოზარდ ცხოველებში რაქიტს იწვევს. რაქიტის დაავადების შედეგად ძვლოვანი ქსოვილის შემადგენლობა საგრძნობლად იცვლება. წყალი, მაგნიუმი, ქლორი მატულობს, ხოლო ფოსფორი და კალციუმი კლებულობს. ძვლების ქიმიური შემადგენლობის ცვლილება იწვევს ქსოვილის პისტოლოგიური შენების ცვლილებებსაც; მისი მექანიკური გამძლეობა მცირდება და ის ადვილად იგრიხება.

როგორც კლინიკური დაკვირვებებიდან ჩანს, რაქიტის განკურნება შესაძლებელია ან ისეთი საკვების საშუალებით, რომელშიც მოიპოვება ვიტამინი D, ან ცხოველის ისეთ პირობებში ჩაყენებით, რომლის დროს მას D ვიტამინის სინთეზის უნარი ენიჭება. უკანასკნელ შემთხვევაში ცხოველი ულტრაიისფერი სხივების ზედა გაშუქდეს. მზის ან ხელოვნურად მიღებული ულტრაიისფერი სხივების ზეგავლენით ორგანიზმში არსებული პროვიტამინი გარდაიქმნება D ვიტამინად და ის მოქმედებას იჩენს საკვებიდან მიღებული ვიტამინის მსგავსად. ვინაიდან პროვიტამინის მარაგი ორგანიზმში უსაზღვრო არ არის, ამისათვის ორგანიზმს უნდა მიეწოდოს ის მასალა, საიდანაც მას D ვიტამინის სინთეზი შეუძლია. პროვიტამინის აქტივაციით, რომელიც მზის სხივების ზეგავლენით წარმოებს, აიხსნება ზამთრის რძესთან შედარებით ზაფხულის რძის უპირატე-

სობა ვიტამინის შემადგენლობის მხრივ. პროვიტამინი, რომელიც ფურის ორგანიზმში იქმნება, აქტივდება კანქვეშა ცხიმოვან ქსოვილში. პროვიტამინისაგან წარმოიშობა ვიტამინი D, რომელიც გადადის სისხლში და სისხლიდან რძეში.

ქ ი მ ი უ რ ი ბ ე უ ე ბ ა. უკვე დიდი ხანია ცნობილი, რომ რაქიტის განკურნებისათვის ან მის წინააღმდეგ დროული ზომების მიღებისათვის საჭიროა ცხოველის რაციონში შევიტანოთ თევზის ზეთი. სხვა დაკვირვებებთან ერთად შემოსწავნილი იძლევა რაქიტის შესახებ წარმოდგენას, რომ ის არარაციონალური კვების შედეგია. მეორე მხრივ, საექიმო დაკვირვება გვიჩვენებს, რომ რაქიტის განკურნებაში მზის სხივებს დიდი როლი ეკუთვნის. ბავშვების განკურნება რაქიტისაგან უფრო გაადვილებულია მთის ჰაერზე და მზეზე. რაქიტი იმ ქვეყნებშია უფრო გავრცელებული, სადაც მზიანი ღლებების რაოდენობა წლის განმავლობაში ნაკლებია.

აღმოჩენილი იყო, რომ თავისთავად ანტირაქიტული მოქმედების უნარმოკლებულ საკვებ პროდუქტს აქტივობა ენიჭებოდა, თუ ის წინასწარ გაშუქებული იქნებოდა ულტრაიისფერი სხივებით. კვარცის ნათურით დასხივებული ხორცი, ხორბლეულის მარცვალი, ქაბო და ცხიმი ანტირაქიტულ თვისებებს იჩენდა. ამასთანავე გამოირკვა, რომ ანტირაქიტული მოქმედების გამომქლავნებასთან ერთად არ მატულობდა ანტიქსეროფტალმური ფაქტორი. ამგვარად, დამტკიცდა, რომ ანტირაქიტული მოქმედება არ არის უშუალოდ დამოკიდებული A ვიტამინზე. საკვების ახალ დამატებით ფაქტორს ეწოდა D ვიტამინი.

ის საწყისი, რომელიც დასხივების შემდეგ ანტირაქიტულ თვისებებს იჩენს, წარმოდგენილია საკვების ცხიმში, სახელდობრ მის გაუსაძნავე ნაწილში. რადგან ცხოველთა ცხიმის გაუსაძნავე ნაწილი ქოლესტერინს (ქოლესტეროლს) შეიცავს, ამიტომ მკვლევართა ყურადღება მიიპყრო სწორედ ამ ნაერთმა. გამოირკვა, რომ ქოლესტეროლს ულტრაიისფერი სხივებით დასხივებისას ენიჭებოდა მძლავრი ანტირაქიტული თვისებები. თავისთავად ქოლესტეროლი მოქმედების უნარს მოკლებულია. დასხივებული ქოლესტეროლი ახალ თვისებებს არ კარგავდა მისი 50—100-ჯერ გადაკრისტალების შემდეგაც კი. ამგვარად წარმოიშვა აზრი, რომ D ვიტამინის პროვიტამინი ქოლესტეროლია.

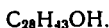
შემდეგში, ვინდაუსის მიერ შესწავლილი იყო ყველა ცნობილი სტეროლი, რომელიც უფრო მეტ არანაჯერ კავშირებს შეიცავდა, ვიდრე ქოლესტეროლი. ამათგან მეტი ყურადღება მიიპყრო ერგოსტეროლმა, რომელიც უკვე 1908 წ. გამოყოფილი და შესწავლილი იყო. ვინდაუსმა დაამზადა ერგოსტეროლის პრეპარატი საფუარებისაგან, ხოლო როზენჰეიმმა ჭეავის ჯქისგან (მათრობელადან). დადასტურდა, რომ ის სამ არანაჯერ კავშირს შეიცავს.

ერგოსტეროლი წარმოადგენს ერთატომიან არომატულ არანაჯერ სპირტს. ის უფრო არანაჯერი ნაერთია, ვიდრე სხვა დანარჩენი ცნობილი სტეროლები; აღმოჩენილია მცენარეებში, სახელდობრ მცენარეულ ცხიმებში, საფუარებში, სოკოებში, ხორბლეულის თესლში და სხვ. არანაჯერობის გამო ერგოსტეროლი ადვილად იუანგება. ჩვეულებრივ ტემპერატურაზე მასზე უკვე მოქმედებს ჰაერი და სინათლე, რაც იწვევს მის არააქტიურ ფორმაში გადაყვანას. სუფთა ერგოსტეროლი კრისტალდება ნემსების სახით, რომელიც შეხებისას ცხიმის შეგრძნებას ტოვებს.

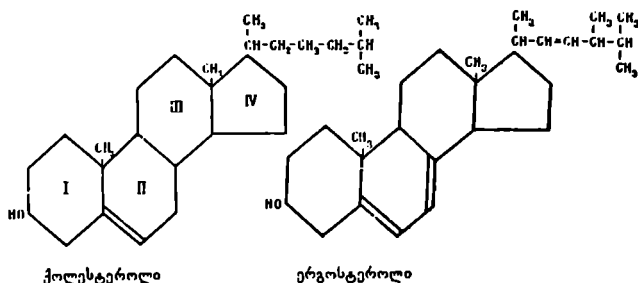
ერგოსტეროლისათვის დამახასიათებელია ულტრაიისფერი სხივების შთანთქმის ძლიერ გამოხატული უნარი, რომლის მაქსიმუმი 270—280 m μ -ს უდრის.

ჩინსდა მიხედვით, თუ რომელ წყაროდან არის მიღებული სხივი და რომელ კამხსნელში წარმოებს ერგოსტეროლის დასხივება, ერგოსტეროლის D ვიტამინად გარდაქმნა იძლევა სხვადასხვა რაოდენობით შედეგს. დასხივების შემდეგ ერგოსტეროლი კარგავს დიგიტონინის საშუალებით დალექვის უნარს. ამ რეაქციაზეა დამყარებული სტეროლებიდან D ვიტამინის გამოცალკევება.

ერგოსტეროლის ემპირიული ფორმულა გამოიხატება:



დიდი მუშაობა იყო ჩატარებული მისი სტრუქტურის გამორკვევისათვის. დღესდღეობით მიღებულია, რომ მას შემდეგი შენება უნდა ჰქონდეს:



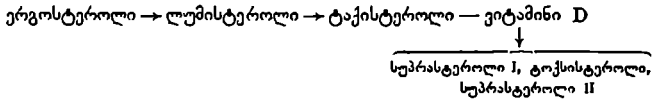
როგორც სტრუქტურული ფორმულიდან ჩანს, ქოლესტერინისაგან ის განსხვავდება მეორე ბირთვში დამატებითი არანაჭერი კავშირით, გვერდითი ჯაჭვის არანაჭერობითა და ერთი ზედმეტი მეთილის ჯგუფით.

1930 წ. დასხივებული ერგოსტეროლის მაღალ ვაკუუმში გამოხდის საშუალებით დამზადებული იყო კრისტალური შენების მქონე პრეპარატი, რომელსაც კალციფეროლი ეწოდა. მიღებული ნაერთის უკვე 0,50 მკგ საკმარის დოზას წარმოადგენდა, რომ ვირთავისათვის რაქიტი აეცილებინათ. კალციფეროლის სახით მიღებულ იქნა დიდი აქტივობის მქონე პრეპარატი და მიჩნეული იყო, რომ ის D ვიტამინს წარმოადგენდა. მეორე მხრივ, ვინდაუსმა შეძლო სხვა ზერხით ისეთი პრეპარატის დამზადება, რომლის აქტივობა კიდევ უფრო მეტი იყო. ამ პრეპარატის საჭირო დოზა უდრიდა 0,025 მკგ-ს. მას უწოდეს ვიტამინი D₁. ამასთანავე გამოიჩვენა, რომ D₁-ს თან ახლავს მეორე კრისტალური ნაერთი ვიტამინი D₂, რომლის დოზა უკვე 0,020 მკგ-ს უდრიდა.

მამასადამე ირკვევა, რომ უნდა არსებობდეს D ვიტამინის რამდენიმე წარმომადგენელი. ისინი ერთმეორისაგან განსხვავდებიან როგორც აქტივობით, ისე ქიმიური შენებითაც. ყველა D ვიტამინში წარმოდგენილია ერთი და იგივე, ოთხი ბირთვისაგან აშენებული რგოლი. რგოლში გვერდითი ჯაჭვის შენება, პიჯროქსილია ჯგუფისა და არანაჭერი კავშირების განწყობა სხვადასხვა D ვიტამინში სხვადასხვაა. ეს მოსაზრება უკანასკნელ დროს შესრულებული ცდებით მტკიცდება. ვინდაუსის წარმოდგენით D ვიტამინის უსუფთავეს პრეპარატს წარმოადგენს D₂ კალციფეროლი, რომელიც ერგოსტეროლისაგან მიიღება. მას უძლიერესი ფიზიოლოგიური მოქმედების უნარი ანასიათებს. ვირთავას რომ

რაქტი ასცილდეს, საკმარისია მისთვის ყოველდღიურად 0,02—0,05 მკგ-ს მიცემა.

ერგოსტეროლის დასხევების შედეგად წარმოიშობა გარდაქმნის პროდუქტების მთელი რიგი. ეს გარდაქმნა D ვიტამინით არ მთავრდება, ფოტოქიმიური რეაქცია უფრო ღრმა გარდაქმნას იწვევს. ვ ი ნ დ ა უ ს ი ს მ ა ე დ ვ ი თ ე რ გოსტეროლის გარდაქმნის მსვლელობა ულტრაიისფერი სხივების ზეგავლენით მიმდინარეობს შემდეგი სქემის მიხედვით:

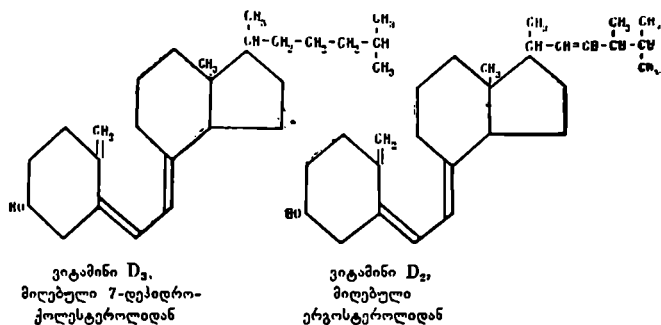


D ვიტამინის დიდი დოზა ორგანიზმზე ტოქსიკურად მოქმედებს. განსაკუთრებული ტოქსიკური მოქმედება ახასიათებს ტოქსისტეროლს. ტოქსისტეროლი გროვდება იმ შემთხვევაში, თუ ერგოსტეროლი ზედმეტად გაშუქდა მოკლე ულტრაიისფერი სხივებით. სხვადასხვა სიგრძის ტალღების ხმარებისას ერგოსტეროლის გარდაქმნის მსვლელობა იცვლება. ამით ისარგებლა ვ ი ნ დ ა უ ს მ ა და ერგოსტეროლის გარდაქმნა იმგვარად წარმართა, რომ ვიტამინი D მეტი რაოდენობით გროვდებოდა.

ფოტოქიმიური რეაქციის შედეგად ერგოსტეროლში მეორე ბირთვის რგოლი წყდება და წარმოიშობა მეოთხე არანაჯერი კავშირი.

როგორც D₂ ვიტამინის სტრუქტურული ფორმულიდან ჩანს, ერგოსტეროლის გარდაქმნისას ჰიდროქსილის ჯგუფმა და გვერდითმა ჯაჭვმა ცვლილება არ განიცადა. გარდაქმნა დაკავშირებულია უმთავრესად მეორე რგოლთან. ამის გამო გამოთქმულია მოსაზრება, რომ D ვიტამინის სპეციფიკური აქტივობა დაკავშირებული უნდა იყოს მხოლოდ მეორე რგოლის შენებასთან. ვინაიდან დანარჩენი ჯგუფების შენებას ნაკლები მნიშვნელობა აქვს, აქედან იმ დასკვნის გამოტანა შეიძლება, რომ D ვიტამინის რამდენიმე წარმომადგენელი უნდა ისე მოხდეს. სხვადასხვა D ვიტამინის არსებობა ისაზღვრება რგოლების მსგავსი შენების პირობით. ეს, როგორც უკანასკნელ დროს გამოირკვა, სინამდვილეს შეეფერება.

დღესდღეობით ცნობილია სხვადასხვა ნაერთი, რომელიც ანტირაქტიული მოქმედების უნარს იჩენს მკგ-ს მეანელების ფარგლებში. მათი სტრუქტურული ფორმულების შედარებისას ირკვევა, რომ ანტირაქტიული მოქმედების უნარი აქვს რგოლის განსაზღვრულ შენებას. გვერდითი ჯაჭვის მეთილირება ან მისი არანაჯერობის ხარისხის შეცვლა არ სპობს მოლეკულის აქტიური ნაწილის ანტირაქტიულ მოქმედებას. ამ შემთხვევაში ადგილი აქვს მხოლოდ აქტივობის თვისებით ან რაოდენობით ცვლილებას და არა მის სრულ გაქარწყლებას. მაგალითად, D₂ ვიტამინის მოქმედების აქტივობა ვირთავეებზე ორჯერ უფრო ნაკლებია, ვიდრე D₂ ვიტამინისა. პირველის გამოსავალი ნივთიერება ქოლესტეროლია, ხოლო მეორისა — ერგოსტეროლი. აქედან ის დასკვნა უნდა გამოვიტანოთ, რომ სხვადასხვა საკვებ ობიექტში წარმოდგენილია სხვადასხვა პროვიტამინი. შესაძლებელია აგრეთვე, რომ გამოსავალი ნივთიერება ერთი და იგივე იყოს, მხოლოდ იმისდა მიხედვით, თუ რა პირობებში წარმოიქმნება მისი გარდაქმნა, შეიქმნება სხვადასხვა მოქმედების უნარქონე ნაერთები.



ვიტამინი D იხსნება აცეტონში, ქლოროფორმში, ბენზოლში, პეტროლეუმის ეთერში და ეთილის სპირტში. ერგოსტეროლისგან განსხვავდება იმით, რომ დიფიკონინით არ იღეკება. კრისტალური კალციფეროლის ლლობის ტემპერატურა უდრის 115°—117°. აღსობციის სპექტრის მაქსიმუმი მერყეობს 250—270 მკ ფარგლებში. ტუტეების მიმართ ვიტამინი D გამძლეობას იჩენს; ცხიმების გასაპენისას ის არ იშლება; მინერალური მჟავების ზანგრძლივი მოქმედებისას ვიტამინი D იშლება, სწრაფად კარგავს სპეციფიკური მოქმედების უნარს წყალბადის ზეჟანგის, გოგირდოვანი ანჰიდრიდისა და ფორმალდეჰიდის ზეგავლენით. ჰაერის ჟანგბადის მოქმედების მიმართ ის შედარებით გამძლეობას იჩენს. მაგალითად, 100°-ზე გამთბარი თევზის ზეთში ჰაერის გატარებისას ვიტამინი D არ იშლება.

მასასადავ, ვიტამინი D მალაღ ტემპერატურაზე და ჰაერის შეხებისას საგრძნობლად არ კარგავს თავისი მოქმედების ძალას. სამაგიეროდ მზისა და განსაკუთრებით ულტრაიისფერი სხივებით გაშუქებისას მისი მოქმედების ძალა სწრაფად მცირდება. D ვიტამინი წარმოდგენილია თითქმის მხოლოდ ცხოველთა პროდუქტებში. განსაკუთრებით მდიდარია D ვიტამინით თევზის ზეთი. საკმაო რაოდენობით შეიცავს მას კარაქი, კვერცხის გული, ხიზილა და თევზის ღვიძლი. მცენარეულობა D ვიტამინს უმნიშვნელო რაოდენობით შეიცავს. სამაგიეროდ, მცენარეულობა შეიცავს D პროვიტამინს (ერგოსტეროლს), რომელიც ცხოველს აკმაყოფილებს როგორც D ვიტამინის წყარო.

D ვიტამინის რაოდენობა სხვადასხვა თევზის ღვიძლში ძალიან დიდ ფარგლებში მერყეობს. მისი რაოდენობა იცვლება არა მარტო თევზის სხვადასხვა სახეებში, არამედ ერთსა და იმავე წარმომადგენელში. ეს გარემოება დამოკიდებულია თევზის კვებაზე, ხნოვანებასა და სეზონზე. D ვიტამინის დიდ რაოდენობას შეიცავს ჩრდილოეთის ზღვების ვირთევზა, რომლის ღვიძლის ცხიმი აზმარება „თევზის ზეთის“ სახელწოდებით, როგორც სამკურნალო საშუალება.

დანარჩენ ცხოველთა პროდუქტებიდან პირველი ადგილი უჭირავს კვერცხის გულს. ვიტამინი D საკმაო რაოდენობით გვხვდება აგრეთვე კარაქში. ულტრაიისფერი სხივებით დაშუქებისას მცენარეულ საკვებ მასალას ენიჭება ანტირაქტიული თვისებები. ცხოველური წარმოშობის პროდუქტებთან შედარებით მცენარეული საკვები მასალა D ვიტამინით მაინც ღარიბია. კვერცხის გულის და რძის დაშუქებისას D ვიტამინის რაოდენობა თითქმის 20-ჯერ მატულობს.

როგორც ბიშოპისა და ეენსის ცდებიდან გამოირკვა, გამრავლების ორგანოების ნორმალური ფუნქციონირებისათვის საჭიროა საკვებში სპეციფიკური ფაქტორის არსებობა, რომელსაც ვიტამინი E უწოდეს. დამტკიცებულია, რომ ვირთაგვები, სრული ღირებულების მქონე საკვებით კვებისას, გამრავლების უნარს კარგავენ, თუ დიეტაში ვიტამინი E წარმოდგენილი არ არის. ექსპერიმენტული ცხოველები ღებულობდნენ მხოლოდ რძეს. საფუარებისა და თევზის ზეთის მიმატება გამრავლების უნარს მათ არ უბრუნებდა. საკვებში სალათის ან სხვა მწვანე მცენარეულის საკვების მიმატება დადებით გავლენას ახდენდა. აქედან ის დასკვნა გამოიტანეს, რომ ცხოველთა გამრავლების უნარის შენარჩუნებისათვის საჭიროა საკვებში განსაზღვრული ვიტამინის არსებობა. ეს ვიტამინი, A და D ვიტამინის მსგავსად, ცხიმში (ან მის გამხსნელებში) იხსნება. ის გვხვდება ზორბლეულის თესლში (ჩანასახში), მცენარეულობის მწვანე ნაწილებში, კვერცხის გულში და კარაქში. თევზის ზეთში ვიტამინი E აღმოჩენილი არ არის. ამით სხვათა შორის ის A და D ვიტამინისაგან განსხვავდება.

საკვებში E ვიტამინის უქონლობის დროს მამრობითი სქესის წარმომადგენლებში შემჩნეულია სათესლე ჭირკვლების ატროფია და მდედრობითი სქესის წარმომადგენლებში მკეობის ნადრევი შეწყვეტა.

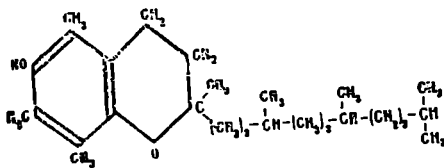
ავიტამინოზი E-ს დამახასიათებელ სიმპტომად ითვლება აგრეთვე კუნთოვანი ქსოვილის დისტროფია, რასაც თან სდევს ნივთიერებათა ცვლის აღრევა. ეს გამოხატულებას პოულობს ნორმასთან შედარებით ენგბადის მოხმარების ორჯერ გადიდებაში. ტოკოფეროლის მიცემა ამცირებს ენგბადის მოხმარებას და დისტროფიაზე დადებითად მოქმედებს. საინტერესოა აღინიშნოს, რომ დისტროფიული მოვლენები სწრაფად აიცილება კუნთის ქსოვილში აღენოზინტრიფოსფატის შეყვანისას.

ქ ი მ ი უ რ ი ბ უ ნ ე ბ ა. ვიტამინი E ცხიმში ხსნადი ვიტამინების ჯგუფს ეკუთვნის. უენგბადო არეში ტემპერატურის აწევას უძლებს. მისი გამოხდა შესაძლებელი ხდება ვაკუუმში 230°-ზე. განსაკუთრებით მგრძობიარეა ის ზეენგების მოქმედებისადმი.

მას შემდეგ, რაც გამოირკვა, რომ ზორბლების ჩანასახთა ზეთის გაუსაძნავი ნაწილი შეიცავს ანტისტერილურ ფაქტორს, ჩატარებული იყო დიდი მუშაობა აქტიური საწყისის ქიმიურად სუფთა პრეპარატის მიღებისა და შენების დადგენის მიზნით. 1936 წ. გამოყოფილ იქნა ორი ნივთიერება, რომელთაც ვიტამინი E-ს თვისებები ახასიათებდა. ამ ნაერთებს რთული სპირტების თვისებები აღმოაჩნდათ და მათ α და β ტოკოფეროლები უწოდეს.

ტოკოფეროლი დაენგვისაგან იცავს არანაჯერ ცხიმოვან მკაეებს (ანტი-ოქსიდანტური მოქმედება). ის მონაწილეობას ღებულობს კუნთოვანი ქსოვილის ცილების ცვლის რეგულაციაში.

კ ა რ ე რ მ ა შესწავლა გამოყოფილი ნაერთების ქიმიური თვისებები და დაადგინა, რომ ტოკოფეროლები ოქსიკუმარინის ნაწარმს წარმოადგენენ, სადაც გვერდითი ჯაჭვი აშენებულია იზოპრენის ნაშთებისაგან. საბოლოოდ ტოკოფეროლების სტრუქტურა 1938 წ. დაადგინეს დაენგვის პროდუქტების იდენტიფიკაციის საშუალებით. გამოირკვა, რომ ტოკოფეროლებისათვის მიღებული უნდა იყოს ქრომანის ფორმულა.



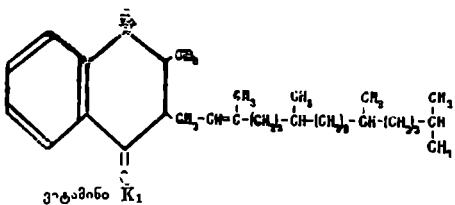
α-ტოკოფეროლი

შესწავლილია სამი ტოკოფეროლი. მათში მეტი გავრცელება და ბიოლოგიური აქტივობა აქვს α-ტოკოფეროლს. β-და γ-ტოკოფეროლები განსხვავდებიან CH₂ ჯგუფით და, როგორც ირკვევა, α-ტოკოფეროლის მხოლოდ მარტივ ჰომოლოგებს წარმოადგენენ. α-ტოკოფეროლის აქტივობა 2,5-ჯერ აღემატება მისი ჰომოლოგების აქტივობას. ბუნებრივი α-ტოკოფეროლი აქტივობას იჩენს 3 მგ დოზის რაოდენობით. ხორბლეულის ჩანასახის ზეთის გარდა ტოკოფეროლის დიდი რაოდენობა წარმოდგენილია ლეიძლში. მარაგის სახით ის გროვდება პლაცენტაში, ჰიპოფიზში და ნაწილობრივ კუნთოვან ქსოვილში.

§ 6. ვიტამინი K, ნახტოქინონის ფარივაბანი

ვიტამინი K წარმოადგენს ანტიჰემორაგიულ ფაქტორს. საცეხებში მისი უქონლობისას ადგილი აქვს კანკეშა და კუნთის შიგნით სისხლის ჩაქცევას. ამასთან ერთად ძალიან მცირდება სისხლის შედედების სიჩქარე. როგორც გამოირკვა, სისხლის შედედების დაყოვნება გამოიწვევა სისხლში პროთრომბინის (თრომბოგენის) შემცირებით.

პროთრომბინის, ისე როგორც ფიბრინოგენის, სინთეზი ხორციელდება ლეიძლში. ამ ცილების სინთეზის აღრევა იწვევს სისხლის შედედების სიჩქარის შემცირებას. როდესაც ცხოველს ვიტამინი K ეძლევა, ამით პროთრომბინის სინთეზი სტიმულირდება და მისი სისხლის შედედების სიჩქარე მატულობს. აეიტამინოზით დაავადებული ცხოველის ოპერაცია ხშირად სიკვდილით მთავრდება. ეს აცილებული რომ იქნეს, ოპერაციის წინ ცხოველს ვიტამინი K-ს პრეპარატი ეძლევა.



ვიტამინი K₁

ვიტამინი K ქიმიური შენების მიხედვით 1,4-ნახტოქინონის ნაწარმია. სინთეზირებულია ნახტოქინონის რამდენიმე ათეული დერივატი, რომელიც ვიტამინურ აქტივობას იჩენს. გამოირკვა, რომ აქტივობა დაკავშირებულია ნახტოქინონის ბირთვთან. არსებობს ბუნებრივი ვიტამინი K-ს ორი მოდიფიკაცია. ერთი გამოყოფილია მწვანე იონჯიდან (K₁), მეორე—თევზის ფქვილიდან (K₂). ეს ორი სახეცელილება ერთიმეორისაგან განსხვავდება გვერდითი ჯაჭვის შენებით. ვიტამინი K₁ გვერდით ჯაჭვში შეიცავს არანაჯერი სპირტის — ფიტოლის

ნაშთს, ხოლო ვიტამინი K_2 — სპირტი დიფარნეზოლის ნაშთს. ფიტოლისაგან განსხვავებით, რომელიც 4 იზოპრენის ნაშთისაგან არის აშენებული, დიფარნეზოლის მოლეკულაში წარმოდგენილია 6 იზოპრენის ნაშთი. ვიტამინი K_1 არის 2-მეთილ-3-ფიტოლ-1,4-ნაფტოქინონი.

ცნობილია ვიტამინი K-ს რამდენიმე ანტაგონისტი, რომელიც იწვევს არა პროთრომბინის სინთეზის გაძლიერებას, არამედ მის დაქვეითებას. ასეთ ანტაგონისტს წარმოადგენს, მაგალითად, დიკუმარინი.

უნდა ვიფიქროთ, რომ დიკუმარინი ღვიძლში გარკვეული ფერმენტების კონკურენტულ შეკავებას იწვევს, რის შედეგადაც ვიტამინი K-ს დადებითი გავლენა აიცილება. დიკუმარინი კლინიკაში სისხლის ძარღვთა დაცობის წინააღმდეგ იხმარება. ვიტამინი K გავრცელებულია მწვანე მცენარეულობაში და ცხოველურ პროდუქტებში (ღვიძლი). მაგრამ ავითამინოზით დაავადება ხშირად გამოიწვევა არა არასრულფასიანი კვებით, არამედ ნაღვლის სადინარის დაცობით. როგორც ირკვევა, ვიტამინი K-ს შეწოვებისათვის ნაწლავებში საჭიროა ნაღვლის მქავები.

§ 6. შუაბალები არანაჯერი ცხიმოვანი მჟავები

დიდი ხანია ცნობილია, რომ ადამიანის ორგანიზმს არა აქვს უნარი შექმნას არანაჯერი ცხიმოვანი მჟავები. ეს ნაერთები მიიღება საკვებთან ერთად. ვირთავებზე ცდებით გაირკვა, რომ უცხიმო საკვები იწვევს დერმატიტს, სიბერწეხს და თირკმელების გადაგვარებას. ადამიანის ორგანიზმში ეს ავითამინოზი გამოიხატება ფოლიკულებს ჰიპერკერატოზში. ეს დაავადება რომ აცილებულ იქნეს, საჭიროა ადამიანის ყოველდღიური ულუფა შეიცავდეს არანაჯერი ცხიმოვანი მჟავების ერთ გრამს. შეუცვლელ არანაჯერ ცხიმმჟავების ჭკუფს ეკუთვნის: ლინოლის, ლინოლენის, არახილინის მჟავები, რომელნიც შეიცავენ ორსა და მეტ არანაჯერ ბემებს.

§ 7. ვიტამინი B_1 (ანაირინი ანუ თიამინი)

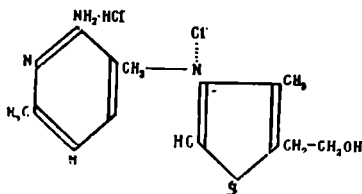
როდესაც ვიტამინების შესწავლის პირველი ნაბიჯები იყო გადადგმული, დარწმუნებული იყვნენ, რომ ზრდისა და ანტინევროტული ფაქტორი გამოწვეულია ერთი ვიტამინით, რომელსაც ვიტამინი B უწოდეს. შემდეგში გამოირკვა, რომ ვიტამინი B წარმოადგენს სხვადასხვა ვიტამინის ნარეხს.

B_1 ვიტამინის უქონლობა იწვევს ისეთი დაავადების წარმოშობას, რომელიც უკვე დიდი ხანი ცნობილია ბერი-ბერის სახელწოდებით. ბერი-ბერი წარმოადგენს ნეკროტიკის განსაზღვრულ ფორმას, რომლის დროს დაავადებული მამოძრავებელი და მგრძობიარე ნერვები. ადამიანის გარდა ბერი-ბერი შემჩნეულია ფრინველებზე, ღორებზე, ბაჭიებზე და ვირთავებზე. განსაკუთრებით ადვილად ექსპერიმენტული გზით ბერი-ბერი გამოიწვევა მტრედებზე.

ქ ი მ ი უ რ ი ბ უ ნ ე ბ ა. B_1 ვიტამინის მიღების პირველი ცდა ეკუთვნის ფუნკს. მან დაამზადა პრეპარატი, რომლის 4 მგ საკმარისი იყო დაავადებული მტრედის განკურნებისათვის. ანალიზით აღმოჩნდა, რომ მისი ემპირიული ფორმულა უნდა ყოფილიყო $C_{26}H_{21}O_9N$, მაგრამ შემდეგში გამოირკვა, რომ ფუნკის პრეპარატებში B_1 ვიტამინის რაოდენობა პროცენტის მეთოდებს ძლივს აღწევდა.

შემდეგში 100 კგ ბრინჯის ქატოდან მიიღეს კრისტალური ნივთიერება 30 მგ რაოდენობით. ამ პრეპარატის დოზა 5 მკგ-ს (გამას) რაოდენობით იცავდა მტრედებს პოლინევერიტის დაავადებისაგან. ელემენტური ანალიზის მონაცემების მიხედვით მიღებულ პრეპარატს მიაწერეს ფორმულა $C_6H_{10}ON_2$.

თუ რა სიძნელის გადალახვა საჭირო ვიტამინის სუფთა პრეპარატის დამზადებისათვის, ჩანს იქიდანაც, რომ გაუმჯობესებული მეთოდით შეძლეს 5 გრ B_1 ვიტამინის სუფთა პრეპარატის დამზადება 2 ტონა საფუარების გადამუშავებისას. გამოყოფილი იქნა პრეპარატი, რომელსაც დიდი ფიზიოლოგიური მოქმედების უნარი ჰქონდა და სუფთა B_1 ვიტამინს წარმოადგენდა. მაგრამ განვლო საკმარისად დიდმა დრომ, სანამ B_1 ვიტამინის შენება გამოიკვია. ამ მხრივ დიდი ღვაწლი მიუძღვის კუნს, რომელმაც თანამშრომლებთან ერთად საფუარებიდან გამოპყო ყვითელი ფერის საღებავი ნივთიერება „თიოქრომი“.



ვიტამინი B_1 , თიამინი

თიოქრომი ხსნარში იჩენს ინტენსიურ ცისფერ ფლუორესცენციას. ვინაიდან გამოიკვია, რომ თიოქრომის ფორმულა ემსგავსება B_1 ვიტამინის ფორმულას (განსხვავება მხოლოდ ორ ატომ წყალბადშია), გამოთქმული იყო აზრი, რომ თიოქრომი B_1 ვიტამინის დეჰიდრირების პროდუქტს წარმოადგენს და მისი გარდაქმნა B_1 ვიტამინად დაკავშირებული უნდა იყოს აღდგენით რეაქციასთან. თიოქრომი ვიტამინურ აქტივობას არ იჩენს და მისი კატალიზური ჰიდრირება B_1 ვიტამინს არ იძლევა. ეს ამტკიცებს მოსაზრებას, რომ B_1 ვიტამინისა და თიოქრომის ურთიერთკავშირი ჰიდრირებითა და დეჰიდრირებით არ განისაზღვრება.

როგორც ირკვევა, თიოქრომის შენებაში მონაწილეობას ლებულობს პირიმიდინისა და თიაზოლის რგოლები. ამ რგოლებში ურთიერთდაკავშირება B_1 ვიტამინში წარმოებს მეთილენის ჯგუფით, ხოლო თიოქრომში მას ემატება კიდევ აზოტით დაკავშირება. თიოქრომის აღდგენისას აზოტის დაკავშირება წყდება და წარმოიშობა თავისუფალი ამინის ჯგუფი, რომელიც კავშირდება პირიმიდინის ბირთვში.

თიაზოლისა და პირიმიდინის რგოლის სინთეზის შემდეგ მოხერხდა თვით B_1 ვიტამინის სინთეზიც. მას ანეირინი (თიამინი) უწოდეს. ლომანის მიერ აღმოჩენილია, რომ ანეირინის დაკავშირება პიროფოსფატის ნაშთთან წარმოადგენს კარბოქსილზანს კოფერმენტს. ამ ფაქტს ძალიან დიდი მნიშვნელობა მიეცა B_1 ვიტამინის მოქმედების მექანიზმისა და მისი, როგორც კატალიზატორის, დანიშნულების გარკვევაში.

თიამინი ანუ ვიტამინი B_1 წყალში ხსნად ნაერთს წარმოადგენს. ხსნარიდან ილექება ვერცხლის ნიტრატით, ვერცხლისწყლის სულფატით, ფოსფოროვოლფრამისა და ფოსფომოლიბდენის მკვავათი. წყლის ხსნარიდან ის აღსორბირდება ნახშირის, კალიუმის, კოლოიდური ალუმინიუმისა და რკინის ჰიდრატის საშუ-

ალებით. მეავე არეში ვიტამინი სტაბილობას იჩენს დამქანგველის მიმართ. ძალიან ადვილად განიცდის დაქანგვას ტუტე არეში ჰაერის ქანგბადისაგან; მეავე არეში კი გამძლეობას იჩენს ისეთი აგენტების მიმართ, როგორცაა წყალბადის და მანგანუმის ზეიანგი. ნაკლებად მგრძნობიარეა ის ატმოსფერული ქანგბადისადმი 20% გოგირდის მეავეს არეშიც კი.

ტემპერატურის გადიდებისას B_1 ვიტამინის გამძლეობა თანდათან კლებულობს, განსაკუთრებით 100°C -ზე ზევით. ამ გარემოებით აიხსნება B_1 ვიტამინის რაოდენობის შემცირება საკვებში პროდუქტის დამზადების დროს, როდესაც გაცხელებას მიმართავენ.

ვ ი ტ ა მ ი ნ ი B_1 მ ო ჟ მ ე დ ე ბ ი ს ზ ა ს ი ა თ ი. ვიტამინი B_1 ერთ-ერთი ყველაზე უფრო მეტად შესწავლილი ვიტამინია. ის თიამინპიროფოსფატის სახითაა წარმოდგენილი ანაერობულსა და აერობულ კარბოქსილაზაში. ამ ფერმენტებში ის კოენზიმის როლს ასრულებს. როდესაც ცხოველს ვიტამინი B_1 -ით ღარიბი საკვები ეძლევა, ნახშირწყლების ცვლა ნორმალურად ვერ მიმდინარეობს და ქსოვილში კეტო-მეავეები გროვდება: პიროყურძნის, ა-კეტო-გლუტარის, მეაუნძმრისა და მეაუნქარვის მეავეა. განსაკუთრებით უარყოფით გავლენას კეტო-მეავეების დაგროვება ახდენს თავის ტვინის ფუნქციაზე. ამიტომ, პირველ ყოვლისა, ავიტამინოზი B_1 პოლინევრიტის სახით მელაუნდება.

ნახშირწყლების გარდა ვიტამინი B_1 აცეტილქოლინის სინთეზზე ახდენს გავლენას. რადგან აცეტილქოლინი ნერვული ქსოვილის დამახასიათებელი ნაერთია, აქედან ნათელი ხდება ვიტამინ B_1 -ს კავშირი ნერვული ქსოვილის ფუნქციასთან.

საკირთა აღინიშნოს, რომ თიამინი ცხოველთა ორგანიზმში ძირითადად თიამინპიროფოსფატის სახითაა წარმოდგენილი.

გ ა ვ რ ც ე ლ ე ბ ა. B_1 ვიტამინის სინთეზის უნარი უნდა აზასიათებდეს მხოლოდ მცენარეებს, საიდანაც ცხოველი მას ღებულობს. ცხოველის ორგანიზმში B_1 ვიტამინის სინთეზის უნარი არა აქვს. ის ორგანიზმში ისეთი რაოდენობით არ გროვდება, რომ მისი მოთხოვნილება დიდი ხნით დაკმაყოფილდეს. მართალია, ღვიძლში გროვდება B_1 ვიტამინის განსაზღვრული რაოდენობა, მაგრამ ის სრულიად საკმარისი არ არის, რათა ორგანიზმმა ხანგრძლივი დროის განმავლობაში თავი ავიტამინოზისაგან დაიცვას.

მცენარეულობიდან B_1 ვიტამინით უფრო მდიდარია თესლი; განსაზღვრული რაოდენობა გროვდება აგრეთვე ძირნაყოფებში (კარტოფილი, სტაფილო და სხვა) და ფოთლებში. თესლში ვიტამინი B_1 წარმოდგენილია ჩანასახში და თესლის იმ გარსში; რომელიც თესლის დაფქვის დროს გადადის ქატოში. თესლის ენდოსპერმა B_1 ვიტამინს არ შეიცავს. შესაბამისად, უმალესი ხარისხის (პურის ხორბლის) ფქვილი სრულიად არ შეიცავს თესლის შემოხსენებულ ნაწილებს. ამისათვის, რაც უფრო მაღალი ხარისხის არის ფქვილი, მით უფრო ღარიბია ის B_1 ვიტამინით. საყურადღებოა, რომ ქვავის თესლში ვიტამინი B_1 თანაბრად არის განაწილებული და მისი როგორც გარეშე, ისე შიგნითა ფენები შეიცავენ B_1 ვიტამინის ერთსა და იმავე რაოდენობას.

მწვანილეულობაში და ნაყოფებში B_1 ვიტამინის საკმაო რაოდენობაა წარმოდგენილი. მათ შორის აღსანიშნავია კაკალი, თხილი და სალათი; საკვებ ბალახეულობას და თივას საშუალო ადგილი უჭირავს B_1 ვიტამინის შემადგენლობის მხრივ. საფუარები წარმოადგენს B_1 ვიტამინის საუკეთესო წყაროს, განსაკუთრებით პურის საფუარები.

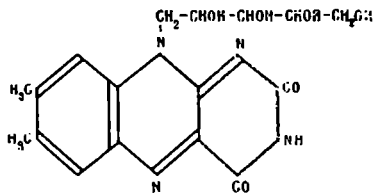
ვიტამინი B₂ ეწოდა იმ წყალში ხსნად ფაქტორს, რომელიც ხელს უწყობს ზრდის პროცესებს. B₂ ავიტამინოზი, როგორც ირკვევა, ხასიათდება ზრდის შეჩერებით. თავის მოქმედებას ზრდაზე ვიტამინი B₂ იჩენს მხოლოდ ვიტამინ B₁ და B₆-ის თანდასწრებით. ეს იყო მიზეზი, რომ ბოლო დრომდე მათი ურთიერთდაცილება და ცალ-ცალკე შესწავლა ვერ მოხერხდა. ზრდის შეჩერების გარდა B₂ ავიტამინოზი ხასიათდება თვალის რქოვანი გარსის ინტენსიური ვასკულარიზაციით, რასაც თან სდევს ანთება (კერატიტი) და ბოლოს კატარაქტი (ბროლის ამღვრევა).

ქ ი მ ი უ რ ი ბ უ ნ ე ბ ა . B₂ ვიტამინის ქიმიური შენების შესწავლას საფუძველი ჩაეყარა 1932—1933 წწ. ვარბურგისა და ქრისტიანსენის აღმოჩენით, როდესაც გამოიჩვენა, რომ სუნთქვის ფერმენტების ციანწყალბადით შეკავებისას საფუარებს უნარი აქვთ ყვითელი ფერმენტის საშუალებით სუნთქვა მაინც განაგრძონ. გამოიჩვენა, რომ ყვითელი ფერმენტის აქტიური ჯგუფი არის ვიტამინი B₂.

1933 წ. კვერცხის ცილიდან დამზადდა კრისტალური პრეპარატი, რომელსაც ოვოფლავინი უწოდეს. ამავე დროს შეისწავლეს რძის შრატისგან გამოყოფილი ყვითელი პიგმენტი ლაქტოფლავინი. ამ პიგმენტების მოქმედება ცხოველთა ორგანიზმზე საეცებით ემსგავსებოდა B₂ ვიტამინის თვისებებს.

ოვო- და ლაქტოფლავინის აღმოჩენას მოჰყვა სხვა ფლავინების შესწავლა. ფლავინები გამოიყო საფუარებიდან, ლეილიდან, ტომატებიდან, ისპანახიდან და სხვა პროდუქტებიდან. თუ რა სიძნელეებთან არის დაკავშირებული ფლავინების გამოყოფა, ჩანს შემდეგი მაგალითებიდან: ერთი გრამი ლაქტოფლავინი დამზადდა 5400 ლიტრი რძის შრატისგან, 10 000 კვერცხისგან მიღებული იყო ოვოფლავინის 0,18 გ, სამი ტონა ლიმონი დასჭირდა ფლავინის პრეპარატის 0,6 გ დამზადებას.

ფლავინების გაცნობის შედეგად ვიტამინ B₂-ს შემდეგი შენება უნდა მიეწეროს:

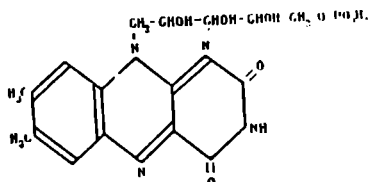


ვიტამინი B₂, რიბოფლავინი

ვიტამინი B₂-ის მოლეკულის შენებაში მონაწილეობას ღებულობს ხუთ-ატომიანი სპირტის რიბიტოლის ნაშთი. კუნისა, ერთი მხრივ და კარერის მიერ, მეორე მხრივ, დიდი მუშაობა ჩატარდა ვიტამინი B₂-ის სინთეზური გზით დამზადების მიზნით. მათ მიერ მიღებული ხელოვნური პრეპარატის ყველა თვისება ემსგავსებოდა ბუნებრივ B₂ ვიტამინის თვისებებს. ამ ვიტამინს რიბოფლავინი ეწოდა.

ბუნებაში რიბოფლავინი თავისუფალი სახით არ არის გავრცელებული; უმეტეს შემთხვევაში ის დაკავშირებულია ცილასთან, რომელიც ასრულებს

შხიდველის როლს და ქმნის ფოსფორის მკეაეასა და რიბოფლავინთან ერთად ე. წ. ფლავინის ფერმენტებს ახუ ფლავინპროტიდებს.



ფოსფორიბოფლავინი

რიბოფლავინი (ვიტამინი B₂) წარმოადგენს კრისტალური შენების მქონე ნაერთს, რომლის ლღობის ტემპერატურა 242° უდრის; წყალში იხსნება და 0,025% კონცენტრაციისას იძლევა მაძლარ ხსნარს; სპირტში ის უფრო ნაკლებად იხსნება. ნეიტრალურ ხსნარში მას ახასიათებს მოყვითალო მწვანე ფერი ინტენსიური მწვანე ფლუორესცენციით. ფლუორესცენცია ჭრება როგორც მკეაეე, ისე ტუტე ხსნარში.

დამჟანგველი აგენტების ზეგავლენას ფლავინი მკეაეე არეში კარგად უძლებს. კონცენტრირებული აზოტისა და 1%-იანი გოგირდის მკეაეე მას არ შლის; ამ პირობებში მისი აცეტილირება შესაძლებელი ხდება და აქტივობა არ იკარგება. სამაგიეროდ, ფლავინი ძალიან მგრძნობიარეა ტუტისა და სინათლის მიმართ. ტუტესთან დუდილისას ის მთლიანად იშლება. 1%-იანი მწვანე ტუტე მის აქტივობაზე უკვე უარყოფითად მოქმედებს ჩვეულებრივ ტემპერატურაზე და ცი.

ღღის სინათლეზე ფლავინის ნეიტრალური ხსნარი თანდათან კარგავს აქტივობას. გაცილებით უფრო ინტენსიურად მოქმედებს სპექტრის ულტრაიისფერი ნაწილი. ტუტე ხსნარის გაშუქებისას ჰაერთან თანდასწრებით რიბოფლავინი გარდაიქმნება ლუმიფლავინად, ხოლო მკეაეე არეში — ლუმიქრომად.

დამახასიათებელია ფლავინისათვის მისი უკუქცევითი ჟანგვა და აღდგენა. აღმადგენლის მოქმედებისას (H₂S, Zn, Pt და H₂) ის იერთებს ერთს, ორს ან სამ მოლეკულა წყალბადს და გადადის უფერულ ლეიკოფლავინში. საკმარისია ლეიკოფორმის ანჭლრევა ჰაერზე, რომ მან დეჰიდრირება განაიადლოს და ყვითელი პიგმენტის ფორმაში გადავიდეს.

ფლავინის გამძლეობა ტემპერატურის გაღიღების მიმართ დამოკიდებულია ხსნარის წყალბად-იონთა კონცენტრაციაზე. მკეაეე არეში ის თითქმის არ იშლება. ტუტე არე იწვევს მის სწრაფ გარდაქმნას. ტემპერატურული გამძლეობის გამო B₂ ვიტამინს უწოდებენ თერმოსტაბილურ ფაქტორს.

მოქმედების ხასიათი. რიბოფლავინი გავრცელებულია ფოსფორის ესთერის სახით. როგორც ნახსენები იყო, ფოსფორიბოფლავინი ან ცალკე, ანდა ადენილის მკეაეეასთან დაკავშირებული, ფუნქციონირებს ფლავინპროტიდებში პროსტეტიული ჯგუფის სახით. ფოსფორიბოფლავინის შემწეობით ხდება გააქტივებული წყალბადისა და ელექტრონების ნად-იდან ციტოქრომზე გადატანა.

გავრცელება. ისე როგორც B₁ ვიტამინის შემთხვევაში, B₂ ვიტამინის სინთეზის უნარი ცხოველს არ გააჩნია. ამ მხრივ ცხოველი განსაზღვრულ

დამოკლებულებაშია მცენარეული ორგანიზმისაგან. რიბოფლავინით ყველაზე უფრო მდიდარია საფუარები, რომელთა მშრალი ნივთიერების 1 გ შეიცავს ვიტამინ B₂-ს 30—36 μ გ რაოდენობით. რძის მკევა ბაქტერიებში ფლავინის რაოდენობა უფრო დიდ რიცხვს აღწევს.

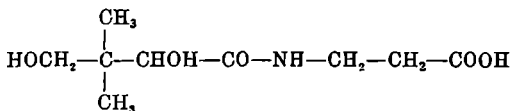
მცენარეულობიდან B₂ ვიტამინს საკმაო რაოდენობით შეიცავს ხორბალი. გაცალბობთ ნაკლები რაოდენობით გვხვდება ის მწვანილეულობაში და ნაყოფებში. ცხოველთა პროლუქტებიდან მდიდარია B₂ ვიტამინით რქიანი საქონლის ღვიძლი, რომლის 1 გ შეიცავს ვიტამინის 20—25 მკგ-ს. დანარჩენი ქსოვილებიდან აღსანიშნავია თირკმლები. სისხლში B₂ ვიტამინი მოიპოვება მცირე ოდენობით. კვერცხის ცილა და რძე შეიცავს B₂ ვიტამინის საკმაო რაოდენობას, მაგრამ გაცილებით ნაკლებს, ვიდრე ღვიძლი. საქიროა აღინიშნოს, რომ ფლავინი თავისუფალ მდგომარეობაში გვხვდება რძეში, შარდში და თვალის ბადურაში. დანარჩენ ქსოვილებში ის დაკავშირებულია ცილასთან.



§ 9. პანტოთენის მჟავა

წალიან გავრცელებულ ვიტამინს წარმოადგენს. აღმოჩენილი იყო 1933 წელს, როგორც საფუარებისა და რძისმკევა ბაქტერიების ზრდის ფაქტორი. შემდგომში გაირკვა, რომ მას დიდი მნიშვნელობა აქვს ცხოველებში როგორც ზრდისა და აგრეთვე დერმატიტების (კანის დაავადებანი) ამცილებელ ფაქტორს. უკანასკნელ დროს აღმოაჩინეს პანტოთენის მკევას მონაწილეობა კოფერმენტ A-ს შენებაში. ეს კოფერმენტი ფუნქციონირებს მცენარისა და ცხოველთა ორგანიზმში როგორც ცხიმმკევეების გადამტანი.

ქიმიური თვალსაზრისით პანტოთენის მკევა წარმოადგენს α , γ -დიოქსი- β -ჯ'-დიმეთილბუტირილ- β -ალანინს. საყურადღებოა პანტოთენის მკევაში β -ალანინის მონაწილეობა. ეს ამინომკევა პანტოთენის მკევას გარდა წარმოადგენილია კარნოზინში.



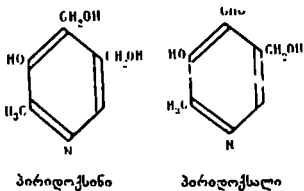
პანტოთენის მკევა

პანტოთენის მკევას ზემოთ მოყვანილი სტრუქტურა დამტკიცებულია სინთეზით. პანტოთენის მკევას შედარებით დიდ რაოდენობას შეიცავს ფრინველის კვერცხი და ღვიძლი. მცენარეულობიდან აღსანიშნავია ხორბლეული და განსაკუთრებით ლუდის საფუარები. პანტოთენის მკევას 30 მკგ იწვევს ავიტამინოზური ვირთავას ზრდის ინტენსივობის სამჯერ მატებას.

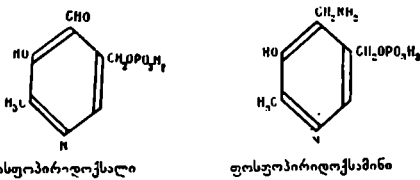
§ 10. ვიტამინი B₆, ადერმინი, პირიდოქსინი

ვიტამინი B₆-ს უქონლობა იწვევს ვირთავებში და აგრეთვე სხვა ცხოველებში სპეციფიკურ დერმატიტს, რომლის განკურნება სხვა ვიტამინებით ვერ ხერხდება. აქტიური საწყისი ნაპოვნი იყო ღვიძლში, საფუარებში და ბრინჯის ქატოში. ბოლოს მოხერხდა ვიტამინი B₆-ს კრისტალური სახით მიღება და ის პირიდინის დერივატი აღმოჩნდა.

ვიტამინი B₆ ქიმიურად წარმოადგენს 2-მეთილ-3-ოქსი-4,5-დიოქსიმეთილ-პირიდინს. ამიტომ მას პირიდოქსინი უწოდეს.



პირიდოქსინი კარგად იხსნება წყალში. ის გამძლეობას იჩენს მჟავასა და ტუტეების მოქმედებისადმი. მაგრამ ძალიან ადვილად იშლება ულტრაიისფერი სხივების ზეგავლენით.



მოქმედების ხასიათი. უკანასკნელ დროს მიღებულია მონაცემები, რომელიც არკვევს პირიდოქსინის მონაწილეობას უჯრედში მიმდინარე ბიოქიმიურ გარდაქმნებში. პირიდოქსინი უჯრედში ადვილად იუნაგება ალდეჰიდად — პირიდოქსალად. პირიდოქსალი, თავის მხრივ, ფოსფორილირებას ვანიცდის და ფოსფოპირიდოქსალს იძლევა. ფოსფოპირიდოქსალი მონაწილეობას ლებულობს გადაამინირების პროცესში. შუალედი პროდუქტის სახით წარმოიშობა ფოსფოპირიდოქსამინი.

პირიდოქსალფოსფატი წარმოადგენს ამინოტრანსფერაზების პროსტეტიულ ჯგუფს. გამორკვეულია აგრეთვე, რომ ამინომჟავათა დეკარბოქსილირება იმ უერმენტების საშუალებით მიმდინარეობს, რომელთა პროსტეტიული ჯგუფი პირიდოქსალფოსფატია.

კრისტალური ადერმინის 10 მკგ-ს რაოდენობით ყოველდღიურად მიცემა აცილებს ვირთაგვებს დერმატიტით დაავადებას. ფრინველთათვის ეს დოზა უდრის 30 მკგ-ს. ავიტამინოზურ ცხოველებში, პირველ ყოვლისა, თვალსაჩინო ხდება ცილოვან ნივთიერებათა ცვლის აღრევა.

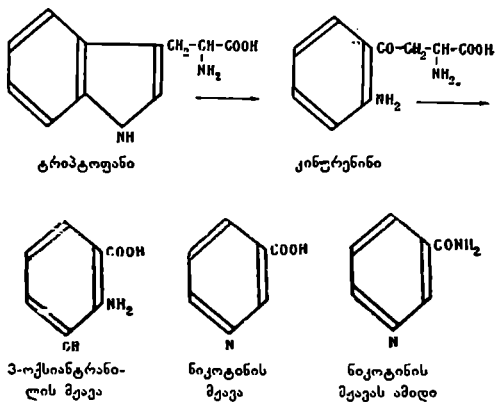
გავრცელება. როგორც ნახსენები იყო, ვიტამინი B₆ გავრცელებულია როგორც მცენარეებში, ისე ცხოველებში. განსაკუთრებით მდიდარია პირიდოქსინით საფუარები და ხორბლეული.

§ 11. ვიტამინი PP, ნიკოტინის მჟავას ანბი

ვიტამინი PP ანუ ნიკოტინის მჟავას ამიდი ანტიპელაგრულ ფაქტორს წარმოადგენს. ავიტამინოზი ხასიათდება დერმატიტით, რომელიც შედარდება ადამიანის სხეულის მხოლოდ იმ ნაწილებზე, რომელიც ტანსაცმლით არაა

დაფარული. პელაგრა გავრცელებულია იმ ქვეყნებში, სადაც მოსახლეობა ღებულობს საკვებს, რომელიც არ შეიცავს სრულფააან ცილასა და ნიკოტინის მჟავას. პელაგრის გართულებულ ფორმებს ახასიათებს ნერვული მოქმედების აღრევა. განსაკუთრებულ მგრძობიარობას ვიტამინ PP უქონლობისა-დმი იჩენს ადამიანი, მაიმუნი, შემდეგ ფრინველი და ძალი. მცობნავ ცხოვე-ლებში პელაგრის გამოწვევა შეუძლებელია, რადგან მათ მომწელებელ ორგა-ნოებში არსებულ მიკროფლორას შეუძლია ნიკოტინის მჟავას სინთეზი.

მიუხედეად იმისა, რომ ქიმიკოსები ნიკოტინის მჟავას დიდი ხანია იცნო-ბენ, მისი ანტიპელაგრული თვისებები უკანასკნელ დრომდე არ იყო ცნობილი. წინათ ფიქრობდნენ, რომ პელაგრის გამომწვევი მიზეზი არის საკვებში ზოგი-ერთი შეუცვლელი ამინომჟავას, კერძოდ, ტრიპტოფანის უქონლობა. შემდეგ-ში გამოიჩქვა, რომ ტრიპტოფანი ცვლის ნიკოტინის მჟავას. ახლა ნათელა გახდა, თუ რაში გამოიწატება ამ ორი ნაერთის ურთიერთდამოკიდებულება. ცხოველთა ორგანიზმში ტრიპტოფანის გარდაქმნა მიმდინარეობს კინურენინის წარმოშობის გზით. კინურენინი იძლევა 3-ოქსიანტრანილის მჟავას, ხოლო უკა-ნასკნელი — ნიკოტინის მჟავას.



ბიოლოგიური აქტივობა ახასიათებს როგორც ნიკოტინის მჟავას, ისე მის ამიდს.

მოქმედების ხასიათი. ნიკოტინის მჟავას ამიდი მონაწილეობას ღებულობს ნად-ის შენებაში. მისი უქონლობა იწვევს დეჰიდროგენაზების მოქ-მედების აღრევას და სუბსტრატის ჟანგვის შეჩერებას. ჯერ კიდევ კარგად არ არის გარკვეული ნიკოტინის მჟავას ის მინიმალური დოზა, რომელიც ცხოველს აცილებს პელაგრით დაავადებას. ადამიანისათვის ის მერყეობს 50—500 მგ-მდე. მაიმუნისათვის საკმარისია ყოველდღიურად 5 მგ-ის მიცემა.

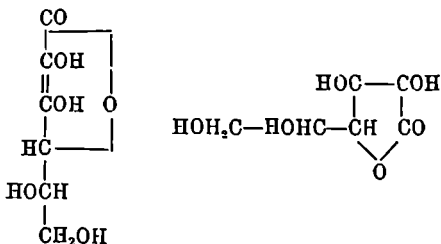
ნიკოტინის მჟავას საუკეთესო წყაროს წარმოადგენს საფურები და ბრინ-ჯის ქატო. ნაკლები რაოდენობით ის წარმოადგენილია ძირნაყოფებში და ხორ-ბლეულში. ცხოველთა ორგანიზმში ის მეტი რაოდენობით დაგროვილია ღვიძ-ლში და თირკმლებში, ე. ი. სადაც ტრიპტოფანის გარდაქმნა ხდება.

C ვიტამინის უქონლობა იწვევს ცხოველის სკორბუტით დაავადებას. ეს ავიტამინოზი გამოიხატება ორგანიზმის თითქმის ყველა ფუნქციის მოშლაში. გარეშე სიმპტომები დაკავშირებულია ღრძილების ცვლილებასთან, რის შედეგად ჩნდება იარები, სისხლის დინება და ლორწოვანი გარსის გადაგვარება. სკორბუტით დაავადება შეიძლება ადვილად განიოწვიოს ადამიანის გარდა მამულებში და ზღვის გოკებში. დანარჩენ ცხოველებში ეს ავიტამინოზი ან არა-დამახასიათებლად მიმდინარეობს ან სრულებით არ გამოიწვევა, რადგან, როგორც გამოირკვა, მათ C ვიტამინის სინთეზის უნარი აქვთ.

ქ ი მ ი უ რ ი ბ უ ნ ე ბ ა. ლიმონიდან C ვიტამინის აქტიური პრეპარატის ლაშზადების შემდეგ გამოირკვა, რომ მას აქვს აღდგენის დიდი უნარი. ამასთანავე დიდი ხანია უკვე ცნობილი იყო, რომ ჟანგბადის ზეგავლენით ვიტამინი C ადვილად კარგავს აქტივობას. C ვიტამინის ადვილი ცვალებადობის გამო მისი ქიმიური შენების დადგენა გაძნეულა, მიუხედავად იმისა, რომ C ვიტამინის მოლეკულის სტრუქტურა შედარებით მარტივია.

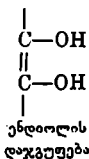
C ვიტამინის შენების გარკვევაში დიდი როლი ითამაშა ტ ი ლ მ ა ნ ს ი ს ჰიერ დამუშავებულმა C ვიტამინის რაოდენობით განაზღვრის მეთოდმა. გამოირკვა, რომ სხვადასხვა მცენარეული წვეწის ინდიკატორ 2,6-დიქლორფენოლინდოფენოლის აღდგენის უნარი უშუალო დამოკიდებულებაშია წვეწების ანტისკორბუტულ აქტივობასთან. აღმოჩნდა, რომ სხვადასხვა წვეწის რედუქციული უნარი სრულიად ემსგავსება მის ბიოლოგიურ აქტივობას. გაცხელებისას, ტუტით დამუშავებისას, ჰაერზე დაჟანგვისას და სხვა აგენტების მოქმედებისას, საკვები ნივთიერებთან ანტისკორბუტული აქტივობა მცირდება აღდგენითი უნარის შემცირების პარალელურად. ტ ი ლ მ ა ნ ს მ ა დაამტკიცა, რომ ეს აღდგენითი უნარი დამოკიდებული უნდა იყოს C ვიტამინზე და მისი დაჟანგვა შეიძლება წარმოებდეს უკუქცევით. მოლეკულური ჟანგბადით დაჟანგვისას აქტივობა სრულიად ისპობა. 2,6-დიქლორ-ფენოლინდოფენოლი, ფენოლინდოფენოლი და იოდი მჟავე არეში იწვევენ უკუქცევით დაჟანგვას. უკუქცევითი დაჟანგვისას C ვიტამინის ანტისკორბუტული აქტივობა არ იკარგება.

ს ც ე ნ ტ-დიორდის მიერ დამზადებულ იქნა ჰექსურონის მჟავას დიდი რაოდენობა. ამ პრეპარატის შესწავლით სხვადასხვა ლაბორატორიაში ის დასკვნა გამოიტანეს, რომ ის ჰექსურონის მჟავას არ წარმოადგენს. მას ს ც ე ნ ტ-დიორდის წინადადებით ასკორბინის მჟავა უწოდეს. მისი სტრუქტურის დადგენა მოკლე დროში მოხერხდა ერთდროულად რამდენიმე ლაბორატორიაში. ქვემოთ მოყვანილია ასკორბინის მჟავას სტრუქტურული ფორმულა, რომელიც უპასუხებს მის ქიმიურ თვისებებს. შენების სინამდვილე დამტკიცდა მრავალჯერ წარმოებული სინთეზით.

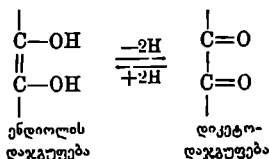


ასკორბინის მჟავა

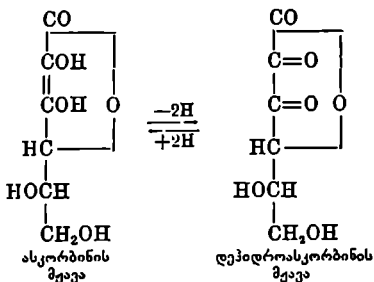
ასკორბინის მჟავა წარმოადგენს არანაჯერ მჟავა ლაქტონს, რადგან მისი კარბოქსილის ჯგუფი ლაქტონის სახით არის დაკავშირებული. მჟავე თვისებებზე დამოკიდებულია ენდოლის დაჯგუფებაზე:



ენდოლი იძლევა მარილებს ნატრიუმთან, კალციუმთან და სხვა მეტალბთან. მარილში გადასვლისას ასკორბინის მჟავას კარბოქსილის ჯგუფი დაკავშირებული რჩება ლაქტონის სახით. ენდოლი ძალიან ადვილად განიცდის დაჟანგვას დიკეტო-დაჯგუფებაში.



დაჟანგვის ამგვარ უნარზეა დამოკიდებული ასკორბინის მჟავას განსაკუთრებული აღდგენითი თვისებები. ასკორბინის მჟავას დაჟანგვისას, მაგალითად, ფენოლინდოფენილით ის გადადის დეჰიდროასკორბინის მჟავაში. მცენარეში ეს პროცესი დაკავშირებულია სპეციფიკური ოქსიდაზას მოქმედებასთან.



აღდგენელის ზემოქმედებით დეჰიდროასკორბინის მჟავა ისევ ასკორბინის მჟავაში გადადის. მაშასადამე, ვიტამინი C უკუქცევით ქანგა-აღდგენით სისტემას ქმნის. მისი რედ-ოქსიპოტენციალი, როდესაც pH=7 და დაჟანგული ფორმის კონცენტრაცია შეეფარდება აღდგენილ ფორმას, როგორც 1:1, მერყეობს +20 მვ—+10 მვ ფარგლებში.

ასკორბინის მჟავას სინთეზი 1933 წ. მოახდინეს. ამ სინთეზს მხოლოდ თეორიული ინტერესი აქვს, რადგან მისი პრაქტიკული განხორციელება თხროლობს ძალიან დიდ შრომას.

ასკორბინის მჟავას სუფთა პრეპარატი წარმოადგენს კრისტალური შენების მქონე ნაერთს, რომლის ლობის ტემპერატურა უდრის 189°-ს. აქვს ერთფუძიანი მჟავეს თვისებები. წყალში ძალიან კარგად იხსნება, ძნელად — ორგა-

ხელ გამხსნელებში. რაოდენობრივად ილექება ტყვიის აცეტატით, როდესაც $pH = 7,2-7,5$. მჟავე და ტუტე არეში მისი ტყვიის მარილი ხსნაღია. ის იძლევა კრისტალური შენების მქონე მონოაცეტონ-ნაწარმს, რომელიც წყალთან გაცხელებისას ადვილად იშლება და ასკორბინის მჟავა თავისუფლდება.

ძალიან ადვილად გარდაიქნება ასკორბინის მჟავა ტუტე არეში. მის დაანგვას ხელს უწყობს მძიმე მეტალების კატალიზური მოქმედება. მჟავე არეში ასკორბინის მჟავა გაცილებით უფრო მეტ გამძლეობას იჩენს.

ცოცხალ უჯრედში ასკორბინის მჟავა გვხვდება ალდგენილი ფორმით, უჯრედის დასრებისას მასზე მოქმედებას იჩენს სპეციფიკური ოქსიდაზა, რომლის შემწეობით ის დეჰიდროფორმაში გადადის. დეჰიდროფორმა კი წარმოადგენს უფრო ლაბილურ ნაერთს, რომელიც ჰაერის ენჯაბადის ზეგავლენით, განსაკუთრებით, თუ ამავე დროს წარმოდგენილია მძიმე მეტალები, ის უკვე არაუქმქვეით დაქანგვას განიცდის და ბიოლოგიური მოქმედების უნარს კარგავს. ამ გარემოებას საკვები პროდუქტების ტექნოლოგიაში დიდი მნიშვნელობა აქვს. შესაძლებელია საკვები თავიდანვე მდიდარი იყოს C ვიტამინით, მაგრამ დამუშავებისას ვიტამინი ინაქტივაციას განიცდის მექანიკური ზეგავლენითაც კი.

ასკორბინის მჟავას ფიზიოლოგიური დანიშნულება დაკავშირებულია იმ გარემოებასთან, რომ ის ენჯავა-ალდგენით სისტემას ქმნის. ამ სისტემის რედოქსიპოტენციალი, როგორც აღნიშნული იყო, მცირეა ($> +20$ მე), ამიტომ ის ადვილად განიცდის დეჰიდრირებას და მონაწილეობას ლებულობს, ისე როგორც გლუტათიონი, გააქტივებული წყალბადის გადატანაში. მას გადააქვს წყალბადი, როგორც შუამავალს, სუბსტრატიდან დამქანგველი ფერმენტებისაკენ

ასკორბინის მჟავა უშუალო მონაწილეობას ლებულობს ნივთიერებათა ცვლის რეგულაციაში. ის მცენარეთა და ცხოველთა თითქმის ყველა უჯრედში გვხვდება. ცხოველთა ორგანიზმიდან ცვლის შედეგად ის გამოიყოფა ფლავინების მსგავსად შარღში. ადამიანი დღე-ღამის განმავლობაში საჭიროებს ასკორბინის მჟავას 50 მგ-ს.

გ ა ვ რ ც ე ლ ე ბ ა. ადამიანის გარდა C ვიტამინის ნაკლებობა საკვებში უარყოფით გავლენას ახდენს მაიმუნზე, ზღვის გოჭზე და ვირთაგვაზე. ფრინველებს და ზოგიერთ სხვა ცხოველს (მსხვილფეხა რქიან ცხოველებს, ცხვარს, თხას), როგორც გამოირკვა, აქვთ C ვიტამინის სინთეზის უნარი და ამ მხრივ ისინი მცენარეულ საკვებზე დამოკიდებული არ არიან.

C ვიტამინის წყაროდ უნდა ჩაითვალოს მცენარეულობა, სადაც წარმოებს მისი არა მარტო სინთეზი, არამედ ზოგიერთ შემთხვევაში დიდი რაოდენობით დაგროვებაც კი. ცხოველის ორგანიზმი და, განსაკუთრებით ადამიანი, C ვიტამინს დიდი რაოდენობით არ ამარაგებს. ამიტომ ცხოველები უშუალოდ მცენარეულ საკვებზე არიან დამოკიდებული.

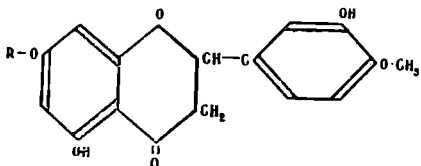
მცენარეული საკვებიდან C ვიტამინით მდიდარია მწვანილეულობა და ხილი; გაცილებით ნაკლებია ის ძირნაყოფებში, ხოლო თესლეულობა (ხორბალი, პარკოსან მცენარეთა თესლი) C ვიტამინს სრულებით არ შეიცავს. თესლის გაღივებისას, როდესაც ახალგაზრდა მცენარე აღმოცენდება, წარმოებს C ვიტამინის ენერგიული სინთეზი. ამასთანავე შემჩნეულია, რომ ნორჩ ფოთლებში მისი რაოდენობა მაქსიმუმს აღწევს და ვეგეტაციის დამთავრებისას სრულიად ქრება, ნაყოფებში C ვიტამინის რაოდენობა მაქსიმუმს აღწევს დამწიფების მომენტში. გადამწიფებისას და შენახვისას მისი რაოდენობა თანდათან კლებულობს.

ყველაზე უფრო მდიდარია C ვიტამინით ასკილი. ზოგიერთ წარმომადგენლებში (ჩრდილოეთში) ასკორბინის მყავას კონცენტრაცია მშრალი ნივთიერების თითქმის 14% უღრის. მდიდარია აგრეთვე C ვიტამინით წიწაყა, მაგრამ ის მაინც ასკილს ვერ შეედრება. ლიმონი, კომბოსტო, ტომატი და ოხრაახუში შეიცავენ C ვიტამინს ბაშუალოზე მეტი რაოდენობით.

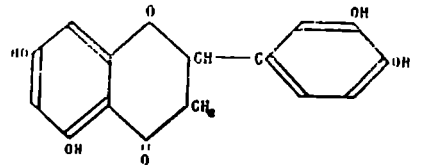
ცოველთა პროდუქტებში ვიტამინი C შედარებით მცირე რაოდენობით მოიპოვება. მათ შორის განირჩევა მხოლოდ რძე. ქალის რძე შეიცავს C ვიტამინის ხუთჯერ უფრო მეტ რაოდენობას, ვიდრე ძროხის რძე. რძეში C ვიტამინის რაოდენობა უშუალოდ დამოკიდებულია დედის კვებისაგან. ქსოვილებიდან აღსანიშნავია თირკმლის ზედაჯირკვალი, რომლის ვიტამინური აქტივობა ამ მხრივ დაახლოებით უღრის ლიმონის წვენის აქტივობას.

§ 18. ვიტამინი P, ციტრინი

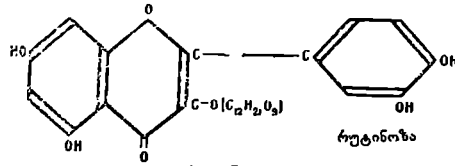
ვიტამინი P ყოველთვის თან ახლავს ასკორბინის მყავას მცენარეულ პროდუქტებში და, როგორც ირკვევა, ორივეს მსგავსი დანიშნულება უნდა ჰქონდეს. ვიტამინი P, ასკორბინის მყავას მსგავსად, გავლენას ახდენს კაპილარების განვლადობაზე. მისი უქონლობისას ზღვის გოქების ქსოვილებში აღგილი აქვს აღგილობრივ სისხლის ჩაქცევებს. ეს გამოიწვევა კაპილარების კედლების გადაგვარებით. ვიტამინი P-ს პრეპარატი დამზადებულია სენტ დიორდის მიერ ლიმონის ქერქისგან და ამიტომ მას ციტრინი ეწოდა. როგორც შემდეგში გამოირკვა, ციტრინი უნდა წარმომადგენდეს, ყოველ შემთხვევაში, სამი-ფენოლურ-ვლუჯოზიდების ნარეგს: ჰესპერიდინის, ერიოლიქტიოლისა და რუტინის.



ჰესპერიდინი



ერიოლიქტიოლი



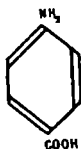
რუტინი

როგორც ზემოთ მოტანილი შენებიდან ჩანს. ჰესპერიდინი არის ურიოდი-ქტიოლის მეთილირების პროდუქტი. ლიმონში ეს ფლავონები დაკავშირებულია რუტინოზასთან, რომელიც წარმოადგენს დისაქარიდის β - O - L -რამნო-ზიდ- D -გლუკოზას. ვიტამინური მოქმედება სხვა ფლავონებსაც ახასიათებს.

ციტრინით შიდაარია ის მცენარეული პროდუქტები, სადაც ასკორბინის მკაეაა წარმოდგენილი, განსაკუთრებით, ლიმონისა და სხვა ნარჩვოვანი მცენარეთა ნაყოფის ქერქი.

§ 14. პარა-ამინობენზოის მკაეა

პარა-ამინობენზოის მკაეა წარმოადგენს ზოგიერთი მიკრობის ზრდისა და გამრავლების ფაქტორს. ქიმიურად ის საკმარისად ინერტული ნივთიერებაა. სინათლეზე, განსაკუთრებით ულტრაიისფერი სხივების მოქმედებისას ის იძლევა შეფერილ დაქანგვის პროდუქტებს.



პარა-ამინობენზოის მკაეა

გამორკვეულია, რომ ცხოველების ნორმალური პიემენტაციის პროცესი დაკავშირებულია ამ ვიტამინთან. პარა-ამინობენზოი, მკაევას მონაწილეობა თმების, კანის, ბეწვის ფერის დადგენაში იმით უნდა ისაზღვრებოდეს, რომ ის ფერმენტ ტიროზინაზა აქტივატორა წარმოადგენს. ტიროზინაზას მოქმედებით კი ცხოველთა ორგანიზმში იქმნება მელანინები.

პარა-ამინობენზოის მკაევას განსაკუთრებული მნიშვნელობა მიკრობებისათვის გამოირკვა სულფამიდური პრეპარატების მოქმედების შესწავლის შედეგად. სულფამიდური პრეპარატები, როგორც ცნობილია, იწვევს მიკრობების (პნევმოკოკების, მენინგოკოკების, გონოკოკებისა და სხვ.) გამრავლების შეჩერებას. ამის მიზეზი იმაში მდგომარეობს. რომ სულფამიდის პრეპარატები, კონკურენტული შეკავების გამო, აძევენ პარა-ამინობენზოის მკაევას მიკრობისათვის მნიშვნელოვანი ფერმენტული სისტემიდან.

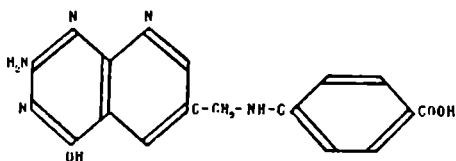
სულფამიდის პრეპარატების ბაქტერიოციდული მოქმედება უნდა აიხსნას იმ გარემოებით, რომ ეს ნაქრთები ცილა-ფერმენტებთან რეაგირებენ და პარა-ამინობენზოის მკაევას აძევენ. შედეგად ფერმენტს მოქმედების უნარი ეკარგება და მიკრობების გამრავლება წყდება.

§ 15. ფოლიუმის მკაეა

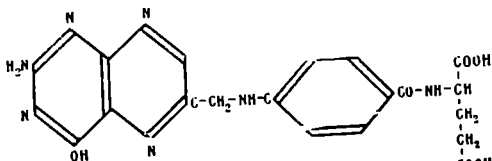
ფოლიუმის მკაეა წარმოადგენს ანტიანემიურ ფაქტორს. ადამიანში ფოლიუმის მკაევას უქონლობით გამოწვეული ავითამინოზი გამომკლავნდება სინხლის ნაკლოვანებაში. ამავე დროს ფოლიუმის მკაეა არის რძის მკაეა ბაქტერიების ზრდის ფაქტორი.

ფოლიუმის მკაეა ბუნებაში გავრცელებულია რთული ნაერთის სახით, რომელიც პტეროისა და გლუტამინის მკაევასაგან შედგება. ცნობილია ფოლი-

უმის მკვას რამდენიმე წარმომადგენელი, რომლებიც ერთიმეორისაგან გლუტამინის მკვას ნაშთების რაოდენობით განსხვავდებიან. მაგალითად, საფუარებიდან ფოლიუმის მკვა ვამოყოფილია კრისტალური სპიტი, რომლის შენებაში მონაწილეობას ღებულობს გლუტამინის მკვას შვიდი ნაშთი. ის წარმომადგენს ნაუთს, აშენებულს პტეროსის მკვასაგან და გლუტამინის მკვას ჰეპტაპეტიდისაგან.



პტეროსის მკვა



პტეროილ-გლუტამინის მკვა

აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ პტეროსის მკვას შენებაში მონაწილეობას ღებულობს პარა-ამინობენზოის მკვა.

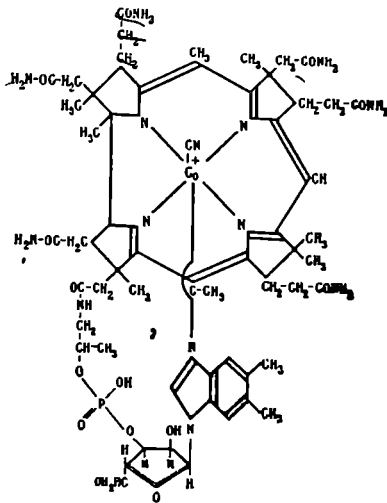
ფოლიუმის მკვა მცირე რაოდენობით გავრცელებულია მცენარეულსა და ცხოველურ პროდუქტებში. მცენარე მას აგროვებს ფოთოლში (ფოლიუმ-ფოთოლი). ცხოველებში ის გროვდება ღვიძლში.

ფოლიუმის მკვას ბიოქიმიური მოქმედება იმაში გამოიხატება, რომ მისი საშუალებით გააქტივებული ერთნაწირობადოვანი ფრაგმენტი (აქტიური C_1-COOH) გამოიყენება პურინის ფუძეების სინთეზში. ზემოხსენებულის გარდა ის მეთილის ჯგუფები, რომელნიც წარმოიშობიან აქტიური ერთნაწირობადოვანი ფრაგმენტის აღდგენისას ფოლიუმის მკვაში, მონაწილეობას ღებულობენ თიმინისა და მეთიონინის სინთეზში. აღდგენის რეაქციისათვის საჭიროა ვიტამინი B_{12} (კობალამინი).

§ 16. ვიტამინი B_{12}

ვიტამინი B_{12} ანტიანემიურ ფაქტორს წარმოადგენს. მის შენებაში მონაწილეობას ღებულობს კობალტი. ამ ვიტამინს განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება ავთვისებიანი ანემიის მკურნალობის საქმეში. ის დადებით გავლენას ახდენს იმ ორგანოების მოქმედებაზე, სადაც ერთთროციტების შექმნა ხდება.

ვიტამინი B_{12} -ის შენება სულ უკანასკნელ დროს გაირკვა. ქიმიური თვალსაზრისით ის ნუკლეოტიდს წარმოადგენს, რომლის შენებაში მონაწილეობას ღებულობს 5,6 დიმეთილ-ბენზოიმიდაზოლი, რიბოზა და ფოსფორის მკვა. სამვალენტოვანი კობალტი აკავშირებს ნუკლეოტიდს ჰემთან.



ციანოკობალამინი, ვიტამინი B₁₂

ცნობილია კობალამინების რამოდენიმე ნაერთი, რომელთაც ახასიათებს სხვადასხვა აქტივობა. მათი განსხვავება პირობადებულია იმით, თუ რომელა ფუძე აკავშირებს ჰემს ნუკლეოტიდთან. ვიტამინი B₁₂ არის ციანო-კობალამინი, რომლის შენებაში მონაწილეობას ღებულობს პორფინის ბირთვი — 5,6-დამეთილ-ბენზიმიდაზოლის, ციანის, ძმარმეავას ამიდის, პროპიონის მეავას ამიდის, იზოპროპილის სპირტის, ფოსფორის მეავას და რიბოზას ნაშთები.

ციანოკობალამინის მოლეკულის ბირთვი არის პორფინი, რომელიც რკინის მაგივრად შეიცავს კობალტს. პიროლის რგოლებთან, ისე როგორც ჰემში, კავშირდება მეთილის ჯგუფები, 5-ძმრის მეავას და პროპიონის მეავას ამიდების 3 ნაშთი. ძმრის მეავას ამიდის ერთი წყალბადი შეცვლილია იზოპროპილის სპირტის რადიკალით, რომლის ჰიდროქსილთან კავშირდება ფოსფატი. ფოსფატი თავის მხრივ ესთერფიცირებულია რიბოზათი, ხოლო რიბოზას პირველი ნახშირბადი კავშირდება დიმეთილ-ბენზიმიდაზოლთან.

ვიტამინი B₁₂ მცენარეულობაში აღმოჩენილი არ არის. ცხოველურ ორგანიზმებში ის წარმოდგენილია ღვიძლში და თირკმელებში. მისი წყარო ცხოველთათვის არის მომწელებელი ტრაქტის მიკროფლორა, განსაკუთრებით მცოხნავი ცხოველებისათვის.

ვიტამინი B₁₂-ის მოქმედება იმაში უნდა გამოიხატებოდეს, რომ მისი შემწეობით ხდება იმ ნაერთების სინთეზი, რომლის შენებაში მეთილის ჯგუფი ღებულობს მონაწილეობას. ნეხვი ამ ვიტამინის კარგი წყარო არის.

§ 17. ვიტამინი H (ბიოტინი), ინოზინი და კოლინ

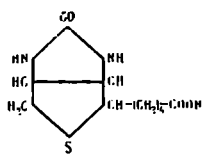
ცნობილია ნაერთების მთელი რიგი, რომელნიც ხელს უწყობენ უმდაბლესი ორგანიზმების, მიკრობებისა და მცენარეების ზრდასა და გამრავლებას. აქტივატორების როლს ასრულებენ შემდეგი ვიტამინები: თიამინი, პანტოთენის

მევა, პირიდოქსინი, ინოზიტი და ბიოტინი. მხედველობაშია მისაღები ის გარე-
წობა, რომ ცნება ვიტამინებზე, როგორც კვების დამატებით ფაქტორზე, არ
შეიძლება მექანიკურად გადავიტანოთ მცენარეებზე. მცენარეს უმეტეს შემთხ-
ვევაში უნარი აქვს თვითონვე შექმნას ვიტამინი და მისი მსგავსი ნაერთი. მაგ-
რამ მცენარის ცალკეული ქსოვილი და ორგანო სპეციალიზებულია გარკვეული
სახის ნივთიერებათა ცვლის წარმოებაზე. მას ესაჭიროება რეაქციის კატალიზატორები და ამიტომ იქმნება მოჭარბებული მოთხოვნილება ამა თუ იმ ნაერთზე,
კერძოდ ვიტამინებზე. ვიტამინების მიწოდებისას ნივთიერებათა ცვლა უფრო
ძლიერდება და შედეგად შესამჩნევად მატულობს ზრდა და გამრავლება.

მიკრობებში მოთხოვნილება გარკვეული ნაერთების მიმართ უფრო მკვეთ-
რად არის გამოხატული. მიკროორგანიზმებში ზოგიერთი საჭირო ნაერთის სინ-
თეზი ვერ ხერხდება და თუ ეს ნაერთი საკვებ არეში მათ არ მიეცა, გამრავლება
წყდება. ამ თვალსაზრისით დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ბიოტინს, რომელიც
აუცილებელი ნაერთია როგორც დაბალ, ისე მაღალ საფეხურზე მდგომი ორგა-
ნიზმისათვის.

ბიოტინის დადებითი გავლენა ცხოველის ორგანიზმზე გამოირკვა იმ
უარყოფითი გავლენის აცილებით, რომელსაც იწვევს უმი კვერცხის მიღება.
კვერცხის ცილაში წარმოდგენილია გლუკოპროტეინი — ავიდინი, რომელიც
კავშირდება ბიოტინთან კომპლექსის — ავიდინ-ბიოტინის წარმოშობით. ეს
კომპლექსი ნაწლავეებში ვერ შეიწოვება და ამით გამოიწვევა ავიტამინოზი.
ბიოტინის ნაკლებობის შედეგად ადგილი აქვს სპეციფიკურ დერმატიტს, კანის
გაწითლებას, თმებისა და ფრჩხილების დაცვენას. ფრინველებში ავიტამინოზი,
გამოწვეული ბიოტინის უქონლობით საკვებში, შემჩნეული არ ყოფილა. ბიო-
ტინის წყაროს ცხოველთათვის წარმოადგენს ნაწლავეების ბაქტერიული ფლორა.

ბიოტინი წარმოადგენს თიოფენის ბირთვის დაკავშირებას შარდოვანასთან.
ერთი მხრივ, და ვალერიანის მეფასთან, მეორე მხრივ.



ბიოტინი

ბიოტინი ქიმიურად ადვილად არ გარდაიქმნება. მისი ბიოლოგიური აქტი-
ვობა არ იცვლება ზსნარის გაცხელებისას უანგბადის თანდასწრებით.

უკანასკნელ დროს გამოირკვა, რომ ინოზიტის უქონლობა ვირთაგვების
დიეტაში აგრეთვე იწვევს დერმატიტს. ეს დერმატიტი სხვა რომელიმე ვიტამი-
ნით არ განიკურნება. ამიტომ ინოზიტის ვიტამინების ჯგუფს უნდა მივაკუთ-
ვნოთ.

ვიტამინების ჯგუფს უნდა მივაკუთვნოთ აგრეთვე ქოლინი. ცხოველის ორ-
განიზმში ქოლინი საკმარისი რაოდენობით არის წარმოდგენილი, უმეტესად
ფოსფატილ-ქოლინის სახით. მაგრამ იმ შემთხვევაში, თუ საკვების რაციონში
ამინომევა მეთიონინის ნაკლებობაა, მაშინ ორგანიზმში ვერ ხერხდება ქოლი-

ნის განახლება. ამის მიზეზი იმაში მდგომარეობს, რომ ქოლინის სინთეზისათვის საჭიროა მეთილის ჯგუფების წყარო და ამ წყაროს როლს მეთიონინი ასრულებს. ქოლინის ვიტამინური მოქმედება იმაში გამოიხატება, რომ ის მონაწილეობას ღებულობს ისეთ ფოსფოლიპიდის შენებაში, რომელსაც დიდი მნიშვნელობა აქვს ცხიმების გარდაქმნაში. იმ შემთხვევაში, როდესაც ცხოველი ქოლინის ნაკლებობას განიცდის, რადგან ის არ ღებულობს მეთიონინის საჭირო რაოდენობას, ადგილი აქვს ღვიძლის გადაგვარებას მასში გადაუმუშავებელი ცხიმების დაგროვების გამო.

თ ა ვ ი მ ე თ ო თ ხ მ ე ტ ე

ჰორმონები

§ 1. საერთო დახასიათება

ჰორმონების სახელწოდებით ცნობილია ნაერთების მთელი რიგი, რომლებიც სპეციფიკურ გავლენას ახდენენ სასიცოცხლო პროცესებზე. ვიტამინების მსგავსად, ჰორმონების მცირე რაოდენობა იწვევს ფიზიოლოგიურ ეფექტს. ისინი ან ააქტივებენ ორგანიზმის რომელიმე ფუნქციას, ან შეაკავებენ მას. ამ თვალსაზრისით ისინი სასიცოცხლო პროცესების რეგულატორებს წარმოადგენენ.

ისინი ფერმენტებისაგან განსხვავდებიან, ჯერ ერთი, თავისი ქიმიური შენეობით და მეორე მხრივ, მოქმედების ხასიათით. გავლენას ახდენენ არა ერთ რომელიმე რეაქციაზე, არამედ მთლიან პროცესზე. ჰორმონები მნიშვნელოვან აგენტებს წარმოადგენენ როგორც ცალკეული ორგანოს, ისე მთლიანი ორგანიზმის ცხოველმოქმედების რეგულაციის თვალსაზრისით.

ჰორმონები მუშავდება სპეციალურ ორგანოებში, საიდანაც სისხლში გადადიან. სისხლის მიმოქცევის გამო ჰორმონს შეუძლია თავისი სპეციფიკური ფიზიოლოგიური მოქმედება განახორციელოს არა მარტო იქ, სადაც ის იქმნება, არამედ სხვა ორგანოებზედაც. რადგან იმ ორგანოს, სადაც ის წარმოიშობა, არა აქვს სპეციალური სადინარი და თავის პროდუქტს „შიგნით“ გამოყოფს და არა „გარეთ“, ამისათვის მათ „შინაგანი სეკრეციის“ ანუ „ენდოკრინულ“ ჭირკვლებს უწოდებენ და ჰორმონებს შესაფერისად — „ინკრეტებს“. სახელწოდება ჰორმონი შემოღებულია ს ტ ა რ ლ ი ნ გ ი ს მიერ და ნიშნავს ამოძრავებას.

ენდოკრინული ჭირკვლების მოქმედების რეგულაცია წარმოებს ცენტრალური ნერვული სისტემის საშუალებით. მათი ფუნქცია ყოველთვის თავის ტვინის ქერქის კონტროლის ქვეშ იმყოფება. ეს კონტროლი ხორციელდება იმპულსებით, რომლებიც ცენტრიდან მიისწრაფვიან ჭირკვალში არსებული ნერვული დაბოლოებისაკენ. კავშირი ცენტრალურ ნერვულ სისტემასა და ჭირკვალს შორის არ არის ცალმხრივი. ჭირკვალი თავის მხრივ მოქმედებს ნერვულ სისტემაზე სისხლში გადასული ჰორმონების საშუალებით. ამგვარად ცხოველთა ორგანიზმში მის ცალკეულ ნაწილთა მუშაობის კოორდინაციის ხორციელდება იმ სპეციფიკური ნაერთების საშუალებით, რომელთა შექმნა და გამოყოფა სისხლში ცენტრალური ნერვული სისტემით რეგულირდება.

ნერველ და ჰორმონალურ სისტემათა მჭიდრო კავშირი პირველ ყოვლისა, ზორციელდება ჰიპოთალამუსის საშუალებით.

ჰორმონები, უმეტეს შემთხვევაში, ნივთიერებათა ცვლის პროდუქტებს წარმოადგენენ. მხედველობაშია მისაღები ამ მხრივ ის გარემოება, რომ ნივთიერებათა დაშლის ძირითადი პროდუქტებიდან ჰორმონები წარმოიშობა დაშლის პროდუქტების მხოლოდ მეორადი, სინთეზური გარდაქმნის შემდეგ. მაგალითად, ჰორმონ თიროქსინის მოლეკულის შექმნაში მონაწილეობას ღებულობს გარდაქმნილი ტიროზინის ორი მოლეკულა. ჰორმონები ჯირკვლებში მცირე რაოდენობით მუშავდებიან და ძალიან ჩქარა იშლებიან ორგანიზმში.

როგორც ყოველი ფიზიოლოგიურად მოქმედი ნივთიერება, ჰორმონების დიდი რაოდენობით შეყვანა იწვევს ორგანიზმის მოწამელას. მათი ნორმალური რაოდენობა ორგანიზმში აღწევს მხოლოდ ისეთ კონცენტრაციას, რომელიც საკმარისია ორგანიზმში მიმდინარე პროცესების მსვლელობის ერთ გარკვეულ დონეზე შენარჩუნებისათვის. იმ შემთხვევაში, როდესაც ჰორმონის პროდუქცია წყდება, მაშინ ორგანიზმს ეკარგება განსაზღვრული ფუნქციების შესრულების უნარი. რადგან ორგანიზმი ფუნქციურად ერთ მთლიანს წარმოადგენს, ამისათვის ერთი რომელიმე ფუნქციის ამოვარდნა უარყოფით გავლენას ახდენს მთელ ორგანიზმზე.

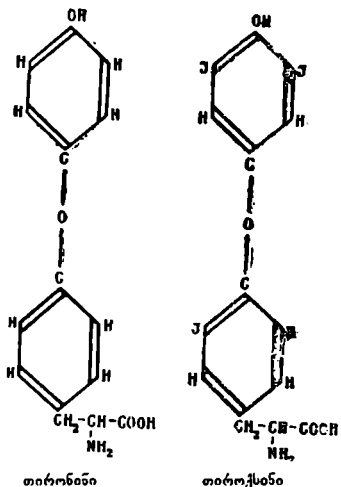
ფიზიოლოგიური თვალსაზრისით ჰორმონები შეისწავლება ორი ნიშნის მიხედვით: პირველი, თუ სად მუშავდება ჰორმონები, და მეორე, რა ფიზიოლოგიური მოქმედების უნარს იჩენს იგი.

ბიოქიმიის მიზანი ჰორმონების მოქმედების შესწავლის დარგში ორი ძირითადი ამოცანით ისაზღვრება: 1) როგორია ჰორმონების ქიმიური ბუნება და 2) რა ბიოქიმიური გზებით ზორციელდება ჰორმონების მარეგულირებელი მოქმედება. მათი აღმოჩენიდან გავიდა რამოდენიმე ათეული წელი და ჩვენ უკვე გვაქვს შესანიშნავი შედეგები ჰორმონების ქიმიური ბუნების დარგში. რაც შეეხება ჰორმონების მოქმედების მექანიზმის საკითხს, ამ მხრივ მხოლოდ უკანასკნელ წლებში შესაძლებელი გახდა ისეთი მონაცემების მოპოვება, რომელნიც უფლებას გვაძლევს ვიფიქროთ, რომ ეს საკითხიც დადებითად გადაწყდება.

§ 3/ ფარისებრი ჯირკვლის ჰორმონები. თიროქსინი

თიროქსინი წარმოადგენს ფარისებრი ჯირკვლის სეკრეტს. პირველად მისი სუფთა პრეპარატი დამზადებული იყო კენ და ლის მიერ. მან შეძლო 300 კგ ღორის ფარისებრი ჯირკვლიდან ქიმიურად სუფთა სახით ნაერთის დამზადება, რომლის შემადგენლობაში შედიოდა 65% რაოდენობით იოდი. ამ ნაერთს მან უწოდა თიროქსინი.

რათა დადგენილი ყოფილიყო თიროქსინის სტრუქტურა, საჭირო გახდა, პირველ ყოვლისა, მისგან იოდის ჩამოშორება. იოდის მოცილების შედეგად მიღებულ იქნა ნაერთი, რომელსაც ეწოდა თირონინი. გამოირკვა, რომ თირონინის მოლეკულის შენებაში მონაწილეობას ღებულობს ორი ბენზოლის ბირთვი და ერთი გვერდითი ჯაჭვი. თირონინის სტრუქტურა დამტკიცებულია სინთეზით. გამოირკვა, რომ თიროქსინში ჩანაცვლებულია 4 იოდის ატომი იმგვარად, რომ ერთი ბენზოლის ბირთვზე მოდის იოდის ატომების წყვილი. იოდის ატომების განლაგება თიროქსინში აგრეთვე სინთეზით დამტკიცდა.



სინთეზური გზით მიღებული თიროქსინი ოპტიკურად უმოქმედოა. ფარისებრ ჯირკვალში წარმოდგენილია მარცხენა სტერეოიზომერი, რომლის ფიზიოლოგიური მოქმედების სიძლიერე მარჯვენა იზომერთან შედარებით 2—3-ჯერ მეტია.

თიროქსინის გარდა ფარისებრ ჯირკვალში წარმოდგენილია იოდშემცველი ნაერთების მთელი რიგი. ამათგან აღსანიშნავია იოდთიროგლობინი, რომლის ჰიდროლიზის შედეგად გამოიყოფა იოდოთირინი. მას ახასიათებს ფარისებრი ჯირკვლის ფიზიოლოგიური მოქმედების ზოგიერთი თვისება. ამიტომ ფიქრობენ, რომ ფარისებრი ჯირკვლის მოქმედი საწყისი აგრეთვე ცილის შენების მქონე ნაერთი უნდა იყოს. იოდთიროგლობინისა და იოდოთირინის სრული ჰიდროლიზის შემდეგ, როდესაც მიიღება მარტივი შენების მქონე ნაერთები, დაშლის პროდუქტებს ფიზიოლოგიური მოქმედების უნარი მაინც შენარჩუნებული აქვთ. თიროქსინის შენებისათვის ორგანიზმში მოიხმარება ტიროზინი. რომელიც თავის მხრივ უერთდება იოდს და შეიქმნება შუალედი პროდუქტი: სახით დიოდტიროზინი. თიროქსინის ბიოლოგიური სინთეზი უნდა წარმოებდეს ორი მოლეკულა დიოდტიროზინის დაკავშირებით, თუ პირველის გვერდითი ჯაჭვი დაიყანგა, ხოლო მეორესი უცვლელი დარჩა. ამგვარი დაკავშირებით წარმოიშობა ნაერთი, სადაც იოდის ატომები თიროქსინის მოლეკულაში იქვრენ 3:5, 3:5 ადგილს.

ფარისებრი ჯირკვლის ფიზიოლოგიური დანიშნულება მისი ექსტირაქციის საშუალებით ირკვევა. ჩატარებული ცდებიდან გამოირკვა, რომ ჯირკვლის ექსტირაქციას მოსდევს ორგანიზმისა და ცალკეული ორგანოების ფუნქციების მოშლა; ექსტირაქციაში მიღებული ცხოველის ნივთიერებათა ძირითადი ცვლის სიდიდე მცირდება. შემჩნეულია, რომ გაზთა ცვლა ორ მესამედამდე ჩამოდის და ცხოველებს ზრდა უჩერდებათ; ადამიანის გონებრივი განვითარება წყდება. ამ დანაკლისის ნაწილობრივი ანაზღაურება შეიძლება ჯირკვლის ტრანსპლანტაციის შემწეობით, ან თიროქსინის პრეპარატების მიცემით. ზემოხსენებული სიმ-

პტომები დამახასიათებელია აგრეთვე იმ ცხოველებისათვის, რომელთა ფარისებრი ჭირკვლის განვითარება ნორმას ვერ აღწევს. პირაქით, როდესაც ადგილი აქვს ჭირკვლის ჰიპერფუნქციას და ორგანიზმში ჭირკვლიდან გადაიციემა თიროქსინის ზედმეტი რაოდენობა, მაშინ ნივთიერებათა ცვლა მატულობს.

თიროქსინი დამახასიათებელ გავლენას ახდენს ცილოვან ნივთიერებათა ცვლაზე. ფარისებრი ჭირკვლის ექსტირაქციის შემდეგ შარდში აზოტის გამოყოფა ნახევარჯერ მცირდება საკვებში იმავე რაოდენობა ცილების მიცემისას, რაც ცხოველს ეძლეოდა ოპერაციის წინ. იგივე სურათი ემჩნევა ექსტირაქციამნილ ცხოველს, როდესაც ის შიმშილს განიცდის. ამ შემთხვევაშიც აზოტის რაოდენობა შარდში ორჯერ ნაკლებია. ვიდრე ნორმალური ცხოველის შიმშილობის დროს. აქედან ნათელი ხდება, რომ ცილოვან ნივთიერებათა ცვლის ინტენსივობა თიროქსინის მოქმედებასთან უშუალო დამოკიდებულებაშია.

თუ ექსტირაქციამნილ ცხოველებს მიეცათ თიროქსინის პრეპარატი, ნივთიერებათა ცვლა საგრძნობლად მატულობს. ეს გავლენა ნათლად ჩანს ნორმალურ ცხოველებზედაც. აღსანიშნავია, რომ თავკომბალების თირკმლისზედა ჭირკვლით კვებისას ნივთიერებათა ცვლა მატულობს. და შედეგად მათი მეტაბოლიზმი მოზრდილ ბაყაყად ნორმალურზე სწრაფად წარმოებს.

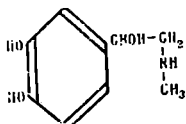
თიროქსინი წყალში არ იხსნება. ძნელად იხსნება ის აგრეთვე ორგანულ გამხსნელებში; მისი მარილები, სამაგიეროდ, წყალში კარგად იხსნება. გაზურებისას 231° — 233° -ზე იშლება იოდის გამოყოფით. მისი შთანთქმის სპექტრის მაქსიმუმში ულტრაიისფერ ნაწილში მდებარეობს და უდრის 385 $\mu\mu$. თიროქსინი ოპტიკურად აქტიური ნაერთია. 1-თიროქსინის ფიზიოლოგიური აქტივობა 1-თიროქსინის აქტივობას სამჯერ აღემატება.

თიროქსინის მოქმედების მექანიზმის შესწავლის დარგში უკანასკნელ დროს მიღებულია მონაცემების რიგი. საიდანაც ირკვევა, რომ ფარისებრი ჭირკვლის ჰორმონალური მოქმედება დაკავშირებულია დამუხანგველი ფერმენტების აქტივობის რეგულაციასთან, სახელდობრ. იმ ფერმენტების, რომელნიც მონაწილეობას ლებულობენ ეანგვით ფოსფორილირებაში. ჰიპოთირეოდოზის დროს ეანგვითი ფოსფორილირების კოფეციენტი შემცირებულია. ხოლო ჰიპოთირეოდოზს თან სდევს ამ კოფეციენტის გადიდება. ეს იმას ნიშნავს, რომ ჰიპოთირეოდოზის შემთხვევაში, როდესაც ეანგბადის მოხმარება გადარებულია და კოფეციენტი კლებულობს. იქმნება ატფ-ის ნაკლები რაოდენობა. შედეგად ეანგვითი ფოსფორილირება ნაკლებად ეფექტური ხდება.

§ 4. კატაპოლამინები. ადრენალინი

თირკმლისზედა ჭირკვლი წარმოადგენს ორგანოს, სადაც მუშავდება ჰორმონების მთელი წყება. ეს ჭირკვლი შედგება ორი დამოუკიდებელი ქსოვილისაგან: ქერქოვანი და ტვინოვანი შრისაგან. ამ შრეებს სხვადასხვა სეკრეტორული ფუნქცია ახასიათებს. ქერქოვან შრეში მუშავდება სხვადასხვა სახის კორტინი, ხოლო ტვინოვანში — ადრენალინი. საინტერესოა აღინიშნოს, რომ თევზებში ქერქოვანი და ტვინოვანი შრე სხვადასხვა ორგანოში იმყოფება. ადრენალინი პირველად გამოყოფილი იყო კრისტალური პრეპარატის სახით ტაკამინისა და ალდრისის მიერ. მისი შენება დადატურებულია შტოლცის მიერ, რომელმაც ადრენალინი სინთეზური გზით მიიღო. ადრე-

ნალინი მეთილამინოეთანოლ-პიროკატექინის წარმოადგენს და შემდეგი სტრუქტურა აქვს:



ადრენალინი

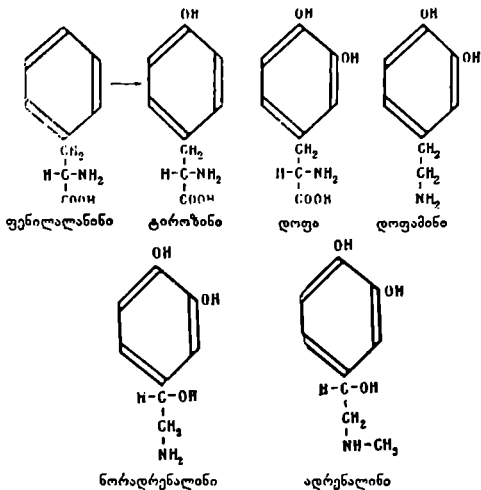
სინთეზური ადრენალინი ოპტიკურად უმოქმედოა. თირკმლისზედა ჯირკვალში წარმოადგენილი იზომერი აბრუნებს პოლარიზაციის სიბრტყეს მარჯვნივ $[\alpha]_D^{20} = +50,72^\circ$. სინთეზური ადრენალინის ფიზიოლოგიური აქტივობა ორჯერ ნაკლებია. ოპტიკურ ანტიპოდებად გაყოფისას მარჯვენა იზომერის მოქმედების სიძლიერე უმნიშვნელოა, ხოლო მარცხენა იზომერის სიძლიერე ეთანაბრება ბუნებრივს.

ადრენალინი კრისტალდება ნემსებისა და რომბოედრების სახით, წყალში კარგად იხსნება. წყლის ხსნარიდან ადვილად კრისტალდება ამონიაკის თანდასწრებისას. ადრენალინის სუფთა პრეპარატი ჰაერზე ადვილად იყენება, მას ფელინგის სითხის აღდგენის უნარი აქვს, ფიზიოლოგიურ პირობებში ადრენალინის არაუქუქცევადი დაქანგვა აცილებულია გლუტათიონით, ასკორბინის მეავით, ცისტეინით, ე. ი. ქანგვა-აღდგენით სისტემებით. ჰაერზე კი ის სწრაფად იყენება, შთანთქავს ქანგბადის 8—9 ატომს და დაქანგვის უქანასკნელ სტადიაში გამოყოფს ნახშირორჟანგს.

ადამიანის ორგანიზმი შეიცავს დაახლოებით ადრენალინის 4 მგ, ბავშვის ორგანიზმში ის მილიგრამის მეათედებს აღწევს. ადრენალინის რაოდენობა დამოკიდებულია აგრეთვე სქესზე. მდებარებითი სქესის წარმომადგენლებში ის გაცილებით ნაკლებია.

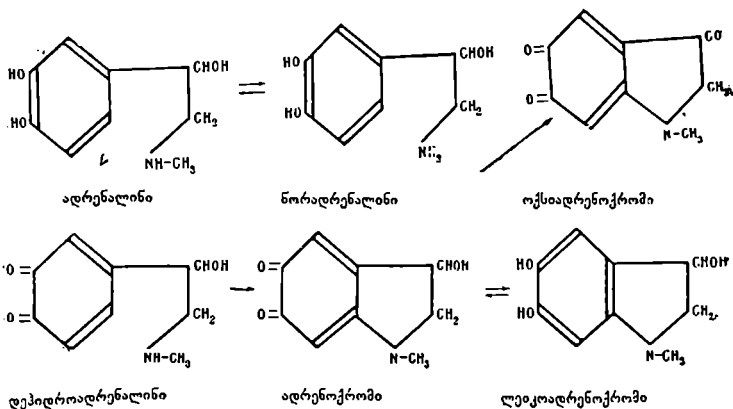
ადრენალინის ძალიან მცირე რაოდენობით ორგანიზმში შეყვანისას სისხლის წნევა მატულობს. ეს მოვლენა გამოწვეულია იმით, რომ ადრენალინი იწვევს კაპილარების შეკუმშვას, რის შედეგად მათი დიამეტრი მცირდება. ადრენალინი გავლენას ახდენს ყველა იმ ორგანოს ცხოველმოქმედებაზე, რომელთა ინერვაცია ს ი მ მ ა თ ი კ უ ს ი თ წარმოებს. მისი მოქმედება ემსგავსება სიმპათიკური ნერვის უშუალო გაღიზიანებას; ეს არის მიზეზი, რომ ადრენალინი კაპილარების შევიწროებას, თვალის გუგის გაგანიერებასა და ნაწლავების პერიტალტიკის შენელებას იწვევს.

ადრენალინის ბიოსინთეზი დაკავშირებულია ფენილალანინისა და ტიროზინის გარდაქმნასთან. იზობოტური ტექნიკის გამოყენებამ დღეისათვის საბოლოოდ გაარკვია იმ ორი ამინომჟავას გარდაქმნის გზა, რის შედეგად წარმოიშობა ადრენალინი და მისი მონათესავე ნაერთები, რომელნიც გაერთიანებული არიან კატექოლამინების სახელწოდებით. ადრენალინის ბიოსინთეზი იწყება ფენილალანინისა და ტიროზინის ქანგვითი გარდაქმნისაგან. ტიროზინისაგან ფერმენტ დოფა-ოქსიდაზას ზემოქმედებით წარმოიშობა დიოქსიფენილალანინი (დოფა). დოფა არის კატექოლამინების პირველი წარმომადგენელი. მისი დეკარბოქსილირება იძლევა დოფა-ამინს, ხოლო უქანასკნელს დაქანგვა ნორადრენალინს (ნორაფედრინს). გარდაქმნის საბოლოო ეტაპი დაკავშირებულია ნორადრენალინის მეთილირებასთან და წარმოიშობა ადრენალინი. ამ რეაქციაში მეთილის ჯგუფის წყაროდ გამოიყენება მეთიონინი.



საგულისხმოა ის ფაქტი, რომ თავის ტვინში ძირითადად წარმოდგენილია ნორადრენალინი, ხოლო თირკმლისზედა ჯირკვალში სინთეზირდება ადრენალინი. რადგან ადრენალინის შეყვანა ცხოველის ორგანიზმში იწვევს სიმპათიკური ნერვის გაღიზიანების მსგავს ეფექტს, აქედან ის დასკვნა უნდა გაკეთდეს, რომ სიმპათიკები, რომლებიც სიმპათიკურ ნერვულ დაბოლოებებში გამოიყოფიან, წარმოადგენენ ადრენალინის მონათესავე ნაერთებს.

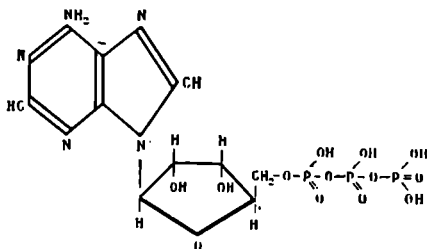
დიდი მუშაობაა ჩატარებული იმ მრავალფეროვანი გარდაქმნების შესწავლის მიზნით, რომელსაც ადრენალინი განიცდის. ორგანიზმში ამ გარდაქმნების შედეგად წარმოიშობა ნაერთები, რომლებიც ერთიმეორისაგან ფიზიოლოგიური მოქმედებით განსხვავდებიან. უნდა ვიფიქროთ, რომ ადრენალინის მიერ გამოწვეული სხვადასხვა ეფექტი შედეგია იმ ნაერთებისა, რომლებიც ადრენალინისაგან იქმნებიან.



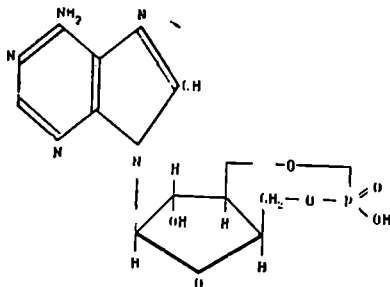
საგულისხმოა ადრენალინის გავლენა ნახშირწყლების ცელაზე; ადრენალინის შეყვანისას ადგილი აქვს გლუკოზურეას; სისხლში მატულობს გლუკოზის რაოდენობა, ის დაწვას ვერ ასწრებს და მოუხმარებლად შარდში გადადის. ამ მხრივ ადრენალინი ინსულინის ანტაგონისტია. ინსულინის მოქმედების შეკავების შემდეგ ადრენალინი იწვევს ღვიძლში გლიკოგენის ენერგიულ დაშლას გლუკოზად; ამავე დროს ქსოვილში ნელდება გლუკოზის მოხმარება. ადრენალინის განზავება 1:200 მილიონჯერ კიდევ გავლენას ახდენს ნაწლავების პერისტალტიკაზე. განზავება 1:550 მილიონჯერ კიდევ შესამჩნევ გავლენას ახდენს საშოს კუნთებზე. ერთ კგ ცოცხალ წონაზე 0,1—1 მგ-ს შეშხაპუნება ორგანიზმის დაღუპვას იწვევს.

თირკმლისზედა ჭირკვლის ექსტირპაციის შემდეგ სისხლის წნევა კატასტროფულად კლებულობს. ადრენალინის შეყვანისას გულის სიმპათიკურ ნერვულ დაბოლოებათა გაღიზიანების გამო ადგილი აქვს გულის მუშაობის განახლებას.

სულ უკანასკნელ დროს გაირკვა ადრენალინის მოქმედების ბიოქიმიური მექანიზმი. უნდა ვიფიქროთ, რომ დანარჩენი კატექოლამინების მოქმედებას წაგავსი მექანიზმი უდევს საფუძვლად. ადრენალინის ზეგავლენით აქტივდება ფერმენტი ადენილ-ციკლაზა, რომელიც კატალიზურად მოქმედებს ატფ-ზე და წარმოიშობა 3', 5'-ადენილის მეავა.



ადენოზინტრიფოსფატი



ციკლური ადენილის მეავა

3'—5' ადენილის მეავა კი თავის მხრივ ხელს უწყობს არააქტიური ფოსფორილაზა ა-ს გარდაქმნას აქტიურ ფოსფორილაზა ხ-დ, ე. ი. ადგილი აქვს.

ფოსფორილაზა ა-ს ფოსფორილირებას. ფოსფორილაზას გააქტივება ააქტივებს გლიკოგენის ფოსფორილაზას და გლუკოზო-1-ფოსფატის დაგროვებას, ე. ო. აღრენალინი ხელს უწყობს გლიკოგენის მოხმარების გაძლიერებას ქსოვილებში. ნორადრენალინი მედიატორად სიმპათიკურ ნერვულ ქსოვილში გვევლინება. ის მონაწილეობას ლებულობს ნერვული იმპულსის გადაცემაში სიმპათიკურ ნერვულ დაბოლოებებში. უნდა ვიგულისხმოთ, რომ ამ გადაცემას საფუძვლად უდევს გარკვეული ქიმიური გარდაქმნები.

§ 4. კორტიკოსტეროიდები

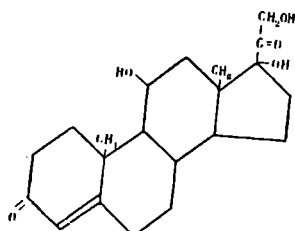
თირკმლისზედა ჯირკვლის ქერქოვან შრეში მუშავდება რამდენიმე ჰორმონი.

ქერქოვანი შრე მნიშვნელოვანი სასიცოცხლო ფუნქციების მატარებლად არის მიჩნეული. მისი სრული ექსტირპაცია იწვევს სიკვდილს შემდეგი სიმპტომებით: კუნთების სისუსტე, კრუნჩხვები, სუნთქვის სისშირის შემცირება, სისხლის თანდათანობითი გასქელება. თირკმლისზედა ჯირკვლის ექსტრაქტის მიცემით შესაძლებელი ხდება ექსტირპაციაქმნილი ცხოველების (კატები, ძაღლები) სიცოცხლის შენარჩუნება იმგვარად, რომ მათ ესპობათ დაავადების ყოველგვარი ნიშანი. ექსტრაქტის მიცემის შეწყვეტა იწვევს სიკვდილს ზემოაღნიშნული სიმპტომებით.

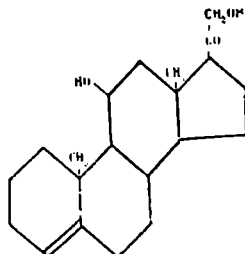
ჯირკვლის ექსტრაქტიდან დამზადებული პრეპარატი წარმოადგენს ფენანტრენის ბირთვის შემცველი ნაერთების ნარევის, სახელობრ, სტერონების. სტერონი კეტო-ნაწარმია და თავისი შენებით ემსგავსება ქოლესტერონს. ქოლესტერონი რომ სტერონების წყაროა, მტკიცდება იმ ფაქტით, რომ ჯირკვლის აკრეტორული მოქმედების სტიმულირების შემდეგ ქოლესტერონის რაოდენობა ჯირკვალში კლებულობს.

თირკმელზედა ჯირკვლის ქერქოვან შრეში იქმნება 30 სხვადასხვა შენების პქონე სტეროიდული ჰორმონი. ამ ჰორმონების ერთი ჯგუფი სექსუალური ჰორმონების იდენტურია, დანარჩენები წარმოადგენენ ოთხი ძირითადი ჰორმონის სინთეზისა და გარდაქმნის შუალედ პროდუქტებს. იზოტოპური ტექნიკის საშუალებით დამტკიცდა, რომ კორტიკოსტეროიდების სინთეზისათვის მოიხმარება ძმრის მეთავს ნაშთები, რაც დამახასიათებელია საერთოდ ყველა სტერინებისათვის და კერძოდ ქოლესტერინისათვის, მგარამ კორტიკოსტეროიდების სინთეზისათვის არ არის საჭირო ქოლესტერინი, ის არ წარმოადგენს კორტიკოსტეროიდების წყაროს.

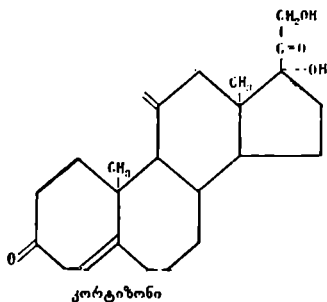
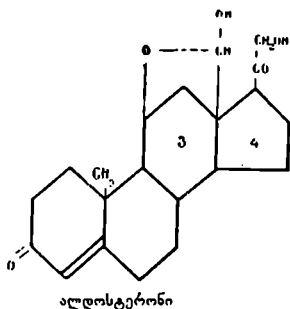
კორტიკოსტეროიდებიდან გამოირჩევა ოთხი წარმომადგენელი, რომელთაც წამყვანი როლი ენიჭებათ თირკმლისზედა ჯირკვლის ფუნქციაში. ესენი არიან: კორტიზოლი, კორტიკოსტერონი, ალდოსტერონი და კორტიზონი:



კორტიზოლი



კორტიკოსტერონი



კორტიკოსტეროიდების მოქმედების ხასიათი ერთიმეორისაგან დიდად განსხვავდება, მაგრამ ამავე დროს ყოველი ცალკე წარმომადგენელი თავის ძირითად მოქმედებასთან ერთად ამჟღავნებს მის მონათესავე ნაერთის თვისებებს. მათი ძირითადი ფუნქციები მოცემულია ქვემოთ;

ალდოსტერონი: ნატრიუმისა და კალიუმის იონების ცვლის რეგულაცია ორგანიზმში.

კორტიზონი: ანთებითი პროცესების შეკავება, კუნთის მუშაობის გაღებვა.

კორტიზოლი: გლიკოგენის ზინთეზის გაძლიერება.

კორტიკოსტერონი: ანთებითი პროცესების შეკავება.

კორტიკოსტეროიდების ზეგავლენა ორგანიზმში მიმდინარე გარდაქმნებში ხორციელდება ორი მიმართულებით: 1. ფერმენტულ აქტივობაზე და 2. იმ ენჯექტზე გავლენით, რომელსაც ის ახდენს გენეტიკურ მექანიზმზე (ტრიადა დნმ-რნმ-ცილა)

§ 5. ინსულინი და გლუკაგონი

მინკოვსკის მიერ აღმოჩენილი იყო, რომ პანკრეასულ ჯირკვალს აქვს ნახშირწყლების ცვლის რეგულაციის უნარი. აქტიურ საწყისს, რომელსაც ეს უნარი მინიჭებული აქვს, შეიცავს ლანგერჰანის კუნძულების სეკრეტი. აბელმა ჯირკვლიდან გამოჰყო კრისტალური სახით პორმონი, ე. წ. ინსულინი. გამოირკვა, რომ მას აქვს პოლიმეტიდური ბუნება და აშენებულია ამინომჟავები-საგან. ინსულინი სტაბილურ მდგომარეობაში იმყოფება, როდესაც არის pH = 4,5—7,0. ინსულინის პოლიმეტიდური ჯაჭვის მოლეკულური წონა გამორკვეულია ულტრაცენტრიფუგირების მეთოდით და უდრის 6000. ორი პოლიმეტიდური ჯაჭვი ინსულინის ერთ მოლეკულაში დაკავშირებულია გოგირდის ხიდაკებით, შედეგად იქმნება კომპლექსი, რომლის მოლეკულური წონა უკვე 12000 უდრის.

შედარებით უფრო ადრე ცნობილი იყო, რომ ინსულინის პრეპარატი შეიცავს ცინკს. მხოლოდ უკანასკნელ დროს გაირკვა ცინკის დაკავშირების ადგილი ინსულინის მოლეკულაში. ამჟამად დადგენილია, რომ ცინკი მონაწილეობას ღებულობს მონომერების დაკავშირებაში. მიღებული ორი დიმერი შემდეგ ელექტროსტატიკური და ვანდერვაალსის ძალებით ქმნის კომპლექსს, რომლის მოლეკულური წონა უდრის 24000-ს. ინსულინის მაკრომოლეკულის შენებაში მონაწილეობას ღებულობს უკვე 8 მონომერი. 1964 წელს მოხერხდა

ინსულინის ქიმიური სინთეზი, რომელსაც აღმოაჩნდა ბუნებრივი ინსულინის ბიოლოგიური აქტივობა.

ინსულინთან ერთად კუჭქვეშა ჯირკვალში იკმნება მეორე ჰორმონი, რომელიც აძლიერებს გლიკოგენის სინთეზს ღვიძლში და ერთდროულად ადიდებს გლუკოზის რაოდენობას სისხლში. ამ ახალ ჰორმონს მიენიჭა გლუკაგონის სახელწოდება. ადრენალინთან გლუკაგონს აერთიანებს ის, რომ მისი ორგანიზმში შეყვანისას ვითარდება ჰიპერგლიკემია. დიაბეტი შეიძლება გამოწვეული იყოს არა მარტო იმით, რომ ინსულინის პროდუქცია ჯირკვალში შემცირებულია, არამედ იმითაც, რომ გლუკაგონის სინთეზი გაძლიერებულია. დიაბეტის ასეთი შემთხვევის დროს საჭიროა არა ინსულინის შეყვანა ორგანიზმში, არამედ გლუკაგონის სინთეზის შეკავება.

გლუკაგონი ქიმიური თვალსაზრისით პოლიპეტიდია, აშენებული 29 ამინომჟავას ნაშთებისაგან. ჯაქვის N-ტერმინალური ამინომჟავა არის ჰისტიდინი, ხოლო C-კიდური — ტრეონინი. დღეისათვის უკვე გარკვეულია ამინომჟავათა თანმიმდევრობა გლუკაგონის პოლიპეტიდურ ჯაქვში.

ამინომჟავებიდან ინსულინში ყველაზე მეტი რაოდენობით წარმოდგენილია გლუტამინის მჟავა, ხოლო დიამინომჟავების რაოდენობა გაცილებით ნაკლებია. მიუხედავად ამისა თავისუფალი ამინის ჭკუფების რაოდენობა კარბობს კარბოქსილის ჭკუფებს. ინსულინის მეორე დამახასიათებელი ნიშანი იმაში მდგომარეობს, რომ ის არაჩვეულებრივად დიდი რაოდენობით შეიცავს ცისტინს. როგორც ირკვევა, ინსულინის აქტივობა ისპობა ცისტინის გოგირდის ალდგენის შემთხვევაში. თავისუფალი ამინის ჭკუფებს აგრეთვე დიდი მნიშვნელობა ენიჭება აქტივობაში. მათი დაკავშირებისას ფორმალდეჰიდით ინსულინის აქტივობა ძლიერ ქვეითდება.

ინსულინი ადვილად იერთებს ორვალენტოვან მეტალებს. დაკავშირების შემდეგ ინსულინი უფრო ადვილად კრისტალდება და უფრო მეტ გამძლეობას იჩენს.

რაც უფრო სუფთაა ინსულინის პრეპარატი, მით უფრო ნაკლები სტაბილობით ხასიათდება ის. ინსულინზე პეპსინის ან ქიმოტრიპსინის (და არა ტრიპსინის) მოქმედებისას ის ჩვეულებრივ პროტეოლიზს განიცდის და თავის აქტივობას მთლიანად კარგავს. ამის გამო მისი ორალური შეყვანა ორგანიზმში არავითარ ეფექტს არ იწვევს.

ადამიანის პანკრეასი გამოიმუშავებს დღე-ღამის განმავლობაში 8 მგ ინსულინს. ამ რაოდენობის გაზრდა იწვევს კრუნჩხვებს. მისი 20 მგ წარმოადგენს სასიკვდილო დოზას. ინსულინის შეყვანისას შემჩნეულია, რომ ქსოვილებში ნახშირწყლების მარაგი ძალიან მცირდება და სისხლში შაქრის რაოდენობა კლებულობს. პირიქით, თუ პანკრეასში ინსულინის პროდუქცია შემცირებულია, სისხლში გლუკოზას რაოდენობა მატულობს და ის შარდში მოუხმარებელი გადადის.

ინსულინის უქონლობისას ან მცირე რაოდენობისას ქსოვილს ეკარგება გლუკოზას დაქანგვის უნარი. პირიქით, ინსულინის შეყვანისას ცხრველთა ორგანიზმში (ვენაში ინექციის შემწეობით) გლუკოზა ინტენსიურ წევას განიცდის, რის შედეგად სუნთქვის კოეფიციენტი იზრდება.

სპეციფიკური გავლენა აქვს ინსულინს ღვიძლზე. ის დადებით გავლენას ახდენს ღვიძლში მიმდინარე გლიკოგენის სინთეზურ პროცესზე. გლუკოზა ინსულინის ზეგავლენით ღვიძლში გარდაიქმნება გლიკოგენად. ამ მხრივ ის აღრე-

მ.ლინი ანტაგონისტა. რომელიც, პირიქით, ხელს უწყობს ღვიძლში გლიკოკანის დაშლას.

ინსულინის ინექციით გამოიწვევა ისეთი მოვლენა, რომელიც დიაბეტის აჟინაზმდევო სურათს იძლევა. პანკრეასული დიაბეტის დროს ღვიძლში და კუნთოვან ქსოვილში წარმოებს გლიკოგენის ინტენსიური ჰიდროლიზი. ქსოვილის გლიკოგენის სინთეზის უნარი შეკავებულია, ხოლო შაქრის მოხმარება ძალიან შემცირებულია. ნაწლავებიდან შემოსული და სათადარიგო გლიკოგენისაგან მიღებული შაქარი უშუალოდ სისხლში გადადის, რაც იწვევს სისხლში გლუკოზის კონცენტრაციის არანორმალურ ზრდას (ჰიპერგლიკემიას). ვინაიდან ამავე დროს თირკმლების განვლადობის უნარი გლუკოზს მიმართ გადიდებულია, შაქარი გადადის უშუალოდ შარდში (გლუკოზურია). საკვებში ნახშირწყლების შემცირება მიზანს ვერ აღწევს, რადგან ორგანიზმი უფრო ინტენსიურად აშენებს დიაბეტის დროს ნახშირწყლებს ცხიმებისაგან და ცილებისაგან. ამ ნივთიერებათა გარდაქმნის შედეგად აცეტონის სხეულების კონცენტრაცია შარდში არაჩვეულებრივად მატულობს.

§ 6. სასქესო ჯირკვლის ჰორმონები

სქესობრივი ხასიათის ცვლილებები განვითარების უმაღლეს საფეხურზე მდგომ ცხოველებში დაკავშირებულია სასქესო ჯირკვლების მოქმედებასთან. ახალგაზრდა ცხოველის კასტრაცია იწვევს ორგანიზმის მეორადი სქესობრივი ნიშნების დეგრადაციას და ინფანტილიზმს (ინფანს ნიშნავს ბავშვობას). სქესობრივად მომწიფებული ორგანიზმის კასტრაცია იწვევს სასქესო ორგანოების ატროფიას, სქესობრივი ციკლის შეწყვეტას და მრავალ სხვა მოვლენას (მაგალითად, მამრობითი სქესის ცხოველის მოთვინიერება, ხმის შეცვლა, გასუქება და სხვ.). კასტრაციის შედეგად აღმოცენებული ნიშნების ნაწილობრივი შეცვლა მამრობით ორგანიზმებში შესაძლებელი ჰდება სათესლის (ტესტიკულის), ხოლო მდედრობით ორგანიზმებში საკვერცხის (ოვარიას) ექსტრაქტის შეყვანით. აქედან გამომდინარეობს, რომ ორივე სქესის სპეციფიკური ჰორმონები ვითარდება სასქესო ჯირკვლებში. მათი ფიზიოლოგიური დანიშნულება გამოიხატება:

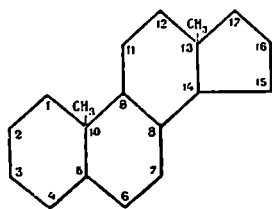
- 1) სასქესო ორგანოების განვითარებაში,
- 2) ზრდის პროცესების ხელშეწყობი პირობების შექმნაში,
- 3) სქესობრივი ციკლის რეგულირებაში და
- 4) მეორადი სქესობრივი ნიშნების განვითარებაში.

უკანასკნელი წლების მონაცემების მიხედვით ირკვევა, რომ სექსუალური ჰორმონების დაჯგუფება შესაძლებელია ორი ჰორმონის ირგვლივ. ერთი — ანდროსტერონი წარმოადგენს მამრობითი სქესის ჰორმონს, ხოლო მეორე — ესტრონი (ა-ფოლიკულისი, თეელინი) დამახასიათებელია მდედრობითი სქესის ჰორმონისათვის.

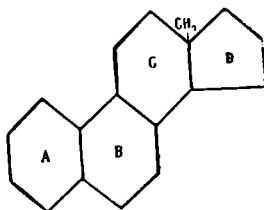
ანდროსტერონის მოლეკულის შენებაში მონაწილეობას ღებულობს ანდროსტანის ბირთვი. ხოლო ესტრონი — ესტრანის.

ჰორმონების ნოქენლატურა გამომდინარეობს მათ მოლეკულაში შემავალი ფუნქციური ჯგუფებისაგან. საჭიროა აღინიშნოს, რომ სახელწოდება ესტრონი წესდებულია 1934 წელს. ყველა ის ჰორმონი, რომელთა ფიზიოლოგიური მოქმედება ენათესავება ესტრონის მოქმედებას, გაერთიანებულია ესტროგენური ჰორმონებას სახელწოდებით:

მას შემდეგ, რაც გამოირკვა ქოლესტეროლის სტრუქტურული ფორმულა, ექვს არ იწვევს ის გარემოება, რომ სუქსუალური ჰორმონები წარმოადგენენ სტეროლების ცვლის პროდუქტებს. მათა სტრუქტურული ფორმულების შედარება ამ კავშირს ააშკარავებს.



ანდროსტანი



ესტანი

შესაძლებელი გახდა არა მარტო ჰორმონების ქიმიური გზით ერთიმეორეში გადაყვანა, არამედ მათი სინთეზი კეტო-ტეტრაჰიდროფენანტრენიდან და ანტრაცენის წარმოებულადან.

ვინაიდან სუქსუალური ჰორმონების შენება სტეროლების შენებას უახლოვდება, წამოიჭრა საკითხი თვით სტეროლების ჰორმონული მოქმედების უნარის შესახებ. გამოირკვა, რომ ესტროგენური მოქმედების უნარს იჩენს ერგოსტეროლი და ვიტამინი D. სტეროლებიდან აქტიუობას იჩენს ისეთი, რომელიც მეტ არანაჭერ კავშირებს შეიცავს.

§ 7. მამრობითი სასქესო ჯირკვლის ჰორმონი — ანდროსტერონი

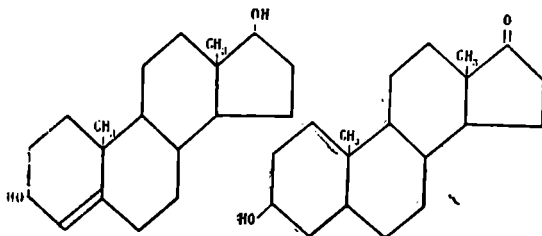
მამრობითი სასქესო ჯირკვლის სუქსუალური ჰორმონი (ტესტიკულის ჰორმონი) გავლენას ახდენს სასქესო ორგანოების განვითარებაზე. მასზე არის დადამოკიდებული სასქესო ორგანოების ფუნქცია, სათესლე ჯირკვლების სასეკრეტო მოქმედება და სპერმის სიცოცხლის ხანგრძლივობა. მისი გავლენით ვრთარდება მეორადი სქესობრივი ნიშნებიც, როგორც მაგალითად, მამლის ბიბილო და ღეზები, ადამიანის წვერ-ულვაში, ირმის რქები და სხვ.

ანდროსტერონის მოქმედების დადასტურება და მისი რაოდენობითი განსაზღვრა წარმოებს კასტრირებული მამლის ბიბილოს ზრდის შესწავლით. ჰორმონის „მამლის ერთეულად“ მიღებული პრეპარატის ის რაოდენობა, რომლის 2—4 დღის განმავლობაში ორჯერ მიწოდება გამოიწვევს კასტრირებული მამლის ბიბილოს ფართობის 20%-ით ზრდას.

სათესლეს და მოსაზღვრე ჯირკვლების გარდა ანდროსტერონის არსებობა სისხლში ზემოხსენებული ცდის (ტესტის) საშუალებით დადასტურებულია. საკმაო რაოდენობით გამოიყოფა ის მამაკაცის შარდშიც. შარდის ერთი ლიტრი შეიცავს ანდროსტერონის 5—6 მამლის ერთეულს. ანდროსტერონის პრეპარატის დამზადებისათვის მიმართავენ აბლაგაზრდა მამაკაცისა და ულაცების შარდს.

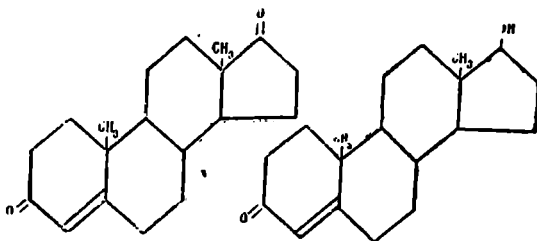
პირველად ანდროსტერონის კრისტალური პრეპარატი დამზადდა 1931 წ. ბუტენანის მიერ. ის ნაჭერი სტერონების წარმომადგენელია და შეიცავს ჰიდროქსილისა და კარბონილის ჯგუფს. მისი მოლეკულა აშენებულია ოთხი ჰიდრირებული ბირთვისაგან. კარბონილის ჯგუფის ალდგენისას სპირტის ჯგუფად წარმოიშობა დიჰიდრონაწარმი დიოლი. დიოლი უფრო მეტ აქტიუობას იჩენს მამლის ბიბილოს ზრდაზე, ვიდრე კეტონი — ანდროსტერონი.

ანდროსტერონის შენება დადასტურებულია ჩანაცვლებისა და დაშლის-პროდუქტების იდენტიფიკაციით. მას შემდეგი შენება უნდა მიეწეროს



ანდროსტენდიოლი

ანდროსტერონი



ანდროსტენდიონი

ტესტოსტერონი

მამაკაცის შარღში ანდროსტერონთან ერთად წარმოდგენილია მისი და-ჯანგვის პროდუქტი დეჰიდროანდროსტერონი. მამლის ბიბილოზე ცდაში ის იჩენს ანდროსტერონის მსგავს ფიზიოლოგიურ მოქმედებას.

ანდროსტერონის, როგორც მამრობითი სექსუალური ჰორმონის, მოლეკუ-ლის მოქმედ ჯგუფად უნდა ჩაითვალოს მესამე და მეჩვიდმეტე ნახშირბად-ატო-მები (იხ. ანდროსტანის ფორმულა) სპეციფიკური კავშირი, სადაც A რგოლში ჩანაცვლებულია ჰიდროქსილის, ხოლო D რგოლში კარბონილის ჯგუფი. სას-ქესო ჯირკვლებიდან გამოყოფილია კიდევ ერთი ჰორმონი, სადაც კარბონილი-სა და ჰიდროქსილის ჯგუფების განწყობა მოლეკულაში ანდროსტერონის სა-წინააღმდეგოა. ამ ჰორმონს ეწოდა ტესტოსტერონი, მისი დამოკიდებულება ანდროსტერონთან ნათლად ჩანს მოტანილი სტრუქტურული ფორმულიდან. ტესტოსტერონის მეთილის ნაწარმი გამოიყენება როგორც თერაპევტიული სა-შუალება. მისი ბიოლოგიური აქტივობა ტესტოსტერონის აქტივობას აღემა-ტება 10-ჯერ. ტესტოსტერონი კი თავის მხრივ ანდროგენურ ჰორმონებში ყვე-ლაზე უფრო აქტიურად ითვლება.

§ 8. მადრობითი სასქესო ჯირკვლის ჰორმონები—მსტრონი

მდედრობით სასქესო ჯირკვალში (საკვერცხეებში) მუშავდება ორი სასქე-სო ჰორმონი. ერთი იქმნება ფოლიკულში და ემსახურება კვერცხის მომწიფე-ბას: მეორე ყვეთელ სხეულში (Corpus luteus) ვითარდება კვერცხის მომწიფე-ბის შემდეგ და გავლენა ახდენს საშვილოსნოს ლორწოვანა კარსის სასეკრე-ციო გარსად გარდაქმნაზე.

ფოლიკულში აღმოცენებული მდებარებითი სექსუალური ჰორმონის ესტრონი (ფოლიკულინი ანუ თეელინი) იწვევს მდებარებითი სასქესო ორგანოს ზრდას და სპეციფიკურად მოქმედებს საშვილოსნოზე, სარძევე ჯირკვალზე და საშოზე. ის ააქტივებს ფოლიკულის მომწიფების შემდეგ საშვილოსნოს ლორწოვანი გარსის პროლიფერაციის პროცესს და ამრიგად იწვევს მდებარებითი სასქესო ორგანოებისათვის დამახასიათებელ გაღიზიანებასა და მენსტრუაციას.

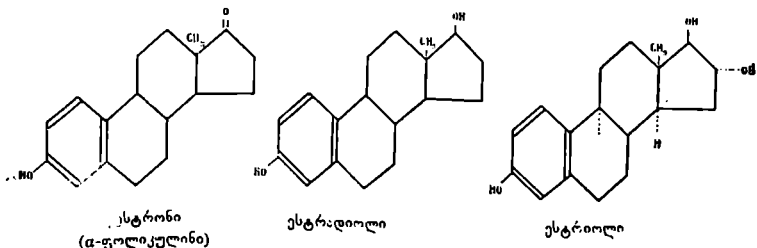
ფოლიკულინის მოქმედება შეიწავლება კასტორებელი მდებარებითი სქესის თავის „სექსუალური ლტოლის“ რეაქციის საშუალებით. „თავის ერთეულად“ მიჩნეულია ჰორმონის ის რაოდენობა, რომლის კანქვეშა ინექციას შეუძლია კასტორებელ თავგში გამოიწვიოს ზურების ერთხელობრივი ციკლი.

ესტრონი მოიპოვება საყვარტებში. ფოლიკულში, ფოლიკულის სითხეში, სისხლში და შარდში. ორსულობის დროს ის მუშავდება პლაცენტაში და დიდი რაოდენობით გამოიყოფა შარდში. განსაკუთრებით მდიდარია ესტრონით მაკე ფაშატის შარდი. საზოგადოდ, ესტრონი ძალიან გავრცელებული ნაერთია; ის ზემოზსნებულის გარდა მოიპოვება აგრეთვე მცენარეულობაში და მთამადნეულ ბიტუმებში. მთამადნეულში მისი არსებობა უნდა აიხსნებოდეს მცენარეულობის ნაშთებიდან გადასვლით. ესტრონი მოიპოვება აგრეთვე, როგორც ანდროსტერონის თანამზავარი, ულაცის სათესლეში და შარდში.

ესტრონის სუფთა კრისტალური პრეპარატი დამზადდა ბუტენანის მიერ 1929 წ. გამოსავალ მასალად იზარებოდა ჯერ ორსული ქალებისა და შემდეგ კი მაკე ფაშატის შარდი. ფოლიკულის გამოცალკეებისათვის გამოყენებულია მისი ხსნადობა ორგანულ გამხსნელებში, სტაბილობა ტუტის, მეთაცასა და მალალი ტემპერატურის მიმართ. სხვადასხვა გამხსნელის, ტუტისა და მეთაცას თანამიმდევრობითი მოქმედების შედეგად შარდისგან დამზადდა ექსტრაქტი. მიღებული ნარევიდან გამოყოფილ იქნა ნედლი პრეპარატი, რომლის დესტილაცია იძლევა კრისტალური შენების მქონე ჰორმონს. მისი გადაკრისტალება შესაძლებელი ზდება ალკოჰოლისა და ძმარმეთა ეთერის ხსნარიდან.

ესტრონი კრისტალდება მონოკლინურ ან რომბულ სისტემაში და იძლევა შთანთქმის სპექტრის დამახასიათებელ მაქსიმუმს 280—285 m μ . მისი ლობის ტემპერატურა უდრის 255°. ზედრიითი ოპტიკური ბრუნვა $[\alpha] = +156^\circ$. ამგვარი ნიშნებით ხასიათდება ესტრონი (α -ფოლიკულინი), რომელიც არანაჯერ ოქსიკეტონს წარმოადგენს.

ესტრონის გარდა შარდში და პლაცენტაში აღმოჩენილია ესტროგენური ჰორმონების მთელი რიგი, რომლებიც აღქმრვილია ესტრონის მაგვარი ფიზიოლოგიური თვისებებით. ქვემოთ მოტანილი სტრუქტურული ფორმულები წარმოადგენს იძლევა მათი ურთიერთგანსხვავების შესახებ.



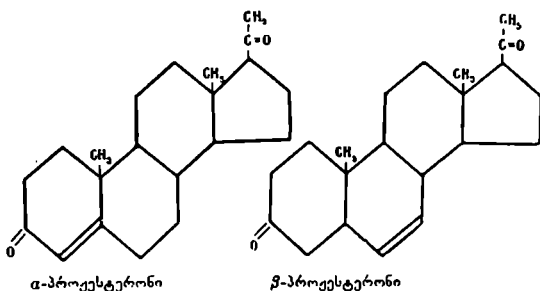
ესტრონის კეტო-ჯგუფის ჰიდრირებისას ანდროსტერონის მსგავსად წარმოიშობა დიჰიდრო-ესტრონის ორი იზომერი: α -და β -ესტრადიოლი. α -ესტრადიოლის ფიზიოლოგიური აქტივობა გაცილებით მეტია, ვიდრე ესტრონის. მისი 0.05 გამა საკმარისია, რომ კასტრირებულ თავგში გამოიწვიოს მენსტრუაციის ციკლი.

ესტროგენური ჰორმონების ჯგუფს ეკუთვნის აგრეთვე ესტრიოლი, ექვილინი, ექვილინენი და სხვ.

ყველა ეს ნაერთი ნაპოვნია მაკე ცხოველთა შარღში. მათი შენება დადგენილია ურთიერთგარდაქმნის რეაქციების შემწეობით.

ყვითელი სხეულიდან გამოყოფილი პროექსტერონი ძალიან ახლოს დგას თავისი შენებით ანდროსტერონთან და ესტრონის ჯგუფის ჰორმონებთან. მისი დანიშნულება გამოიხატება ესტრონის გავლენით საშვილოსნოს პროლიფერირებული ლორწოვანი გარსის სასეკრეციო გარსად გარდაქმნაში.

ყვითელი სხეულის ჰორმონის ერთეულად მიღებულია ნივთიერების ის რაოდენობა, რომელიც საკმარისია, რომ ბაჭის საშვილოსნოს პროლიფერირებული ლორწოვანი გარსი საესებით გარდაიქმნეს სასეკრეციო გარსად. პროექსტერონი გროვდება როგორც ჭირკვალში, ისე პლაცენტაში. პროექსტერონი აბსოლუტურად აუცილებელია მაკეობის ნორმალური მსვლელობისათვის.



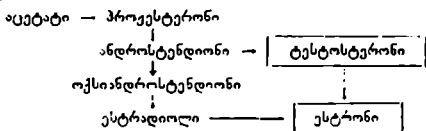
α -პროექსტერონის ღებობის ტემპერატურა უდრის 128° , ხოლო β -იზომერის — 121° . პროექსტერონის ქიმიური შენება გამოკვეთულია ბ უ ტ ე ნ ა ნ ის მიერ, რომელმაც მისი მიღება სტიგმასტეროლისაგან შეძლო.

§ 5. სავსალური ჰორმონების ურთიერთკავშირი და ცვლა

სექსუალური ჰორმონები ქიმიური თვალსაზრისით სტერონების ნაწარმები არიან და მათი სინთეზის წყარო არის აცეტატი. ეს დაბტკიცებულია იზოტოპური მეთოდის გამოყენებით. თავიდანვე დაისვა კითხვა, გამოიყენება თუ არა ქოლესტერინი ჰორმონების სინთეზისათვის. ამ კითხვაზე უარყოფითი პასუხი იქნა მიღებული. როგორც ირკვევა, ტესტოსტერონიდან იქმნება დანარჩენი ანდროგენური ჰორმონები. საყურადღებოა ის ფაქტი, რომ ტესტოსტერონი გამოიყენება სხვა ჰორმონების სინთეზისათვის არა მარტო სათესლეში, არამედ სხვა ორგანოებშიც.

საყურადღებოა ის ფაქტი, რომ ტესტოსტერონის სინთეზი ხორციელდება ფოლიკულებშიც. აქ ანდროგენური ჰორმონები სწრაფად გარდაიქმნებიან

ესტროგენურ ჰორმონებად. ყველაფერი ზემოთ ნახსენები შეიძლება ასეთი სქემით გამოიხატოს:



სექსუალური ჭირკვლის პროდუქტები თავისუფლად გადადიან სისხლში და გავლენას ახდენენ ქსოვილებისა და ორგანოების ცხოველმოქმედებაზე. ეს ზეგავლენა ხორციელდება მოლეკულურ დონეზე — სექსუალური ჰორმონები გავლენას ახდენენ ფერმენტულ აქტივობაზე. მიუხედავად იმისა, რომ ამ მხრივ დაგროვილია ძალიან დიდი ექსპერიმენტული მასალა, ჯერ კიდევ ვერ დამუშავდა მათი მოქმედების შემოქმედელი თეორია. დიდი მნიშვნელობის არის ის ფაქტი, რომ კორტიკოსტეროიდებისა და სექსუალური ჰორმონების ცვლის გზები ერთმეორეს ემსგავსება.

§ 10. ჰიპოფიზის (ბჰინის დანამატის) ჰორმონები

ტვინის დანამატი ანუ ჰიპოფიზი ფუნქციონირებს როგორც შინაგანი სეკრეციის ჭირკვალი. ამ ჭირკვალში იქმნება მრავალი ჰორმონი. ზოგიერთი მათგანის ფიზიოლოგიური მნიშვნელობა დიდი ხანია დადასტურებულია, მაგრამ მათი სუფთა სახით მიღება ჯერ კიდევ ვერ მოხერხდა, და ამის გამო ქიმიური შენებაც არ არის ცნობილი. ვინაიდან ამ ნივთიერებათა დახასიათება და შესწავლა ბიოქიმიური კვლევის მნიშვნელოვან ამოცანას შეადგენს, ამისათვის აქ ისინი მოკლედ განიხილება.

ტვინის დანამატი შედგება სამი ნაწილისაგან: წინა, შუა და უკანა ნაწილ-საგან.

ჰიპოფიზის წინა წილის ჰორმონები. ზრდის ჰორმონი. ჰიპოფიზის წინა წილის დამოკიდებულება ზრდასთან მტკიცდება შემდეგი კლინიკური დაკვირვებებით. ჭირკვლის გაძლიერებული მოქმედება იწვევს დაავადებას, რომელიც ცნობილია აკრომეგალიის სახელწოდებით. ამ დროს ადგილი აქვს კიდურების სიგრძის გადიდებას, სახის, ენისა და ხორხის დეფორმაციას, ეპიდერმისის გაუხეშებას და გასქელებას. განსაკუთრებით გამოვლინდება ზემოხსენებული სიმპტომები მოზარდ ცხოველში. კიდურების ლულისებრი ძვლების ზრდის გამო ადგილი აქვს ბუმბერაზულ ზრდას, გიგანტიზმს.

პირიქით, როდესაც ჰიპოფიზის წინა წილის ფუნქცია შემცირებულია, ადგილი აქვს ზრდის შეჩერებას (ჰონდრისკაცია). მრავალი ცდით, რომელიც დაყენებულ იქნა ძალღებზე, ვირთაგებზე, აქსოლოტლებზე. თაყობმაღლებზე და სხვა ცხოველებზე, ზემოხსენებული კლინიკური დაკვირვება მტკიცდება. გამოირკვა, რომ წინა წილის ექსტრაქტის შეყვანა მოზარდ ცხოველებში იწვევს ზრდის აჩქარებას და ზოგიერთ შემთხვევაში გიგანტიზმს.

ზრდის ჰორმონის ქიმიური თვისებების შესახებ ცოტა რამ არის ცნობილი. რქიანი საქონლის ჭირკვლიდან ჰორმონის მოქმედი ექსტრაქტი მზადდება ჭირკვლის წინა წილის დამუშავებისას 40% ალკოჰოლით, მოქმედი საწყისი გადადის ხსნარში, ხსნარიდან ჰორმონი ილექება 96% ალკოჰოლით. ის მგრძობიარეა გაცხელებისა და ტუტის მიმართ და ინაქტივდება პროტეოლიზური ფერმენტებით. ზრდის ჰორმონი ტიპურ გლობულინს წარმოადგენს. მისი მოლეკულური წონა მერყეობს სხვადასხვა ცხოველთა წარმომადგენლებში 25.000—

47.000 ფარგლებში. მისი მოქმედება მიმართულია ნივთიერებათა ცვლაზე. განსაკუთრებით ცილების ცვლაზე.

ჰიპოფიზის წინა წილის გონადოტროპული ჰორმონი. პარალანი A და B. ჰიპოფიზის წინა წილში იქმნება აგრეთვე დიდი მნიშვნელობის მქონე ჰორმონები, რომლებიც გავლენას ახდენენ სექსუალური ჯირკვლების ცხოველმყოფელობაზე. ამ გონადოტროპულ ჰორმონებს სპეციფიკურობა არ ახასიათებს და ისინი მოქმედებას იჩენენ ორივე სქესის წარმომადგენლებზე. გამოირკვეულია, რომ ჰიპოფიზის წინა წილში გამოიმუშავდება სამი ჰორმონი: ლუტეინიზაციის, ლაქტაციის ჰორმონები და ფოლიკულის მასტიმულირებელი ჰორმონი (პარალანი A). რომელიც გავლენას ახდენს ფოლიკულების დამწიფებაზე. ლუტეინიზაციის მასტიმულირებელი ჰორმონი (პარალანი B) მოქმედებს ყვითელ სხეულზე. ამავე დროს მამრობითი სასქესო ორგანოების განვითარება და სათესლე ჯირკვლის სეკრეცია უშუალოდ დამოკიდებულებაშია პარალანების ფიზიოლოგიურ აქტივობასთან.

მდებრობით ორგანიზმში პარალანების სეკრეცია ორსულობის პირველ სტადიაში დიდ ოდენობას აღწევს. ამ დროს პარალანები შარდში გადადის და ამ გარემოებით სარგებლობენ ორსულობის აღმოჩენისათვის.

თუ მონარდ ცხოველს ჰიპოფიზის წინა წილი მოშორებული აქვს, ის სქესობრივ განვითარებას ვერ აღწევს. ჯირკვლის ექსტრაჰაცია ზრდადამთავრებულ ცხოველებში იწვევს სპერმის პროდუქციის შეწყვეტას. ფოლიკულების მომწიფებისა და ლტოლვის ციკლების შემცირებას. სასქესო ორგანოებისა და ჯირკვლების თანდათანობით ატროფიას.

იმ მოვლენების მოსპობა, ან ყოველ შემთხვევაში შენელება. რომელიც დაკავშირებულია წინა წილის ექსტრაჰაციასთან, შესაძლებელი ხდება ჯირკვლის გადაწერვის საშუალებით. გადანერგვა მდებრობითი სქესის ცხოველებზე დადებით გავლენას ახდენს საკვერცხეების გადიდებაზე. ახალი ფოლიკულებისა და ყვითელი სხეულების განვითარებაზე. მამრობითი ცხოველების შემთხვევაში ადგილი აქვს სექსუალური ლტოლვის აღდგენას. სათესლე აღწევს ნორმალურ წონას და სპერმის პროდუქცია მატულობს.

ვინაიდან გონადოტროპულ ჰორმონს გავლენა აქვს უშუალოდ სასქესო ჯირკვლებზე და უკანასკნელი კი მოქმედებს სქესობრივ ნიშნებზე. ამისათვის ჰიპოფიზის წინა წილის ჰორმონულ მოქმედებაზე არაუშუალოდ დამოკიდებულია ცხოველის მეორადი სქესობრივი ნიშნები. საინტერესოა აღინიშნოს, რომ კასტრირებულ ცხოველებში წინა წილის ჰორმონების ექსტრაქტის შეყვანა არავითარ ცვლილებას არ იწვევს. ამ ფაქტიდან გამომდინარეობს ის, რომ წინა წილის ფიზიოლოგიური მოქმედება ისაზღვრება იმ გავლენით, რომელსაც ის იჩენს სასქესო ჯირკვლებზე.

გონადოტროპული ჰორმონები ცილოვან ნივთიერებას წარმოადგენენ. სახელობრ გლიკოპროტეიდებს, რომელთა შემადგენლობაში მონაწილეობას ლებულობს ამინოშაქარი. მათი მოლეკულური წონა 70.000 აღწევს. ჰორმონალური აქტივობა შენარჩუნებული აქვთ პიდროლიზის პროდუქტებსაც.

ჰიპოფიზის წინა წილის თიროტროპული ჰორმონი. ჰიპოფიზის წინა წილი ფარისებრი ჯირკვლის მიმართ ანრულებს იმავე როლს, რაც სასქესო ჯირკვლების შემთხვევაში. ეს დებულება დადასტურდა ამფიბიების თავკომბალეებზე ჩატარებულ ცდებით. როდესაც თავკომბალას ამოცილილი აქვს ჰიპოფიზი, ფარისებრი ჯირკვალი არ ვითარდება. ის ატროფიას განიცდის და მოქმედების უნარს კარგავს. თიროქსინის ნაკლებობის გამო

თავკომბალას მეტამორფოზი დაყოვნებულია. საკმარისია წინა წილის ექსტრაქტის მინიმალური დოზა, რომ ფარისებრ ჭირკვალს დაუბრუნდეს აქტივობა და ცხოველი ნორმალურ ზრდასა და მეტამორფოზს იწყებს. იმავე გავლენის არსებობა დამტკიცდა თბილისისლიანი ცხოველების შემთხვევაშიც.

თირეოტროპული ჰორმონი ქიმიური თვისებებით ემსგავსება ჰიპოფიზის წინა წილის ზრდის ჰორმონს, მაგალითად, ის ინაქტივდება ტემპერატურის აწევისას. ჰიდროლიზური აგენტებისა და მომწვლბელი ფერმენტების ზემოქმედებით ადვილად იხსნება წყალში და სპ. 70% ალკოჰოლში. არ იხსნება უმეტეს ორგანულ გამსხნელში.

თირეოტროპული ჰორმონი წარმოადგენს ცილას, რომელიც პოლისაქარიდს შეიცავს. მოლეკულური წონა დაახლოებით 30.000 უდრის.

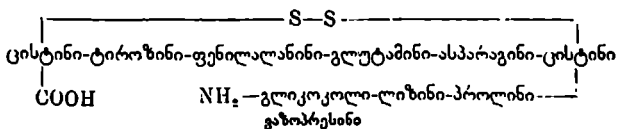
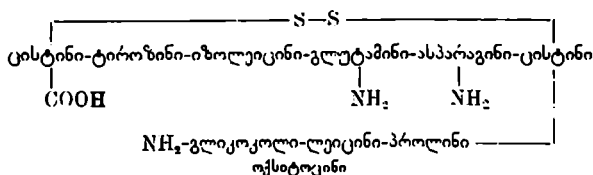
ჰიპოფიზის წინა წილის დანარჩენი ჰორმონული ფაქტორები. როგორც ირკვევა, წინა წილს გავლენა აქვს აგრეთვე შინაგანი სეკრეციის დანარჩენ ჭირკვლებზე. მაგალითად, დადასტურებულია წინა წილას დადებითი გავლენა თირკმელზედა ჭირკვალზე და პანკრეასზე. წინა წილის „ადრენოტროპული“ ფაქტორი იწვევს ადრენალინის სეკრეციის გადიდებას თირკმელზედა ჭირკვლებიდან. დიდ გავლენას ახდენს ჰიპოფიზის წინა წილი აგრეთვე ცხიმების ცილაზე და რძის სეკრეციაზე.

წინა წილის სეკრეტების მოქმედება შესწავლილია ბიოლოგიური ტესტების საშუალებით. ადრენოკორტიკოტროპული ჰორმონი (კორტიკოტროპინი) წარმოადგენს ცილას 20000 მოლ წონით. ინაქტივირდება ტრიპსინის ზემოქმედებით. შესწავლილია სხვადასხვა წარმოშობის კორტიკოტროპინის ამინომჟავური შემადგენლობა და მათი თანმიმდევრობა.

ჰიპოფიზის უკანა წილის ჰორმონები. უკანა წილის ჰორმონებიდან უკეთ არის შესწავლილი ოქსიტოკინი და ვაზოპრესინი (ტონიფინი). უკანა წილის ექსტრაქტი იწვევს ჰიპოფიზის ექსტრაქციკმნილ ორგანიზმში შემდეგ ცვლილებებს: 1) ადიდებს სისხლის წნევას, 2) გავლენას ახდენს საშვილოსნოს შეკუმშვის უნარზე, 3) აკავებს დიურეზს. 4) იწვევს რძის სეკრეციას, 5) აძლიერებს ნაწლავთა პერი-ტალტყას.

ოქსიტოკინი მოქმედებას იჩენს განსაკუთრებით მკვე ცხოველის საშვილოსნოს კუნთებზე. ის წარმოადგენს გასაყიდი პრეპარატი პიტუიტრინის აქტიურ საწყისს.

ვაზოპრესინი სისხლის ძარღვების შეკუმშვას იწვევს. რის შედეგად მატულობს სისხლის წნევა. ის აკავებს აგრეთვე დიურეზს.



როგორც ზემოთ მოტანილი სქემიდან ჩანს, ვაზოპრესინი დიდად არ განსხვავდება ოქსიტოცინისაგან.

ჰიპოფიზის შუა წილის ჰორმონი — ინტერმედინი.
ცივი და თბილისისხლიანი ცხოველების ჰიპოფიზის შუა წილში აღმოჩენილია ერთი ჰორმონი ინტერმედინის სახელწოდებით. მისი დახასიათება გამომდინარეობს იმ გავლენისაგან, რომელსაც ის ამჟღავნებს თევზებისა და ამფიბიების პიგმენტის უჯრედებზე. მასზეა დამოკიდებული პიგმენტური უჯრედების გავრცელება და ცხოველების ფერის გარემოსადმი შეგუება. რა მნიშვნელობა აქვს ინტერმედინს უმაღლეს ხერხემლიან ცხოველებში. გარკვეული არ არის.

ექსტირპაციამწინილი თავკომბალები დიდი ხნით უფერული რჩებიან, რადგან მათი შავი პიგმენტის უჯრედები (მელანოფორები) განვითარების უნარს მოკლებულია. ზრდადამთავრებულ ბაყაყებში ჭირკვლის ექსტირპაცია იწვევს ორგანიზმის შეგუების უნარის დაკარგვას განათების, სინესტისა და ტემპერატურის ცვლილებების მიმართ. ჰიპოფიზის შუა წილის შეყვანა დადებით გავლენას ახდენს მელანოფორების განვითარებასა და პიგმენტაციაზე.

ინტერმედინი თერმოლაბილური და ულტრაიისფერი სხივების მიმართ მგრძობიარე ნაერთია; წყალში და ალკოჰოლში იხსნება; დიალიზს განიცდის. მეთევების და ტუტეების ენერგიული მოქმედების შედეგად ინტერმედინი აქტივობას კარგავს.

ინტერმედინი აშენებულია ამინომჟავებიდან. მისი პოლიპეპტიდური ჯაჭვის სიგრძე და შემადგენლობა სხვადასხვა ცხოველებში ერთიმეორისაგან განსხვავდება.

§ 11. ფარისებრჯირკვლის ჰორმონი — პარატჰორმონი

ფარისებრზედა ჭირკვლის ექსტირპაციას თან სდევს მძიმე კრუნჩხვები. ექსტირპაცია იწვევს კალციუმის ცვლის მოშლას; სისხლში და ქსოვილებში მის სწრაფსა და ზანგრძლივ შემცირებას. კალციუმის მიწოდება და ფარისებრზედა ჭირკვლის გადანერგვა ტეტანუსით დაავადებულ ორგანიზმზე დადებით გავლენას ახდენს.

ჰორმონი, რომელიც ცნობილია პარატჰორმონის სახელწოდებით, აწესრიგებს კალციუმის ცვლას ორგანიზმში. კოლიკის მიერ დამზადებულია მოქმედი პარამონის პრეპარატი და გამოკვეულია, რომ მას შემდეგი თვისებები ახასიათებს.

1. ნორმალურ ცხოველში ის იწვევს სისხლში კალციუმის სწრაფ მატებას,
2. ექსტირპაციამწინილი ცხოველების სისხლში კალციუმის შემცირებული რაოდენობა ნორმას აღწევს ჰორმონის პრეპარატის მიწოდებისას,
3. ის არეგულირებს სისხლში კალციუმის რაოდენობას და ამრიგად ხელსაყრელ პირობებს ქმნის ძვლების ნორმალური განვითარებისათვის.

პარატჰორმონი იძლევა ცილების დამახასიათებელ რეაქციას. ტრიპსინის ზემოქმედებით კარგავს მოქმედების უნარს. მეთევ და ტუტე არე მალაღ ტემპერატურაზე მასზე უარყოფითად მოქმედებს; დიალიზს არ განიცდის; წყალში და 80% ალკოჰოლში იხსნება, უმეტეს ორგანულ გამხსნელებში ხსნადობის უნარი არა აქვს. მისი მოლწონა 70000 აღწევს.

§ 12. ნაწლავების ლორწოვანი გარსის ჰორმონი — სეკრეტინი

ნაწლავების ლორწოვანი გარსიდან გამოყოფილია ნივთიერება, რომლის პარენტერალური შეყვანა იწვევს პანკრეასული წვენის გაძლიერებულ სეკრეციას; ამის გამო მას სეკრეტინი ეწოდება. სუფთა პრეპარატის დამზადება შესა-

ძლებელი ხდება მოქმედი ნივთიერების ქოლის მკავეებით აღსორბციის საშუალებით. ამ პრეპარატის 0,03 მგ კატაში იწვევს 2 მლ პანკრეასული წველის სეკრეციას.

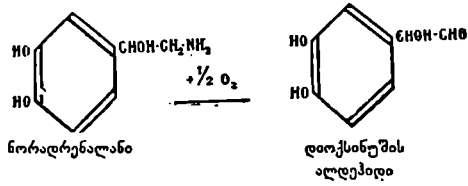
სეკრეტინს პოლიპეპტიდის თვისებები ახასიათებს. მისი ფიზიოლოგიური მოქმედება სრულიად ისპობა მასზე ტრიპსინისა და პეპსინის მოქმედებით მცირე დროის განმავლობაში. ის 100°-ზე გატყლებას ვერ უძლებს.

§ 13. ნეიროკუმორაზი

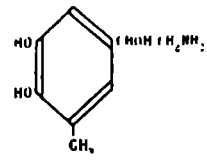
იმ პორმონების გარდა, რომელნიც მუშავდებიან შინაგანი სეკრეციის ჭირკვლებში, ორგანიზმის შეჯამებული მოქმედების რეგულაციაში, მონაწილეობას ღებულობენ ნეარტები, რომელნიც იქმნებიან სხვადასხვა ქსოვილებში და ჰორმონების მსგავს მოქმედებას იჩენენ. განსაკუთრებული მნიშვნელობა მათ შორის ენიკება ნეიროკუმორებს (კატექოლამინები, სეროტონინი, აცეტოლქოლინი, გამა-ამინორბოს მკავა) და პეპტიდური ხასიათის პორმონებს, რომელნიც მოქმედებენ სისხლის წწევაზე.

ნეიროკუმორების ჭგუფის მთავარი წარმომადგენლების — კატექოლამინების სინთეზის უნარი თირკმლისზედა ჭირკვლის გარდა აქვს აგრეთვე ნერვულ ქსოვილსაც და ამიტომ ადრენალინი და ნორადრენალინი ნეიროკუმორების ჭგუფს არ უნდა მივაკუთვნოთ. კატექოლამინები თავის მოქმედებას ამელავენებენ როგორც სიმპათიკური ნერვული სისტემის მედიატორები. არსებობს მონაცემები იმის მტკიცებისათვის, რომ კატექოლამინი წარმოდგენილია განსაკუთრებულ (სიმპათიკურ) ნერვულ დაბოლოებებში — სინაპტოსომებში და თავის გავლენას ანბორციელებენ პოსტსინაპსურ მემბრანაში რეცეპტორზე შემოქმედების საშუალებით.

კატექოლამინი მოქმედებისთანავე დაშლას განიცდის. მისი აქტივობის აცილება წარმოებს ორი გზით: 1) დაქანგვითი დეზამინირებით და 2) მეთილირებით. დაქანგვის რეაქცია აქტივდება ფერმენტის — მონოამინოოქსიდაზის (მაო) მოქმედებით, რის შედეგად თავისუფლდება ამონიაკი და მიიღება ალდეჰიდი:



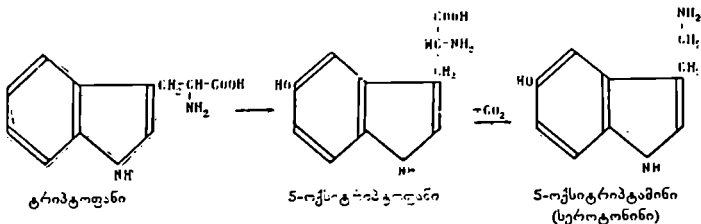
კატექოლამინების მეთილირებისას წარმოიშობა არააქტიური ნაწარმები:



ნორადრენალინის მეთილირების პროდუქტი

უკეთ არის შესწავლილი აცეტილქოლინის მოქმედების ხასიათი. ის თავის მედიატორულ ფუნქციას ანხორციელებს ნერვულ დაბოლოებებში როგორც ცენტრალურ ნერვულ სისტემაში, ისე პერიფერიაზე. აცეტილქოლინი იმყოფება სინაპტოსომების სპეციალურ სათავსოში, რომელსაც ვეზიკული ეწოდება. როდესაც ის ვეზიკულიდან თავისუფლდება, გაღის პრესინაფსურ მემბრანას და შოკმედებს პოსტსინაფსურ მემბრანაში წარმოდგენილ სპეციალურ რეცეპტორულ ცილაზე. ამ მოქმედებას თან სდევს უჯრედის მემბრანის დეპოლარიზაცია და აგზნება. როგორც კი აცეტილქოლინი რეცეპტორზე იმოქმედებს, ის მაშინვე იშლება ფერმენტ აცეტილქოლინესთერაზის კატალიზური მოქმედებით. ეს არაჩვეულებრივი სისწრაფით მიმდინარეობს. გაცილებით უფრო მცირე სიჩქარით წარმოებს აცეტილქოლინის სინთეზი, სადაც მთავარი როლი ეკუთვნის ე. წ. ქოლინსინთეტაზას, რომელიც აქტივებს ძმარმეავას ნაშთის დაკავშირებას ქოლინთან.

სეროტონინი (5-ოქსიტრიპტამინი) არის ის ტიპური ჰორმონი, რომელიც იქმნება ქსოვილში და არა შინაგანი სეკრეციის ჯირკვალში. ის წარმოდგენილია ნერვულ ქსოვილში, ტრომბოციტებში და აღმოჩენილია აგრეთვე მომწიფებელ ტრაქტში. სეროტონინის წყარო არის ტრიპტოფანი. ამ ამინომეკავაზე ჯერ მოქმედებს ლეიძლში ტრიპტოფან-5-ჰიდროქსილაზა და მიიღება 5-ოქსიტრიპტოფანი. უკანასკნელი სისხლის საშუალებით გადაიტანება თავის ტვინში. აქ ის კარგავს კარბოქსილის ჯგუფს სპეციფიკური დეკარბოქსილაზის კატალიზური მოქმედებით და იძლევა 5-ოქსიტრიპტამინს.

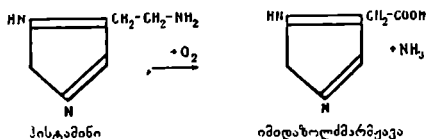


სეროტონინის მოქმედების აცილება წარმოებს კატექოლამინების მსგავსად მონოამინოქსიდაზას (მაო) საშუალებით. სეროტონინის მონაწილეობა თავის ტვინის მოქმედებაში უნდა ინახვრებოდეს იმით, რომ ის ახდენს გავლენას კალციუმის იონების ცვლაზე. როგორც ირკვევა, ნერვული უჯრედის მემბრანების განგლოზიდებში დაკავშირებულ მდგომარეობაში იმყოფება კალციუმი. სეროტონინის ზეგავლენით განგლოზიდების კალციუმს ენიჭება მოძრაობის უნარი. ის ტოვებს მემბრანას და მოქმედებს იმ აღენოზინტრიფოსფატაზაზე, რომელიც აქტივდება კალციუმის იონებით. ამგვარად, სეროტონინი კალციუმის იონების საშუალებით ბიძგს აძლევს ატფ-ის იმ გარდაქმნას, რომელიც ცოცხალი წარმონაქმნის ფუნქციის საფუძველია. განსაკუთრებულ მგრძობიარობას სეროტონინის მიმართ იჩენს გლუვი კუნთი, სახელდობრ არტერიების კუნთოვანი წარმონაქმნი. ფიქრობენ, რომ სეროტონინი უშუალო მონაწილეობას ღებულობს თავის ტვინის (და აგრეთვე სხვა ორგანოების) სისხლის მიმოქცევის რეგულაციაში.

გამამინოერბოზ მეთვა იქმნება ნერვულ ქსოვილში გლუტამინის მეავას დეკარბოქსილირების შედეგად. ეს ნაერთი მონაწილეობას უნდა

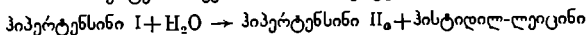
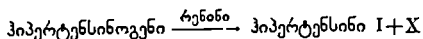
ლებულობდეს ნერვული ქსოვილის ძირითად პროცესში — შეკავებაში. ის იწვევს ნერვული უჯრედის ჰიპერპოლარიზაციას, რაც დაკავშირებულია ნეირონის აგზნების პროცესის შეკავებასთან.

პისტამინი აგრეთვე ჰორმონების წარმომადგენლად უნდა ჩაითვალოს. ეს ნაერთი თავის მოქმედებას ამჟღავნებს სისხლის მიმოქცევის რეგულაციაში. პისტამინის უმეტესი ნაწილი დაკავშირებულია ჰეპარინთან, საიდანაც ის მოთხოვნილებისთანავე თანდათანობით თავისუფლდება. პისტამინის მობილიზაციას ადგილი აქვს ორგანოს დატვირთვის დროს, როდესაც მოთხოვნილება სისხლზე გადიდებულია. პისტამინის მოქმედების აცილება წარმოებს დიამინოქსიდაზის კატალიზური მოქმედებით:



განსაკუთრებულ მგრძობიარობას პისტამინის მიმართ იჩენს გლუვი კუნთი. არსებობს მითითება იმის შესახებ, რომ პისტამინი თავის მოქმედებას ანხორციელებს ადენილციკლაზის საშუალებით.

ჰიპერტენსინი (ანგიოტენსინი) სინთეზი დაკავშირებულია თირკმელების დაავადებასთან. დაავადებული თირკმელი სისხლში ათავისუფლებს ფერმენტ რენინს, ღვიძლი თავის მხრივ გამოყოფს სისხლში ცილა გლობინს, ე. წ. ჰიპერტენსინოგენს. უკანასკნელი წარმოადგენს რენინის სუბსტრატს. რენინის მოქმედების შედეგად ჰიპერტენსინოგენი იშლება და იქმნება ჯერ არააქტიური ჰიპერტენსინი I, რომლის პროტეოლიზური დაშლისას წარმოიშობა აქტიური ჰიპერტენსინი II და პაპტილიპიპტილილ-ლეიცინი.



ჰიპერტენსინი II არის თირკმლის ჰიპერტონიის გამომწვევი მიზეზი. ის ქიმიური თვალსაზრისით პოლიპეპტიდია, რომლის შენებაში მონაწილეობას ლებულობს ამინომჟავათა სხვადასხვა რაოდენობა იმისდა მიხედვით, თუ რომელი ცხოველისაგან იყო მიღებული ის. ცხენის შრატისაგან დაზნადებულია პრეპარატი, რომლის შენებაში მონაწილეობას ლებულობს 8 ამინომჟავა:

—ასპ-აგრ-ვალ-ტირ-ილეი-პის-პრო-ფალა

ჰიპერტენსინი II

§ 14. მცენარეთა და მთარობების ზრდის სინთეზატორები და ინჰიბიტორები

ნივთიერებათა ცვლის რეგულაცია რომ მცენარეთა ორგანიზმში ჰორმონების ზეგავლენით უნდა წარმოებდეს, ექსპერიმენტულად დამტკიცებულ იქნა 1914 წ. პაალის მიერ. მან აღმოაჩინა დადებითი ფოტოტროპიზმის მიღების შესაძლებლობა სიბნელეშია, თუ მცენარეულ აღმონაცენზე განსაზღვრული წესით დაიდება მისგან მოკრილი დაბოლოება. ამგვარი ცდების ძირითადი აზრი

იმაში მდგომარეობს, რომ მცენარეული უჯრედის რეგულაცია ჰორმონების ზე-კავლენით წარმოებს. სპეციფიკური ჰორმონებისაგან უნდა იყოს დამოკიდებული ღეროს ზრდა, გამსხვილება, კვირტების აღმოცენება და უჯრედის სუნთქვის ინტენსივობა. „ზრდის ჰორმონი“ არ არის სპეციფიკური. ის აღმოჩენილია ღეროს ზრდის წერტილში, პირველად მერისტემის უჯრედებში და ენდოსპერმაში. მცენარეული უჯრედის ზრდის რეგულატორებს უწოდებს აუქსინები. შემდეგმა გამოიჩვენა, რომ აუქსინები წარმოდგენილია არა მარტო მცენარეული თესლის აღმონაცენებში, არამედ ობებში, ბაქტერიებში, და საფუარებში.

აუქსინები. მცენარეული ჰორმონებიდან უკეთ არის შესწავლილი მხოლოდ ერთი ჯგუფი, სახელწოდებ, აუქსინები. აუქსინებიან მოქმედებასთან, როგორც აღნიშნული იყო, დაკავშირებულია მცენარის ზრდისა და, შესაძლებელია, უჯრედის დაყოფის მოვლენები.

შვრიის აღმონაცენის გადაჭრისას კეგლის მიერ შემჩნეული იყო, რომ ზრდა ჩერდება. თუ აღმონაცენის მოკრილი წვერი ისევე გადაჭრილ ადგილზე დაიდო, ზრდა ხელახლა იწყება. იმ შემთხვევაში, როდესაც წვერსა და ფუძეს შორის სტანოლი თავსდება, აღმონაცენი ზრდას არ განაგრძობს. ზრდის გამოწვევა შესაძლებელი ხდება სხვა მცენარის აღმონაცენის წვერითაც. აღმონაცენის იმ ნაწილს, რომელიც ფუძესთან უფრო ახლოს არის, ზრდაზე გავლენა არ ახასიათებს. აქედან ის დასკვნა იყო გამოტანილი, რომ მოქმედი ნივთიერება წარმოდგენილი უნდა იყოს აღმონაცენის წვერში და მისი გავლენა უნდა ვრცელდებოდეს წვერიდან ფუძის მიმართულებით. როდესაც აღმონაცენის წვერი თავსდება ფუძის გვერდზე, უკანასკნელი იზნიჭება მიღებული წვერის მხარეზე, რადგან ის მოქმედი ნივთიერების მეტ რაოდენობას ღებულობს მიღებული ნაწილისაგან, ვიდრე მოწინააღმდეგე მხარე.

აუქსინის ქიმიურად სუფთა პრეპარატის დამზადებისათვის კეგლმა მიმართა ადამიანის შარდს, რომელშიც ის საკვების სახით მიღებული მცენარეულობიდან გადადის. შემდეგში აუქსინის პრეპარატი დამზადდა სიმინდის ჩანასახებისგან, ალაოსგან და საფუარებისგან. იზოლირებულ იქნა 3 სხვადასხვა შენების მქონე ნაერთი. მათი ერთიმეორისგან გაყოფა დამოკიდებულია, უმთავრესად, ხსნადობისა და მჟავიანობის თვისებების განსხვავებაზე.

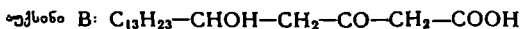
აუქსინის მოქმედების ერთეულად მიღებულია გააქტივებული აგარ-აგარის ისეთი რაოდენობა, რომელიც იწვევს გადაჭრილი შვრიის აღმონაცენის გამრუდებას 10° -ზე.

1. აუქსინი A $C_{18}H_{32}O_5$ (ლობის ტემპერატურა 196° უდრის) მიღებულია შარდისგან, სიმინდის აღმონაცენების ზეთისგან და ალაოსგან. მისი სუფთა პრეპარატის ერთი გრამი შეიცავს 50 მილიარდ ერთეულს.

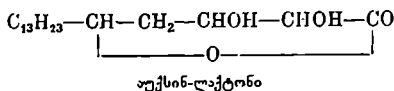
2. აუქსინი B $C_{18}H_{30}O_4$ (ლობის ტემპერატურა უდრის 183°) მიღებულია სიმინდის აღმონაცენებისაგან და ალაოსგან. მისი აქტივობა დაახლოებით A აუქსინის აქტივობას უდრის.

3. აუქსინ-ლაქტონი $C_{18}H_{30}O_4$ (ლობის ტემპერატურა 173° უდრის) ხასიათდება იმავე მოქმედების ძალით, როგორც A და B აუქსინები.

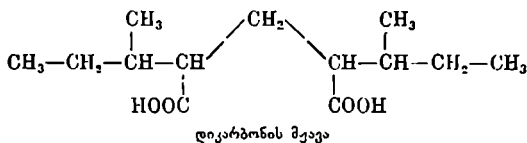
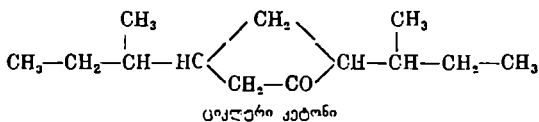
A აუქსინი წარმოადგენს ტრიოქსი-კარბონმჟავას ერთი არანაჯერი კავშირით. B აუქსინი კი ოქსი-კეტო-მჟავას აგრეთვე ერთი არანაჯერი კავშირით. მათი ურთიერთგანსხვავება ირკვევა ქვემოთ მოტანილი ფორმულებიდან:



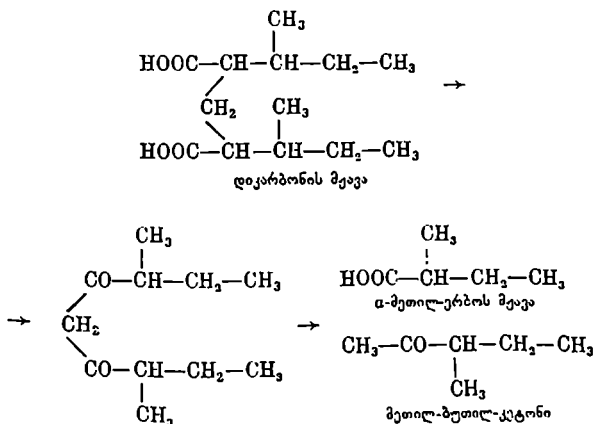
აუქსინ-ლაქტონი ალბათ A აუქსინის ბ-ლაქტონია:



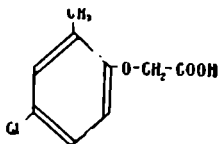
აუქსინების შენების გამორკვევა შესაძლებელია შემდეგი მონაცემებიდან: A აუქსინი ჰიდრირებისას გადადის დიჰიდრო-აუქსინში, რომელიც ქრომის მქავეას საშუალებით დაეანგვისას იძლევა ძმრის მქავეას და ოპტიკურად აქტიურ ნეიტრალურ პროდუქტს. ციკლურ კეტონს — $\text{C}_{13}\text{H}_{24}\text{O}$. არანაჭერი A აუქსინა პერმანგანატის საშუალებით დაეანგვისას იძლევა დიკარბონმქავეას $\text{C}_{13}\text{H}_{24}\text{O}_4$, რომელიც ორი მოლეკულა გლუტარის მქავეას დაკავშირების პროდუქტს წარმოადგენს.



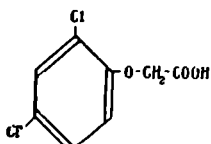
დიკარბონის მქავეას ჯაქვის შემოკლება იძლევა ჯერ დიკეტონს, რომელიც ტუტის ზემოქმედებით გარდაიქმნება α-მეთილ-ვარბოს მქავეაში და მეთილ-ბუთილ-კეტონში:



ის სინთეზური პრეპარატი, რომელიც კონკურენტული შეკავების გზით იწვევს ფერმენტული გარდაქმნის შეწყვეტას. ამ ნივთიერებებს მრავალ შემთხვევაში ახასიათებს სპეციფიკურობა, ე. ი. უარყოფითად მოქმედებს ორგანიზმების მხოლოდ გარკვეულ სახეებზე. მაგალითად, 2-მეთილ-4-ქლორფენოქსიმარმეა და 2,4-დიქლორფენოქსიმარმეა გარკვეული კონცენტრაციით ხმარებისას აჩერებს სარეველა მცენარეთა ზრდასა და უვნებლად ტოვებს ზორბლის ელტურებს.



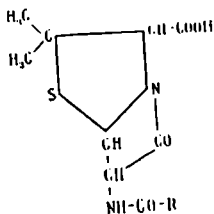
2-მეთილ-4-ქლორ-
ფენოქსიმარმეა



2,4-დიქლორფენო-
ქსიმარმეა

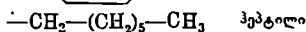
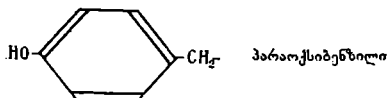
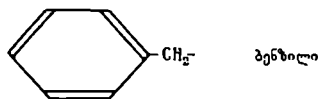
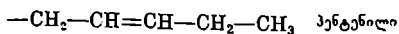
ანტიბიოტიკები. თითქმის ყველა მიკროორგანიზმი და სოკო ნივთიერებათა ცვლის საბოლოო პროდუქტის სახით გამოყოფს ნივთიერებებს, რომლებიც სხვა მიკრობების ზრდასა და გამრავლებაზე უარყოფითად მოქმედებს. ნივთიერებას, რომელიც მიკროორგანიზმის მიერ გამოიყოფა და სხვა მიკროორგანიზმის განვითარებას აკავებს, ეწოდება ანტიბიოტიკი. უკანასკნელ დროს ანტიბიოტიკებმა ფართო გამოყენება მოიპოვეს მედიცინაში როგორც საშუალებამ, რომელიც მაკროორგანიზმში სპობს პათოგენურ ბაქტერიებს. დღეისათვის ცნობილია ანტიბიოტიკების მრავალი წარმომადგენელი, რომლებიც შერჩევით მოქმედებენ გარკვეული სახის მიკრობზე, ხოლო ადამიანისა და ცხოველის ორგანიზმზე გავლენას არ ახდენენ. ანტიბიოტიკები სხვადასხვა ქიმიური ნაერთის ჯგუფს ეკუთვნიან. ბევრი მათგანის ქიმიური ბუნება გარკვეულია. აქ განვიხილავთ რამდენიმე მაგალითს.

პენიცილინი. ეს ანტიბიოტიკია, რომელიც მუშავდება ობი *Penicillium*-ის მიერ. ანტიბიოტიკური უნარი მკვეთრად აქვს გამოხატული ობების რამდენიმე წარმომადგენელს. პენიცილინი უარყოფითად მოქმედებს სტაფილოკოკებზე და ზოგიერთ სხვა პათოგენურ მიკრობზე. პენიცილინი მზადდება ქარხნული წესით ობებისგან. ობების სხვადასხვა შტამში მუშავდება სხვადასხვა შემადგენლობის პენიცილინი. განსხვავება გამოწვეულია გვერდითი ჯაჭვის—R შენებისაგან.

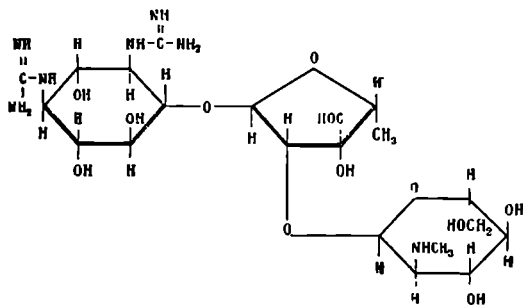


პენიცილინი

ვერდიითი რადიკალი შეიძლება იყოს:

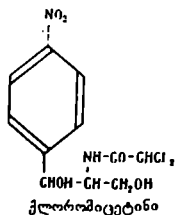


ნიადაგის ერთ-ერთი ჭხივოსანი სოკოდან *Actinomyces globisporus streptomycine* გამოყოფილია ანტიბიოტიკი — სტრეპტომიცინი, რომელიც ტუბერკულოზის ჩხირებზე უარყოფით გავლენას ახდენს. ქიმიური შენების მიხედვით სტრენატომიცინი წარმოადგენს ორი ნაერთის დაკავშირების პროდუქტს: ერთია აზოტოვანი ფუძე სტრეპტიდინი, ხოლო მეორე აზოტშემცველი დისაქარიდი სტრეპტობიოზამინი.



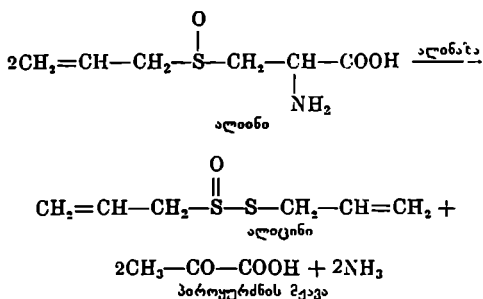
სტრეპტომიცინი

აქტინომიცეტების ერთ-ერთი კულტურიდან — *Actinomyces venesuele* გამოყოფილია ანტიბიოტიკი, რომელიც სამედიცინო პრაქტიკაში იხმარება ზოგიერთი ვირუსისა და მიკრობის წინააღმდეგ ბრძოლის საქმეში (პარტახტინი და მუცლის ტიფის წინააღმდეგ). ეს ანტიბიოტიკი არის ქლორომიცეტინი. საინტერესოა ის ფაქტი, რომ ის შეიცავს ქლორსა და ნიტრო ჯგუფს.



დიდი ბაქტერიოციდული მოქმედება კოკების წინააღმდეგ ახასიათებს ანტიბიოტიკს, გამოყოფილს ნიადაგის მიკროორგანიზმიდან — *Bacillus brevis* — გრამიციდინს. მისი შენებისათვის დამახასიათებელია ის გარემოება, რომ ის ციკლურ პეპტიდს წარმოადგენს, რომლის შენებაში მონაწილეობას ღებულობს ხუთი ამინომჟავა: ვალინი, ორნიტინი, ლეიცილი, ფენილალანინი და პროლინი. ამ ამინომჟავებიდან ფენილალანინი d-იზომერია, რომელიც ბუნებაში 'აეროთოდ გავრცელებული არ არის.

ფ ი ტ რ ნ ც ი დ ე ბ ი. მცენარეებიც ამუშავებენ აგრეთვე ბაქტერიოციდულ ნაერთებს. ამ ნაერთებს ფიტონციდები ეწოდება. ფიტონციდების ქიმიური ბუნება უმეტეს შემთხვევაში გარკვეული არ არის. უკეთ არის შესწავლილი ხახვისა და ნივრის ფიტონციდები. ნივრიდან გამოყოფილია ფიტონციდი ალიცინი. როგორც ირკვევა, ნივრში წარმოდგენილია არა ალიცინი, არამედ ალიინი, რომელიც ფერმენტ ალინაზას მოქმედებით იშლება და თავისუფლდება ალიცინი, პიროყურძნის მჟავა და ამონიაკი. ეს პროცესი ძალიან ადვილად ხორციელდება ნივრის დასრესისა და დაქუცმაცების შედეგად. ნივრის სპეციფიკური სუნი დამოკიდებულია არა ალიინისაგან, არამედ ალიცინისაგან.



ირკვევა, რომ მცენარეების მიერ ფიტონციდების პროდუქცია ძალიან დიდოდენობას აღწევს და ამით შესაძლებელი ხდება ჰაერის გასუფთავება მანევ. მიკროორგანიზმებისაგან.

შ ი ნ ა ა რ ს ი

ბიოლოგიური ქიმიის მიზანი და ამოცანები	3
თ ა ე ი ბ ი რ ე ე ლ ი. ცოცხალი მატერია და მისი დამახასიათებელი ნიშნები	5
§ 1. ცნება ცოცხალი მატერიის შესახებ	5
§ 2. წიფთიერებათა ცვლის ბიოლოგიური როლი	6
§ 3. ბიოქიმიურ გარდაქმნათა თავისებურება ცოცხალ ორგანიზმში	7
§ 4. ბიოქიმიური გარდაქმნის თერმოდინამიკა	8
§ 5. წიფთიერებათა ცელა და ცოცხალი სისტემის ფუნქცია	10
§ 6. სოცოცხლის წარმოშობა	13
თ ა ე ი მ ე ო რ ე. მინერალური ნიფთიერებანი და მათი გავლენა ბიოლოგიურ პროცესებზე	16
§ 1. ზოგადი მიმოხილვა	16
§ 2. წყალი	16
§ 3. წყალბად-იონთა კონცენტრაცია	17
§ 4. ზეფერული მოქმედების თეორია	19
§ 5. ტუტე-ჰეფეური წონასწორობა	21
§ 6. ბიოელემენტები	23
§ 7. ფოსფორი, კალციუმი და მავნიუმი	23
§ 8. ნატრიუმი და კალიუმი	25
§ 9. ქლორი. ფლური და იოდი	25
§ 10. გოგირდი	26
§ 11. რკინა	27
§ 12. მიკროელემენტები	28
თ ა ე ი მ ე ს ა მ ე. ლიპიდები	31
§ 1. აერთო დახასიათება და კლასიფიკაცია	31
§ 2. საკუთრე ცხიმები	32
§ 3. ცხიმის შემადგენელი კომპონენტები	33
§ 4. გლიცერიდები	35
§ 5. ვლაციტიდების ფიზიკური და ქიმიური თვისებები	36
§ 6. ფოსფატიდები (ფოსფოლიპიდები)	37
§ 7. ლეციტინები (ფოსფატიდილ-ქოლინები)	38
§ 8. კეფალინები (ფოსფატიდილ-ეთანოლ-ამინები)	39
§ 9. აცეტალფოსფატიდები (პლანზმალოგენები)	40
§ 10. სერინფოსფატიდები	40
§ 11. ინოზიტფოსფატიდი (ფოსფატიდილ-ინოზიტიდები)	41
§ 12. სფინგომიელინები (სფინგოციფოსფოამინოლიპიდები)	41
§ 13. ცერებროზიდები (სფინგოამინო-ჰეტეროგლუკოზიდები)	42
§ 14. სტერიდები	44
§ 15. ქოლესტერინი (ქოლესტეროლი)	45
§ 16. ცერიდები	47
თ ა ე ი მ ე ო ლ ე. ლიპიდების გარდაქმნები ორგანიზმში	48
§ 1. ცხიმების ფიზიოლოგიური დანიშნულება	48
§ 2. ცხიმის შექმნა მცენარეულ ორგანიზმში	49
§ 3. ცხიმების გარდაქმნა საკმლის მომწელებელ ორგანიზმში	51
§ 4. ცხინოჯან ნიფთიერებათა გარდაქმნა უჯრედში	52

§ 5. ფოსფორებისა და სტერიდების გარდაქმნები	56
§ 6. ნახშირწყლებისა და ცხიმების ურთიერთბიოქიმიური კავშირა	62
თ ა ვ ი მ ე ხ უ თ ე. ნახშირწყლები	64
§ 1. ნახშირწყლების კლასიფიკაცია	64
§ 2. შაქრების შენება და იზომერია	65
§ 3. ალდოპექსოზების სტერეოიზომერია	65
§ 4. მონოსაქარიდების ქიმიური რეაქციები	68
§ 5. მონოსაქარიდების ცალკე წარმომადგენლები	71
§ 6. პექსოზები	74
§ 7. დისაქარიდები ($C_{12}H_{22}O_{11}$) (დიგლუკოზიდები)	75
§ 8. პოლისაქარიდები (პოლიგლუკოზიდები)	79
§ 9. ნახშირწყლების მონათესავე ნაერთები	94
თ ა ვ ი მ ე ე ქ ვ ს ე. ნახშირწყლების ცვლა	93
§ 1. ნახშირწყლების შექმნა მწვანე მცენარის მიერ	93
§ 2. ქემოსინთეზი	93
§ 3. სუნთქვის პროცესი	94
§ 4. სუნთქვის ენერგეტიკა	95
§ 5. ნახშირწყლების ურთიერთგარდაქმნა	97
თ ა ვ ი მ ე შ ვ ი დ ე. ნახშირწყლების უჭრედშვივნითა ცვლა	99
§ 1. ანაერობული და აერობული პროცესები ენერგეტიკული თვალსაზრისით	99
§ 2. ნახშირწყლების ანაერობული გარდაქმნა	101
§ 3. სპირტის დელილის ქიმიზმი	102
§ 4. დელილის ინდუქციური და სტაციონარული ფაზა	112
§ 5. გლიკოგენოლიზი კუნთის ქსოვილში	112
§ 6. პასტერის ეფექტი	118
§ 7. რძისმჟავა დელილი	120
§ 8. ერბოსმჟავა დელილი	122
§ 9. ნახშირწყლების აერობული გარდაქმნა	122
§ 10. ნახშირწყლებს აერობული გარდაქმნის პენტოზური და გლიოქსალატური გზები	127
§ 11. ჯანგვითი პროცესების კავშირი მაკროერგული ნაერთების სინთეზთან	133
§ 12. ორგანული მჟავების გენეზისა	135
თ ა ვ ი მ ე რ ვ ე. ცილოვანი ნივთიერებათა	140.
§ 1. საერთო დახასიათება	140
§ 2. ამინომჟავები	142
§ 3. ამინომჟავათა ცალკე წარმომადგენლები	144
§ 4. ამინომჟავათა კავშირი ორგანულ მჟავებთან	151
§ 5. ამინომჟავათა ვანსაზღერის ქიმიური მეთოდები	152
§ 6. ამინომჟავათა ურთიერთდაკავშირება	154
§ 7. ბუნებრივი პეპტიდები	156
§ 8. ცილების შენება	158
§ 9. ცილის მოლეკულური წონა	162
§ 10. ცილის მოლეკულის გეომეტრიული ფორმა	163
§ 11. პოლოპეპტიდური ჯაჭვის შენება	165
§ 12. ცილა როგორც კოლოიდი	168
§ 13. ცილოვან ნივთიერებათა ქიმიური რეაქციები	172
§ 14. ცილის სარეაქციო უნარი	173
§ 15. იმუნური რეაქცია	174
§ 16. ცილოვან ნივთიერებათა კლასიფიკაცია	175
§ 17. მარტივი ცილები ანუ პროტეინები	175
§ 18. პროტეიდები	181
თ ა ვ ი მ ე ც ხ რ ე. ცილოვან ნივთიერებათა ცვლა	184
§ 1. ცილის შექმნა მცენარულ ორგანიზმში	184
§ 2. ამინომჟავათა გარდაქმნების თავისებურება მცენარეში	186
§ 3. ცილოვან ნივთიერებათა ცვლა მიკროორგანიზმებსა და სოკოებში	189

§ 4. ცლის მონელება ცხოველთა მიერ	192
§ 5. ცილოვან ნივთიერებათა სინთეზი	195
§ 6. ცილოვანი ნივთიერების საკვები ღირებულება	196
§ 7. ამინომჟავათა სინთეზი ცხოველთა უჯრედში	193
§ 8. ამინომჟავათა დეკარბოქსილირება	201
§ 9. ამინომჟავათა დეზამინირების სხვა გზები	202
§ 10. ცალკეულ ამინომჟავათა ცვლა	205
§ 11. ამინომჟავათა გამოყენება სხვა ნაერთების სინთეზისათვის	210
§ 12. ცილოვან ნივთიერებათა ცვლის უკანასკნელი პროდუქტები	216
§ 13. ამინოაქის განთავისუფლებისა და აცილების პროცესი	219
თ ა ვ ი მ ე ა თ ე . ნუკლეოტიდები და ნუკლეინის მჟავები	223
§ 1. ნუკლეოპროტიდები და პოლინუკლეინის მჟავები	223
§ 2. პურინისა და პირიმიდინის ფუძეები	224
§ 3. ნუკლეინის მჟავების დანარჩენი კომპონენტები	226
§ 4. ნუკლეოზიდები	227
§ 5. ნუკლეოტიდები	227
§ 6. პოლინუკლეინის მჟავები	232
§ 7. დნმ-სა და რნმ-ს მონაწილეობა ცილის სინთეზში	237
§ 8. ნუკლეინის მჟავების ცვლა	239
თ ა ვ ი მ ე თ ე რ მ ე ტ ე . მცენარეული და ცხოველური წარმოშობის პიგმენტები	244
§ 1. ქლოროფილი	244
§ 2. კაროტინოიდები	245
§ 3. ფლავონოლები და ანტოციანინები	253
§ 4. ფლავინები	255
§ 5. ჰემოგლობინი	255
§ 6. ჰემის შენება	256
§ 7. ჰემატინის გარდაქმნის პროდუქტები	259
§ 8. უჯრედის ჰემეზა	261
§ 9. ჰემოციანინები	262
თ ა ვ ი მ ე თ ო რ მ ე ტ ე . ფერმენტები (ენზიმები) და მათი მოქმედება	264
§ 1. კატალიზური რეაქცია	264
§ 2. რეაქციის სიჩქარის კონსტანტა	266
§ 3. ფერმენტული რეაქციების კინეტიკა	267
§ 4. ფერმენტების ბუნება	272
§ 5. ფერმენტების გამოყოფა და გაწმენდა	274
§ 6. ფერმენტული მოქმედების ერთეული	275
§ 7. წყალბად-იონთა კონცენტრაციის გავლენა ფერმენტულ მოქმედებაზე	277
§ 8. ფერმენტების სპეციფიკურობა	278
§ 9. ფერმენტული რეაქციის აქტივატორები და ინჰიბიტორები	280
§ 10. ფერმენტების მოქმედების რეგულაცია	284
§ 11. ფერმენტების კლასიფიკაცია	286
§ 12. ბიოლოგიური ენჯის ფერმენტები	237
§ 13. დამყანველი ფერმენტების თანამედროვე ნომენკლატურისა და კლასიფიკაციის პრინციპები	305
§ 14. ქიმიური რადიკალების და ნაშთების გადატანა ერთი ნაერთიდან მეორეზე. ტრანსფერაზები	306
§ 15. ჰიდროლაზების ცალკეული წარმომადგენლები. ესთერაზები და ლიპაზები	311
§ 16. პოლიაზები	314
§ 17. ამილაზები	317
§ 18. პროტეაზები	319
§ 19. ლიპაზები	321
§ 20. იზომერაზები	328
§ 21. ლაგაზები	329
თ ა ვ ი მ ე ტ ა მ ე ტ ე . ვიტამინები	331
§ 1. ცნება ვიტამინებზე და მათი კლასიფიკაცია	331

§ 2. ვიტამინი A	337
§ 3. ვიტამინი D	331
§ 4. ვიტამინი E, ტოკოფეროლი	339
§ 5. ვიტამინი K, ნაფტოქინონის დერივატები	340
§ 6. შეუცვლელი არანაჯერი ცხიმოვანი მჟავები	341
§ 7. ვიტამინი B ₁ (ანეირინი ანუ თიამინი)	341
§ 8. ვიტამინი B ₂ (რიბოფლავინი)	341
§ 9. პანტოთენის მჟავა	346
§ 10. ვიტამინი B ₆ , ადერმინი, პირიდოქსინი	346
§ 11. ვიტამინი PP, ნიკოტინის მჟავას ამიდი	347
§ 12. ვიტამინი C, ასკორბინის მჟავა	349
§ 13. ვიტამინი P, ციტრინი	352
§ 14. პარა-ამინოპენტანის მჟავა	353
§ 15. ფოლიუმის მჟავა	353
§ 16. ვიტამინი B ₁₂	354
§ 17. ვიტამინი H (ბიოტინი), ინოზიტი და ქოლინი	355
თ ა ე ი მ ე თ ო თ ხ მ ე ტ ე . პორმონები	358
§ 1. საერთო დახასიათება	359
§ 2. ფარისებრი ჭირკვლის პორმონები. თიროქსინი	359
§ 3. კატექოლამინები. ადრენალინი	361
§ 4. კორტიკოსტეროიდება	365
§ 5. ინსულინი და გლუკაგონი	366
§ 6. სასქესო ჭირკვლების პორმონები	368
§ 7. მამრობითი სასქესო ჭირკვლის პორმონი — ანდროსტერონი	369
§ 8. მდედრობითი სასქესო ჭირკვლების პორმონები — ესტრონი	375
§ 9. სექსუალური პორმონების ურთიერთკავშირი და ცვლა	377
§ 10. პიპოფიზის (ტენის დანამატის) პორმონები	373
§ 11. ფარისებრზედა ჭირკვლის პორმონი — პარატჰორმონი	375
§ 12. ნაწლავების ლორწოვანი გარსის პორმონი — სეკრეტინი	376
§ 13. ნეიროჰუმორები	377
§ 14. მცენარეთა და მიკრობების ზრდის სტიმულატორები და ინჰიბიტორები	379

რედაქტორი ქ. ახვლედიანი
გამომცემელი რედაქტორი მ. ჩხაიძე
ტექნორედაქტორი ი. ხუციშვილი
კორექტორი ნ. ცაგარეიშვილი

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 30/VIII-71.
ჭალბის ფორმატი 70×108/16
ნაბეჭდი თაბახი 34,4
საარტიკულ-საგამომცემლო თაბახი 29,4
შეკეთა 551 უე 07415 ტირაჟი 2000
ფასი 1 მან. 44 კაპ.

თბილისის უნივერსიტეტის გამომცემლობა,
თბილისი, ი. ჯავახიშვილის პრინციპი, 14
Издательство Тбилисского университета,
Тбилиси, пр. И. Чавчавадзе, 14

თბილისის უნივერსიტეტის სტამბა,
თბილისი, ი. ჯავახიშვილის პრინციპი, 1.
Типография Тбилисского университета,
Тбилиси, пр. И. Чавчавадзе, 1