

ბიოლოგია

Exploring Biology

Second Edition

Pamela S. Camp

Karen Arms

SAUNDERS COLLEGE PUBLISHING

Philadelphia New York Chicago

San Francisco Montreal Toronto

London Sydney Tokyo Mexico City

Rio de Janeiro Madrid

პ.კემპი, კ.არმსი

ბიოლოგია

ტომი 2

თსსუ-ს სამედიცინო ბიოლოგიის, გენეტიკისა და ეკოლოგიის კათედრის გამგის,
პროფ. ელენე აბზიანძის ადაპტირებული თარგმანი

თ ბ ი ლ ი ს ი
1998

პ.კემპი, კ.არმსი

ბიოლოგია

ამერიკელი ავტორების წიგნში საინტერესოდ და გასაგებად გადმოცემულია ზოგადი ბიოლოგიის საფუძვლები.

აღსანიშნავია, რომ ამერიკაში აღნიშნულ წიგნს ფართო გამოყენება აქვს როგორც ძირითად სახელმძღვანელოს სამედიცინო და საბუნებისმეტყველო პროფილის კოლეჯებისათვის. მას იყენებენ დამხმარე სახელმძღვანელოდ უნივერსიტეტებში სამედიცინო და ბიოლოგიის ფაკულტეტების დაბალ კურსებზე, აგრეთვე გამოიყენებენ სკოლის ბიოლოგიის მასწავლებლები და უფროსკლასელები.

დამტკიცებულია სახელმძღვანელოდ თსსუ-ს ცენტრალური მეთოდური საბჭოს მიერ.

შ ი ნ ა რ ს ი

წინასიტყვაობა	8
მეორე ნაწილი. უჯრედი	9
IX თავი. სიცოცხლის ქიმია	9
9.1. ელემენტები და ატომები.....	11
9.2. ატომური ბმები.....	13
9.3. მოლეკულები და ნაერთები.....	16
9.4. ქიმიური რეაქცია.....	17
9.5. წყალი.....	18
9.6. დისოციაცია.....	21
9.7. ნახშირბადი.....	22
9.8. ბიოლოგიური მოლეკულების წარმოქმნა.....	23
9.9. ნახშირწყლები.....	24
9.10. ლიპიდები.....	26
9.11. ცილები.....	29
9.12. ნუკლეინის მჟავები.....	33
მეცხრე თავის მოკლე შინაარსი	34
შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა.....	35
X თავი. უჯრედის სტრუქტურა და სასიცოცხლო ციკლი	36
10.1. მიკროსკოპი.....	37
10.2. უჯრედის აგებულება.....	40
10.3. უჯრედის მემბრანა.....	42
10.4. ციტოპლაზმაში მოხვედრილი ნივთიერების ბედი.....	50
10.5. უჯრედის ბირთვი.....	53
10.6. რით განსხვავდება მცენარეული უჯრედი ცხოველურისაგან.....	55
10.7. მოძრაობა.....	56
10.8. ურთიერთქმედება და კონტაქტები უჯრედებს შორის.....	57
10.9. პროკარიოტული უჯრედები.....	58
10.10. უჯრედის გაყოფა.....	61
შეათე თავის მოკლე შინაარსი.....	64
შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა.....	65
კითხვები განხილვისათვის.....	67
ნარკვევი. მიტოქონდრიებისა და ქლოროპლასტების წარმოშობა.....	67
XI თავი. ფოტოსინთეზი	69
11.1. ენერჯია და სიცოცხლე.....	70
11.2. ATP.....	71
11.3. ფოტოსინთეზი და სუნთქვა.....	74
11.4. პირველი ექსპერიმენტები ფოტოსინთეზის პროცესის შესასწავლად.....	75
11.5. ფოტოსინთეზის რეაქციის ორი ფაზა.....	78
11.6. ქლოროპლასტის აგებულება.....	78
11.7. სინათლით გამოწვეული რეაქციები.....	80

11.8. ნახშირბადის ფიქსაცია.....	82
11.9. ფოტოსინთეზის პირველი პროდუქტის შემდგომი გარდაქმნა.....	84
მეთორმეტე თავის მოკლე შინაარსი.....	85
შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა.....	85
კითხვები განხილვისათვის.....	86
XII თავი. უჯრედის სუნთქვა	87
12.1. ზოგადი მონაცემები სუნთქვაზე.....	88
12.2. გლიკოლიზი.....	89
12.3. პირუეტის შემდგომი გარდაქმნა. ლიმონმჟეას ციკლი.....	92
12.4. H ⁺ რეზერვუარის შევსება. ელექტრონების გადატანის ჯაჭვი.....	94
12.5. დუღილი.....	96
12.6. სხვა საკვები ნივთიერებები.....	99
მეთორმეტე თავის მოკლე შინაარსი.....	101
შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა.....	102
კითხვები განხილვისათვის.....	102
ნარკვევი. პასტერი და საფუარი.....	103
XIII თავი. სიცოცხლის წარმოშობა	104
13.1. თეორიასახვა.....	104
13.2. სიცოცხლის წარმოშობისათვის აუცილებელი პირობები.....	106
13.3. სიცოცხლის საწყისის ძიება.....	109
13.4. აგრეგატების წარმოქმნა.....	110
13.5. მეტაბოლიზმის წარმოშობა.....	112
13.6. გამრავლების წარმოშობა.....	113
13.7. სიცოცხლის შემდგომი განვითარება.....	114
13.8. ორგანიზმი და გარემო.....	116
მეცამეტე თავის მოკლე შინაარსი.....	117
შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა.....	118
კითხვები განხილვისათვის.....	118
მესამე ნაწილი. გენეტიკური ინფორმაცია	119
XIV თავი. ღწმ	119
14.1. მონაცემები, რომლებიც ადასტურებენ, რომ ღწმ გენეტიკური ინფორმაციის მტარებელია.....	120
14.2. ღწმ-ის სტრუქტურა.....	125
14.3. ღწმ-ის რეპლიკაცია.....	127
14.4. ღწმ უჯრედებში.....	130
14.5. მუტაციური პროცესი.....	131
14.6. გენური ინჟინერია და ღწმ-ის რეკომინაცია.....	132
14.7. ვირუსები.....	134
მეთოთხმეტე თავის მოკლე შინაარსი.....	135

შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა.....	136
კითხვები განხილვისათვის.....	137
ნარკვევი. გამოსხიება და მუტაციები.....	138
XV თავი. ცილის სინთეზი და გენური კონტროლი	140
15.1. რნმ და ღნმ.....	141
15.2. გენეტიკური კოდი.....	143
15.3. ცილის სინთეზი.....	146
15.4. ანტიბიოტიკები.....	148
15.5. ცილის სინთეზის რეგულაცია.....	148
15.6. განვითარება და უჯრედული ღიფერენციაცია.....	151
15.7. კიბო.....	154
მეთხუთმეტე თავის მოკლე შინაარსი.....	157
შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა.....	157
კითხვები განხილვისათვის.....	158
ნარკვევი. ცილები, როგორც ევოლუციური თავსატეხი.....	159
ნარკვევი. ადამიანის „კლონები“.....	161
XVI თავი. მენდელის გენეტიკა	162
16.1. მენდელის გენეტიკური ექსპერიმენტი.....	164
16.2. დომინანტურობა და რეცესიულობა.....	167
16.3. გენეტიკური შეჯვარების სქემები.....	168
16.4. დამოუკიდებელი განაწილება.....	169
16.5. არასრული დომინირება.....	172
16.6. მეიოზი.....	173
16.7. შეჭიდულობა, კროსინგოვერი და გენეტიკური რუქების შედგენა.....	175
მეთექვსმეტე თავის მოკლე შინაარსი.....	181
შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა.....	181
კითხვები განხილვისათვის.....	184
XVII თავი. მემკვიდრეობის ტიპები და გენების ექსპრესია	185
17.1. ლეტალური გენები.....	187
17.2. მეტაბოლიზმის თანდაყოლილი დარღვევები.....	191
17.3. მრავლობითი გენების სერიები.....	192
17.4. პოლიგენური ნიშან-თვისებები.....	193
17.5. სქესის განსაზღვრა.....	194
17.6. სქესთან შეჭიდული გენები.....	196
17.7. გენების ექსპრესიაზე მოქმედი ზოგიერთი ფაქტორი.....	199
მეჩვიდმეტე თავის მოკლე შინაარსი.....	201
შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა.....	201
კითხვები განხილვისათვის.....	203
ნარკვევი. გენეტიკური კონსულტაცია.....	203
პასუხები განყოფილებისათვის	
„შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა“.....	205

წინასიტყვაობა

ახალი სახელმძღვანელო „ბიოლოგია“ წარმოადგენს ამერიკელი ავტორების პ.კემპისა და კარმსის წიგნის ადაპტირებულ თარგმანს ქართულ ენაზე, რომელიც გამოხატავდა მოამზადა თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტის სამედიცინო ბიოლოგიის, გენეტიკის და ეკოლოგიის კათედრამ კათედრის გამგის, პროფ. ე.აბზიანიძის ხელმძღვანელობით.

სახელმძღვანელოში ზოგიერთი პრობლემატური საკითხი შეცვლილი სახითაა. ისინი უახლესი ლიტერატურული მონაცემების საფუძველზე რამდენადმე შევსებულია. სახელმძღვანელო გამოიცემა ორ ტომად. პირველი ტომი შედგება რვა თავისაგან, რომელშიც საინტერესოდ არის განხილული ევოლუციისა და ეკოლოგიის საკითხები. მეორე ტომი შედგება ცხრა თავისაგან, რომელიც მოიცავს უჯრედის ბიოლოგიის, ზოგადი და მოლეკულური გენეტიკის ძირითად თემებს.

ყოველი თავის დასაწყისში ჩამოთვლილი საკითხები დაეხმარება სტუდენტებს, მიაქციოს ყურადღება განხილული თემის უმნიშვნელოვანეს მომენტებს. ამ საკითხთა უმრავლესობა შეიძლება გამოყენებულ იქნას საგამოცდო ბილეთების შედგენისას.

თითოეული თავი ბოლოვდება მოკლე შინაარსით, რომელიც თავისებურ მცდელობას წარმოადგენს ზაგასებულ იქნას ცალკეული თემა და კონცეფცია, რათა უკეთ იქნას ათვისებული თავის შინაარსი. ყოველ თავში, პირველის გარდა, მოცემულია კითხვები ცოდნის დამოუკიდებლად შემოწმებისათვის. პასუხები ამ კითხვებზე მოცემულია სახელმძღვანელოს ბოლოს.

სახელმძღვანელოს ასეთი ორიგინალური ფორმით გამოცემა იმის სრულ გარანტიას იძლევა, რომ წიგნთან დამოუკიდებელი მუშაობისას ახალი მასალის ათვისება სტუდენტების მიერ უფრო სრულყოფილი იქნება.

აღსანიშნავია, რომ ქართულ ენაზე ასეთი პროგრესული ფორმის სახელმძღვანელო ბიოლოგიაში პირველად გამოიცემა და ვიმედოვნებთ, რომ მას დიდი მნიშვნელობა ექნება სტუდენტების ბიოლოგიური ზრუნების ჩამოყალიბებისათვის.

პროფ. ე.აბზიანიძე დიდ მადლობას უხდის კათედრის თანამშრომლებს, მათთან ერთად ბიოლოგებს - მ.გუგუშვილს, თ.ლალიძეს, მ.მაყაშვილს და კორექტორს ე.პაიკიძეს სახელმძღვანელოს მომზადებაში გაწეული დახმარებისათვის.

სახელმძღვანელოში მოსალოდნელია ზოგიერთი ხარვეზის არსებობა, რომელიც გათვალისწინებული იქნება შემდგომ გამოცემაში.

IX თავი

სიცოცხლის ქიმია

ამ თავის დამუშავების შემდეგ თქვენ უნდა შესძლოთ:

1. დაახასიათოთ ქვემოთ ჩამოთვლილი ცნებები და ახსნათ დამოკიდებულება მათ შორის.
 - ატომი. პროტონი. ნეიტრონი. ელექტრონი. იონი.
 - მოლეკულა. მარტივი ბმა. ორმაგი ბმა. პოლარობა.
 - დისოციაცია. მჟავა. ფუძე. pH სკალა.
 - ორგანული ნაერთი. კარბოქსილური ჯგუფი. ამინოჯგუფი.
 - პოლიმერი. მონომერი.
 - ნახშირწყალი. მონოსაქარიდი. დისაქარიდი. პოლისაქარიდი.
 - ლიპიდი. ტრიაცილგლიცეროლი. ცხიმოვანი მჟავა.
 - ამინომჟავა, პოლიპეპტიდი, ცილა
 - კატალიზატორი. ფერმენტი. აქტიური ცენტრი.
 - ნუკლეინის მჟავა. ნუკლეოტიდი.
2. მოიყვანოთ იონური, კოვალენტური და წყალბადური ბმის მაგალითები და განმარტოთ რითი განსხვავებიან ისინი.
3. დაწეროთ წყლის, მოლეკულური ფანჯაბადის, ნახშირორჟანგის და სუფრის მარილის საერთო ფორმულები.
4. ჩამოთვალოთ და გაარჩიოთ ის ექვსი თვისება, რის გამოც წყალი ცოცხალი სისტემების ასეთი მნიშვნელოვანი კომპონენტია.
5. ჩამოთვლილი ნივთიერებები: გლუკოზა, ცელულოზა, სახამებელი, გლიკოგენი – მიაკუთვნოთ 1 პუნქტში მოყვანილ რომელიმე კლასს და მიუთითოთ მათ ფუნქციებზე ცოცხალ ორგანიზმში.
6. ჩამოთვალოთ ცოცხალ ორგანიზმში არსებული ორგანული ნაერთების ოთხი ძირითადი კლასი და მიუთითოთ მათ როლზე.
7. ახსნათ, რატომ არის ფერმენტული რეაქციები დამოკიდებული გარემოს ტემპერატურაზე, pH-ზე და კოფაქტორის არსებობაზე.

ამ წიგნის პირველ თავში ცოცხალი სამყარო განხილულია ისეთ დონეზე, როგორც ჩვენ მათ ბუნებაში აღვიქვამთ. საუბარი იყო მცენარეებზე, რომლებიც ხარობენ იქ, სადაც საკმარისია სინათლე და ტენიანობა, ცხოველებზე, რომლებიც მცენარეებით ან სხვა ცხოველებით იკვებებიან. ესაუბრობდით იმაზე, რომ ნებისმიერი ორგანიზმი ზრდისთვის, არსებობისთვის და შთამომავლობის მოცემისთვის საკვებს საჭიროებს. მაგრამ უფრო ზუსტად რომ გავერკეთ,

როგორ ხდება ყველაფერი ეს, სიცოცხლე უნდა განვიხილოთ გაცილებით მცირე მასშტაბით, ანუ უჯრედულ დონეზე.

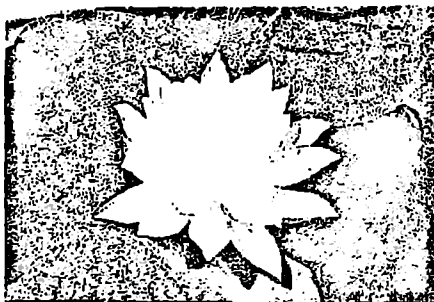
უჯრედი – სიცოცხლის ერთეულია – უმცირესი სტრუქტურაა, რომელიც სიცოცხლის განმსაზღვრელ ფუნქციებს ასრულებს. ამ ფუნქციებს მიეკუთვნება: ნივთიერებისა და ენერჯის შთანთქმა, ენერჯის გამოყენება მარტივი სტრუქტურებიდან რთულის შექმნის, ზრდისა და გამრავლებისათვის. ზოგიერთი ორგანიზმი, მაგალითად, აშება და ბაქტერიები მხოლოდ ერთი უჯრედისაგან შედგება (ერთუჯრედიანები), სხვები კი მილიარდობით უჯრედისაგან (მრავალ-უჯრედიანები). მიუხედავად იმისა, რომ ორგანიზმები ერთმანეთისგან ძლიერ განსხვავდებიან ზომებით და ცხოვრების წესით, მათ უჯრედებს შორის ბევრი საერთოა: ყველა უჯრედი ერთი ტიპის ქიმიური ნივთიერებებისაგან შედგება და ისინი ერთნაირ გარდაქმნებს განიცდიან.

წიგნის მეორე ნაწილში ჩვენ შევისწავლით უჯრედის რთულ აგებულებას და გაცეცნობით, როგორ ღებულობენ და ითვისებენ უჯრედები ენერჯიას. ეს მოგვამზადებს შეკითხვისათვის: როგორ შეიძლება მარტივი ქიმიური ნივთიერებების (რომლებიც განეკუთვნებიან არაცოცხალ ბუნებას) ურთიერთქმედებისას წარმოიქმნას და განითარდეს ყველა ეს რთული სტრუქტურა და ფუნქცია.

უნდა დავიწყოთ ცოცხალ ორგანიზმებში შემაჯავლი ქიმიური ნივთიერებების განხილვით. ცოცხალი ორგანიზმების – ცხოველების, მცენარეების, ბაქტერიების, სოკოების ქიმიას ორი თავისებურება ახასიათებს:

1. ცოცხალი ორგანიზმების ძირითადი შემადგენელი კომპონენტი არის წყალი.
2. მხოლოდ ცოცხალი ორგანიზმებისთვის დამახასიათებელი ქიმიური ნივთიერებები შეიცავენ ნახშირწყალბადოვან „ჩონჩხს“ (სურ.9.1).

ამ თავში განვიხილავთ ნივთიერებების აგებულების ზოგად სქემას. პირველ რიგში ჩვენს ინტერესს წარმოადგენს წყალი და ცოცხალის ნახშირბადშემცველი კომპონენტები.



სურ. 9.1. თეთრი ღებუარა ფესვების, ღეროს და ფოთლებს წარმოაქმნელად იყენებს წყალს და არაორგანულ შენაერთებს, რომლებსაც შეიცავს მისი გარემომცველი წყალი და ჰაერი.

9.1. ელემენტები და ატომები

თხევადი, მყარი და აიროვანი ნივთიერებების შესწავლისას მეცნიერებმა აღმოაჩინეს, რომ ზოგიერთი მათგანი შეიძლება დაიშალოს მარტივ კომპონენტებად. გარკვეულ პირობებში წყალი ორ აიროვან კომპონენტად – წყალბადად და ჟანგბადად იშლება, ხოლო რკინის ჟანგისგან შეიძლება მიღებულ იქნას ჟანგბადი და რკინა.

არსებობს ისეთი ნივთიერებებიც, რომლებიც არ იშლება. მათ ელემენტები ეწოდებათ. ელემენტებია: წყალბადი, ჟანგბადი, რკინა, აზოტი, ოქრო, პლუტონი და სხვ.

ნახშირბადი, როგორც ელემენტი, ბუნებაში ორი ფორმით არსებობს – გრაფიტი (ყველასთვის ცნობილი ფანქრის გული) და ალმასი. ნახშირბადი სიცოცხლისთვის ძალზე მნიშვნელოვანია, რადგან მისი შესაძლებლობები ფრიად მრავალფეროვანია. მას შეუძლია შეუერთდეს სხვა ელემენტებს და წარმოქმნას ცოცხალი ორგანიზმებისთვის აუცილებელი ათასობით სხვადასხვა ნივთიერება.

ქიმიკოსების მიერ ასამდე ელემენტია აღმოჩენილი, მაგრამ ცოცხალ ორგანიზმებში დაახლოებით ოცამდე ელემენტი გვხვდება.

ცოცხალი ორგანიზმებისთვის აუცილებელი ელემენტები ზმირად ბუნებაში გაცილებით ნაკლებადაა გავრცელებული, ვიდრე ისინი, რომლებიც ცოცხალ ორგანიზმებში არ გვხვდება. მაგალითად, სილიციუმი, რომელიც ცოცხალ ორგანიზმებში თითქმის არ გვხვდება, ღვამიწის ქერქში ნახშირბადთან შედარებით 300–ჯერ მეტია, ნახშირბადი კი ცოცხალი ორგანიზმებისთვის აუცილებელია.

წარმოვიდგინოთ, რომ ჩვენ ვაქტუცმაცებთ გრაფიტს იმ უმცირეს ნაწილაკამდე, რომელსაც ჯერ კიდევ შენარჩუნებული ექნება ნახშირბადის თვისება. ამ ნაწილაკს ნახშირბადის ატომი ეწოდება. ატომი ნივთიერების უმცირესი ერთეულია (ნახშირბადის ატომის დიამეტრი 15 ნმ–ს არ აღემატება).

მეოცე საუკუნეში მეცნიერებმა უკეთ შეისწავლეს ატომის აგებულება და შემდეგ მისი უფრო მცირე ნაწილაკებად გახლეჩაც შეძლეს. იგი სამი სახის ნაწილაკისაგან: პროტონებისგან (ელექტრული მუხტი = +1), ნეიტრონებისგან (ელექტრული მუხტი = 0) და ელექტრონებისგან (ელექტრული მუხტი = -1) შედგება.

ატომის ცენტრში მოთავსებულია ბირთვი. იგი პროტონებისა და ნეიტრონებისაგან შედგება. დანარჩენი სივრცე ელექტრონებს უჭირავთ, რომლებიც ბირთვის გარშემო განსაზღვრულ ორბიტალებზე ბრუნავენ. ცნობილია, რომ განსხვავებული ნიშნის მუხტები ერთმანეთს მიიზიდავენ. სწორედ ამიტომ არ იშლება ატომი, რადგანაც ბირთვის დადებითად დამუხტული პროტონები მის გარშემო მბრუნავ უარყოფითად დამუხტულ ელექტრონებს იზიდავენ. ატომში პროტონებისა და ელექტრონების რიცხვი ყოველთვის თანაბარია, რის გამოც მუხტები ურთიერთკომპენსირდებიან და შესაბამისად ატომი მთლიანობაში ელექტრულად ნეიტრალურია.

ყველაზე მარტივი აგებულება აქვს წყალბადის ატომს (სურ. 9.2). იგი შედგება ერთი დადებითად დამუხტული პროტონისაგან, რომლის გარშემო ბრუნავს ერთი უარყოფითად დამუხტული ელექტრონი. წყალბადის ატომში, როგორც წესი, ნეიტრონები არ არის, მაგრამ ყველა სხვა ელემენტის ატომის ბირთვი ნეიტრონებს შეიცავს. მაგალითად, პლუტონის ატომის

ბირთვი ორი პროტონისა და ორი ნეიტრონისაგან შედგება (სურ.9.2). ერთნაირი რაოდენობის პროტონების შემცველი ატომები ერთსა და იმავე ელემენტებს განეკუთვნებიან. წყალბადის ატომი ერთ პროტონს შეიცავს, ჰელიუმისა – ორს, ნახშირბადისა – ექვსს (სურ.9.3).

ცხრილი 9.1. ცხოველებში აღმოჩენილი ქიმიური ელემენტები და მათი მიახლოებითი შემცველობა (%-ში)

ელემენტი	სიმბოლო	შედგენილობა, %
ჟანგბადი	O	62,00
ნარშირბადი	C	20,00
წყალბადი	H	10,00
აზოტი	N	3,00
კალციუმი	Ca	2,50
ფოსფორი	P	1,00
გოგირდი	S	0,25
კალიუმი	K	0,25
ქლორი	Cl	0,20
ნატრიუმი	Na	0,10
მაგნიუმი	Mg	0,07
იოდი	I	0,01
რკინა	Fe	0,01
მიკროელემენტები (მცირე დოზით შემავალი)		
სპილენძი	Cu	
მანგანუმი	Mn	
მოლიბდენი	Mo	
კობალტი	Co	
ბორი	B	
თუთია	Zn	
ფტორი	F	
ხელენი	Se	
ქრომი	Cr	

წყალბადი



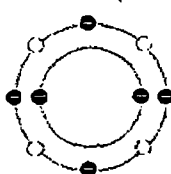
ჰელიუმი



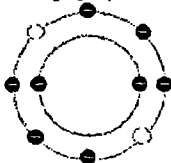
● ელექტრონი
○ ნეიტრონი
● პროტონი

სურ. 9.2. ნილს ბორის მიერ 1913 წელს მოწოდებული წყალბადის და ჰელიუმის ატომების მოდელები (მამშტაბი არ არის დაცული).

ნახშირბადი



ჟანგბადი



● ელექტრონი
○ ნეიტრონი
● პროტონი

სურ. 9.3. ბორის მოდელები ნახშირბადის და ${}^1_1\text{H}$, ${}^2_1\text{H}$, ${}^3_1\text{H}$, ${}^4_2\text{He}$ ატომების (ნეიტრონი). წვეტილი წრეები აღნიშნავენ „ცარიელ“ სივრცეებს, რომლებიც შეიძლება ელექტრონებით შეივსოს. ნახშირბადის ატომის გარეთა გარსზე კიდევ ოთხი ელექტრონის ადგილი არის. ჟანგბადის ატომს შეუძლია კიდევ ორი ელექტრონის მიერთება და მამინ მის გარეთა გარსზე იქნება რვა ელექტრონი. ე.ი. სრული ნაკრები.

9.2. ატომური ბმა

ზემოთ ჩვენ აღვწერეთ ელექტრულად ნეიტრალური ატომები და მათი მოდელებიც მოვიყვანეთ, მაგრამ ბუნებაში იშვიათად გვხვდება განცალკევებულად მყოფი ატომები, რადგან უმრავლესი ელემენტების ატომები არასტაბილურია. 9.3 და 9.4 სურათებზე ატომის ბირთვის გარშემო არსებული სივრცე რამდენიმე შრედ არის გაყოფილი და ყოველ მათგანზე ელექტრონი იმყოფება. ამ შრეებს ელექტრონული გარსები ეწოდება. ატომის სტაბილურობისთვის აუცილებელია, რომ მისი გარეთა გარსი „შევსებული“ იყოს ელექტრონების გარკვეული რაოდენობით. წყალბადისა და ჰელიუმისთვის ეს ციფრი ორის ტოლია, ხოლო სხვა ატომებისათვის, რომლებსაც ქვემოთ განვიხილავთ, ამ ციფრის მარჯვენელი არის რვა (9.2 სურათზე ჩანს, რომ ჰელიუმის ატომი შეიცავს ორ ელექტრონს. ამიტომ იგი სტაბილური და ინერტულია, არსებობს თავისუფალი ფორმით და ჩვეულებრივ პირობებში ქიმიურ რეაქციებში არ შედის).

ატომებს, რომლებსაც შეუვსებელი გარეთა ელექტრონული გარსები აქვთ, შეუძლიათ შევიდნენ ქიმიურ რეაქციებში და წარმოქმნან ბმები სხვა ატომებთან. რეაქცია მიმდინარეობს ელექტრონების გადაჯგუფებით, რის შედეგადაც ყოველი ატომის გარეთა ელექტრონული გარსი ივსება და იგი სტაბილური ხდება (ატომის ბირთვი უცვლელი რჩება. ამიტომ რეაქციის დამთავრების შემდეგ მასში მონაწილე ატომები იმ ელემენტის ატომებად რჩებიან, რომელიც რეაქციაში შევიდა).

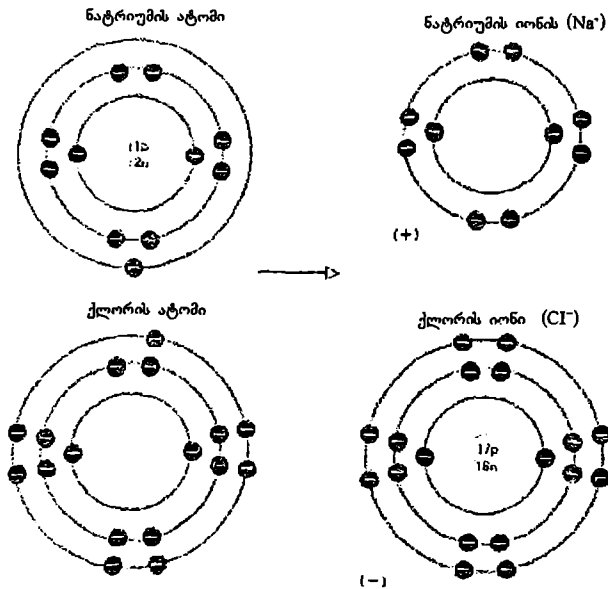
ცოცხალ ორგანიზმებში ძირითადად სამი ტიპის ბმები გვხვდება:

1. იონური ბმა წარმოიქმნება მაშინ, როდესაც ერთი ატომი მეორეს ერთ ან რამდენიმე ელექტრონს აძლევს, რის შედეგადაც თითოეული ატომი ელექტრონების სტაბილური რიცხვის მფლობელი ხდება. მაგალითად, ნატრიუმის ატომს გარეთა გარსზე აქვს ერთი ელექტრონი, მაგრამ ნატრიუმის ატომი უფრო სტაბილური იქნებოდა მის გარეშე. ქლორის ატომს კი პირიქით – სტაბილურობისათვის კიდევ ერთი ელექტრონი ესაჭიროება. ამიტომ მას ნატრიუმისაგან ერთი ელექტრონის მიღება შეუძლია (სურ.9.4). მას შემდეგ, რაც ელექტრონი ნატრიუმის ატომიდან ქლორისაში გადაინაცვლებს, ნატრიუმის ატომში პროტონების რიცხვი ელექტრონებთან შედარებით ერთით მეტი აღმოჩნდება. შესაბამისად მისი შეჯამებული მუხტი (+1) იქნება, ე.ი. ნატრიუმის ატომი ნატრიუმის იონად (Na^+) გარდაიქმნება, ხოლო ქლორი, რომელმაც მიიღო დამატებითი ელექტრონი და მისი შეჯამებული მუხტი გახდა (-1), გარდაიქმნება ქლორის იონად (Cl^-). ნატრიუმისა და ქლორის იონები, რომლებიც ურთიერთსაწინააღმდეგო მუხტებს ატარებენ, მიიზიდებიან და წარმოქმნიან ნატრიუმის ქლორიდის კრისტალებს, ანუ ყველასთვის კარგად ცნობილ სუფრის მარილს.

2. კოვალენტური ბმა წარმოიქმნება მაშინ, როდესაც ორ ატომს უნდება ელექტრონების საერთო წყვილი, სადაც თითოეული ატომისგან თითო ელექტრონი არის წარმოდგენილი. მაგალითად, წყალბადის ორ ატომს შეუძლია გააწყვილოს არსებული თითო ელექტრონი და მაშინ თითოეულს გარეთა გარსი შევსებული ექნება ორი ელექტრონით. ორ ატომს შორის შეიძლება განაწილდეს ელექტრონების ორი წყვილი. ასეთ შემთხვევაში ორმაგი კოვალენტური ბმა წარმოიქმნება (სურ.9.6).

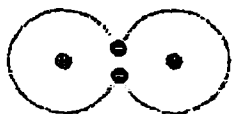
როდესაც კოვალენტური ბმა წარმოიქმნება ერთი და იმავე ელემენტების ატომებს შორის, ისინი საერთო ელექტრონებს ერთნაირი ძალით მიიზიდავენ. ამიტომ ელექტრონები ძირითადად ატომებს შორის – შუაში არიან (სურ. 9.5 და 9.6). თუ კოვალენტური ბმა მყარდება სხვადასხვა ელემენტების ატომებს შორის, ერთერთი უფრო ძლიერ იზიდავს ელექტრონებს. ამიტომ ელექტრონები ძირითადად ძლიერი ატომის მხარეს იმყოფებიან. ასეთ კოვალენტურ ბმაში ელექტრონი მუხტი გადაწველებულია და მას პოლარული ბმა ეწოდება. პოლარულ ბმაში ერთი ატომი ფაქტობრივად კარგავს ელექტრონს და ნაწილობრივ დადებითი მუხტის მატარებელი ხდება, ხოლო მეორე ატომი – ნაწილობრივ უარყოფითი მუხტის მატარებელი (სურ. 9.7).

3. წყალბადური ბმა არის ატომებს შორის ბმის მესამე ტიპი და მას დიდი მნიშვნელობა აქვს ცოცხალი ორგანიზმებისათვის. ამ ბმის წარმოქმნაში მონაწილეობს წყალბადის ატომი პოლარული კოვალენტური ბმით სხვა ატომთან (როგორც წესი ჟანგბადთან ან აზოტთან) იმგვარად შეერთებული, რომ წყალბადი ნაწილობრივ დადებით მუხტს ატარებს. იგი მიიზიდება ნაწილობრივ უარყოფითი მუხტით, რომელიც, როგორც წესი, აქვს ჟანგბადის ან აზოტის ატომებს. ასეთ მიზიდულობას წყალბადური ბმა ეწოდება (სურ. 9.8). იგი გაცილებით სუსტია, ვიდრე კოვალენტური ან იონური ბმები, მაგრამ მრავალრიცხოვანი ასეთი ბმა მიზიდულობის საკმაოდ დიდ ძალას წარმოქმნის.



სურ. 9.4. იონური ბმის წარმოქმნა. ნატრიუმი სტაბილური ხდება, როცა კარგავს თავისი ვარეთა გარსის ერთ-ერთ ელექტრონს. ქლორმა, რომელსაც ვარეთა გარსზე აქვს შვიდი ელექტრონი, უნდა მიიერთოს კიდევ ერთი ელექტრონი, რომ მიღებული იქნას რვა ელექტრონი ანუ შეძლგარი სტაბილური ნარები. ელექტრონის ასეთი გადატანის შემდეგ ნატრიუმის ატომი გარდაიქმნება იონად 11 პროტონით, ანუ უაპური მუხტით (+). ქლორს 17 პროტონით და 18 ელექტრონით აქვს უაპური მუხტი (-). მას ქლორის იონს ანუ ქლორიდ იონს უწოდებენ.

მოლეკულური წყალბადი (H_2)

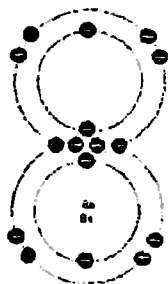


ბორის მოდეული

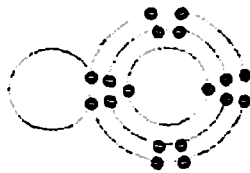


ელექტრონული ღრუბელის მოდეული

სურ. 9.5. წყალბადის ორ ატომს შორის კოვალენტური ბმის გამოხატვის ორი ხერხი. წყალბადის ყოველ ატომს აქვს ერთი ელექტრონი და მისწრაფებს მეორის მიერთებისაკენ. ამგვარად, მიიღება ორი ელექტრონით შევსებული გარეთა გარსი. გააწყვილებს რა თავის ელექტრონებს, წყალბადის ორივე ატომი ავსებს თავის ელექტრონულ გარსებს. ელექტრონული ღრუბელის მოდელში შეფერვების ინტენსივობა მუთითითებს დროის იმ წილზე, რომელსაც სწრაფად მოძრავი ელექტრონები ატარებენ ატომთა ელექტრონული გარსების სხვადასხვა უბანში. კოვალენტური ბმის წარმოქმნაში მონაწილე ელექტრონები დროის დიდ ნაწილს ატომთა ბირთვებს შორის ატარებენ.



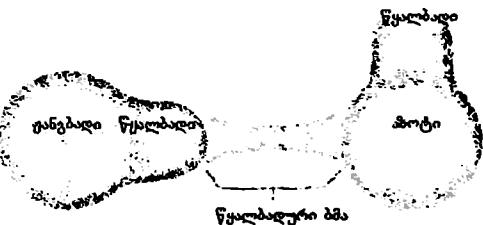
სურ.9.6. ორმაგი კოვალენტური ბმა ეანგბადის ორ ატომს შორის. ელექტრონების ორი წყვილი განაწილებულია ამ ორ ატომს შორის, რის გამოც თითოეულ ატომს რვა ელექტრონით შევსებული გარეთა გარსი აქვს.



წყალბადი ქლორი

სურ. 9.7. ქლორწყალბადის (HCl) პოლარული მოლეკულის გამოხატვის ორი სხვადასხვა ხერხი. კოვალენტურ ბმაში ელექტრონების გაწყვილებული წყვილი ქლორის ატომის ბირთვით უფრო ძლიერ მიზიდება, ვიდრე წყალბადის ატომის ბირთვით. ამის შედეგად ქლორი ატარებს ნაწილობრივ უარყოფით მუხტს, ხოლო წყალბადი ნაწილობრივ კარგავს თავის ელექტრონს და იქნის ნაწილობრივ დადებით მუხტს.

სურ. 9.8. ნაწილობრივ დადებით მუხტის მქონე პოლარულად დაკავშირებული წყალბადის ატომისა და ნაწილობრივ უარყოფით მუხტის მქონე პოლარულად დაკავშირებული აზოტის ან ეანგბადის ატომებს შორის სუსტ მიზიდულობას წყალბადური ბმა ეწოდება. წყალბადური ბმები შეიძლება წარმოიქმნას სხვადასხვა მოლეკულის ატომებს შორის, ან ერთი რომელიმე დიდი მოლეკულის სხვადასხვა ნაწილს შორის.



9.3. მოლეკულები და ნაერთები

ყოველი ელემენტის ატომს შეუძლია შეიერთოს, გასცეს ან გაასხვისოს ელექტრონების განსაზღვრული რაოდენობა. ამიტომ წინასწარ შეგვიძლია განვსაზღვროთ ბმის ტიპი და რაოდენობა, რომელიც შეუძლია წარმოქმნას მოცემული ელემენტის ატომმა. მაგალითად, ნატრიუმის ატომს შეუძლია გასცეს ერთი ელექტრონი და წარმოქმნას იონური ბმა.

სიცოცხლის ქიმიის გაცნობისას, დავინახავთ, რომ ცოცხალ ორგანიზმებში ყველაზე ხშირად გავრცელებული ოთხი ელემენტის ატომები წარმოქმნიან შემდეგი რაოდენობის ბმებს:

– ნახშირბადი – 4, – აზოტი – 3, – ჟანგბადი – 2, – წყალბადი – 1

ნაერთი ეწოდება ნივთიერებას, რომელშიც სხვადასხვა ელემენტის ორი ან მეტი ატომი დაკავშირებულია ერთმანეთთან განსაზღვრული ბმების საშუალებით.

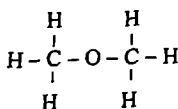
ნაერთები ხასიათდება გარკვეული შედგენლობით და გარკვეული თვისებებით, რომლებიც განსხვავდება მასში შემავალი ელემენტების თვისებებისაგან. ამ თავში ჩვენ უკვე შევეხეთ ნაერთებს, როცა ვახსენეთ წყალი, ნატრიუმის ქლორიდი, რკინის ჟანგი.

მოუკეულა არის რომელიმე ნაერთის უმცირესი ნაწილაკი, რომელიც ინარჩუნებს მის ყველა თვისებას, ისე, როგორც ატომი ინარჩუნებს ელემენტის ყველა თვისებას. იონური ბმებით წარმოქმნილი ნაერთი შედგება არა ატომებისაგან, არამედ იონებისაგან.

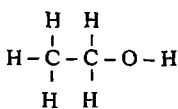
ქიმიური შემადგენლობის გამოსახატავად ქიმიკოსები იყენებენ სპეციალური შემოკლებების განსაკუთრებულ სისტემას, რომელშიც სხვადასხვა ელემენტის ატომები აღნიშნულია ერთი ან ორი ასოთი გამოხატული სიმბოლოთი (იხ. ცხრილი 9.1). მოცემული ნივთიერებების საერთო ფორმულა (ბრუტო ფორმულა) გვიჩვენებს, რომელი ატომი რა რაოდენობით და როგორი თანაფარდობით შედის მოცემულ ნაერთში. მაგალითად, წყლის ფორმულა H_2O გვიჩვენებს, რომ ყოველი მისი მოლეკულა შეიცავს წყალბადის ორ და ჟანგბადის ერთ ატომს. სუფრის მარილის $NaCl$ თითოეული მოლეკულა შეიცავს ნატრიუმის ერთ იონს Na^+ (ნიშანი + უჩვენებს, რომ იონი დადებითი მუხტის მატარებელია) და Cl^- -ის ერთ იონს, სადაც ნიშანი (-) მიუთითებს, რომ იონი უარყოფითი მუხტის მატარებელია.

სტრუქტურული ფორმულა გაცილებით დიდია, ვიდრე ბრუტო ფორმულა, მაგრამ ის კარგად გამოხატავს ატომების განლაგებას და ბმების ფორმებს. წყლის სტრუქტურული ფორმულა $H-O-H$, რომელიც გვიჩვენებს, რომ მისი წყალბადის ატომები შეერთებულია ჟანგბადის ატომთან ცალ-ცალკე. ხაზები აღნიშნავენ კოვალენტურ ბმებს. თუ ორი რაიმე ნივთიერება შეიცავს ერთნაირი რაოდენობით ერთი და იგივე ატომებს, მათი გარჩევა შესაძლებელია მხოლოდ სტრუქტურული ფორმულის საშუალებით (სურ. 9.9).

დიმთილის ეთერი



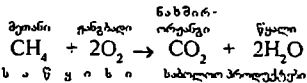
ეთერის სპირტი



სურ. 9.9. ორი ნივთიერების სტრუქტურული ფორმულა, რომელთა ბრუტო-ფორმულები ერთნაირია (C_2H_6O) ეთილის სპირტი, ე.წ. ეთანოლი, ეს ის სპირტია, რომელსაც ალკოჰოლური სასმელები შეიცავს.

9.4. ქიმიური რეაქცია

მოლეკულები იმყოფებიან გამუდმებულ მოძრაობაში და ამ დროს ისინი ეჯახებიან ერთმანეთს. ჩვეულებრივ ისინი აისხლიტებიან ერთმანეთისაგან სხვადასხვა მიმართულებით, რადგან მათი ელექტრული გარსები განიზიდებიან. მაგრამ ძლიერი შეჯახებისას გამოიყოფა საკმარისი რაოდენობის ენერგია, რომელიც საკმარისია ელექტრონების გადაჯგუფებისათვის და შეჯახებულ მოლეკულებს შორის ბმების ახალი ნაკრების წარმოქმნისათვის, ანუ ხდება ახალი ნივთიერებების წარმოქმნა. ამ მოვლენას ქიმიური რეაქცია ეწოდება. რეაქციას წერენ ტოლობის სახით. ქვემოთ მოყვანილი ტოლობა აღწერს ჭაობის აირის – მეთანის წვას.

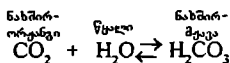


ასეთ ტოლობაში საწყისი ნივთიერებები მოცემულია მარცხნივ. საბოლოო კი მარჯვნივ – ისრის შემდეგ. რიცხვი 2, რომელიც არის O-სა და H₂O - ს წინ, გვიჩვენებს, რომ ერთი მოლეკულა მეთანის დაწვაზე იხარჯება ორი მოლეკულა ჟანგბადი და ყოველ წარმოქმნილ ერთ მოლეკულა ნახშირორჟანგზე წარმოიქმნება ორი მოლეკულა წყალი.

მეთანის ქიმიური ბმების წარმოსაქმნელად, ანუ ბმებისა ნახშირბადისა და წყალბადის ატომებს შორის, დაიხარჯა გარკვეული რაოდენობის ენერგია და ამ ენერგიის ნაწილი აკუმულირებულია წარმოქმნილ ბმებში. ბმების დაშლისას გამოიყოფა ეს ენერგია და მისი ნაწილი იხარჯება ახალწარმოქმნილ ნივთიერებაში ბმების შესაქმნელად. მაგრამ ბმების ჯამური ენერგია ნახშირორჟანგში და წყალში ნაკლებია, ვიდრე საწყის ნივთიერებებში (მეთანი და ჟანგბადი). დანარჩენი ენერგია გამოიყოფა რეაქციის დროს სითბოს სახით. ისარი ქიმიურ რეაქციაში მიმართულია დაბალი ჯამური ენერგიის მხარეს, ანუ იგი გვიჩვენებს, რომელი მიმართულებით მიმდინარეობს რეაქცია.

ჩვენს მიერ განხილულ რეაქციას – მეთანის წვას ახლავს ენერგიის გამოყოფა. მაგრამ რეაქცია არ დაიწყება მანამ, სანამ არ დაიხარჯება გარკვეული ხასტარტო ენერგია, რომელიც საჭიროა რეაქციის დასაწყებად. ოთახის ტემპერატურაზე მეთანისა და ჟანგბადის მოლეკულების შეჯახებათა უმრავლესობა არ გამოყოფს რეაქციის დასაწყებად საკმარის ენერგიას. ამიტომ რეაქციის სიჩქარე მცირეა და პროცესი ნელა მიმდინარეობს. მისი სიჩქარის გაზრდა შეიძლება, თუ გამოვიყენებთ ანთებულ ასანთს დამატებითი სითბური ენერგიის სახით, რომელიც გაზრდის მოლეკულების მოძრაობის სიჩქარეს. ისინი ერთმანეთს ეჯახებიან დიდი სიჩქარით და უფრო ხშირად, ე.ი. რეაქცია მიმდინარეობს უფრო სწრაფად. მას შემდეგ, რაც რეაქცია დაიწყება, იგი უკვე თვითონ ამარაგებს თავის თავს სითბური ენერგიით, ასე რომ, სულ უფრო მეტი მეთანის მოლეკულა შედის ქმედებაში ჟანგბადის მოლეკულასთან, ე.ი. რეაქციის სიჩქარე სწრაფად იზრდება.

ზოგჯერ ქიმიურ რეაქციაში ისრები მიმართულია ორივე მხარეს.



ასეთი ორმაგი ისარი გვიჩვენებს, რომ ენერჯის სხვაობა ორ მხარეს შორის მცირეა, ე.ი. რეაქტია შექცევადია. პირობების მიხედვით იგი შეიძლება წარმართოს როგორც ერთი, ასევე მეორე მიმართულებით.

9.5. წყალი

წყალი ერთერთი ყველაზე მეტად გავრცელებული ნივთიერებაა დედამიწაზე. მას დედამიწის ზედაპირის უდიდესი ნაწილი უჭირავს და თითქმის ყველა ცოცხალი ორგანიზმი შედგება წყლისაგან. წყლის საკმარისი მარაგის გარეშე სიცოცხლე წარმოუდგენელია.

წყლის უნიკალურ თვისებებს განსაზღვრავს მისი მოლეკულის სტრუქტურა. წყლის მოლეკულაში ჟანგბადის ერთი ატომი კოვალენტური ბმით დაკავშირებულია წყალბადის ორ ატომთან (სურ.9.10). მოლეკულა გაზნიჭილია და კმნის კუთხეს. კუთხის მწვერვალზე იმყოფება ჟანგბადის ატომი, კიდებზე კი წყალბადის ატომები. რადგანაც ჟანგბადის ატომი უფრო ძლიერ იზიდავს ელექტრონებს, ვიდრე წყალბადისა, წყლის მოლეკულა პოლარულია: მისი ჟანგბადის ატომი ატარებს ნაწილობრივ უარყოფით მუხტს, ხოლო თითოეული წყალბადის ატომი – ნაწილობრივ დადებით მუხტს.

წყლის ერთ მოლეკულაში არსებული ნაწილობრივ უარყოფითი ჟანგბადის ატომი მიიზიდება წყლის მეორე მოლეკულაში არსებული წყალბადის ნაწილობრივ დადებით ატომით, რის შედეგადაც წყლის მოლეკულები უერთდებიან ერთმანეთს წყალბადური ბმებით (სურ.9.11). წყლის ჩვეულებრივი მდგომარეობისას, მოლეკულების შეჯახების დროს, ეს ბმები სწრაფად წარმოიქმებიან და ასევე სწრაფად იშლებიან.

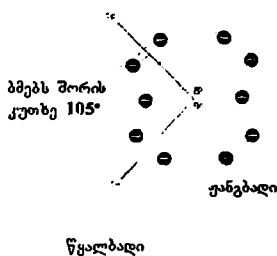
1. ბმების პოლარობის მიხედვით წყალს თვითშერწყმის (კოგეზია) და სხვა ნივთიერებასთან შერწყმის (ადგეზია) უნარი აქვს. წყალშომელა ბაღლინჯო წყალზე ისევე მოძრაობს, როგორც ხმელეთზე. ეს იმიტომ არის შესაძლებელი, რომ წყალს გააჩნია ზედაპირული დაჭიმულობა, რომელიც კოგეზიით არის განპირობებული, ანუ იმიტომ, რომ წყლის მოლეკულები ერთმანეთთან წყალბადური ბმებით არიან დაკავშირებული.

წყლის მოლეკულები ასევე ძლიერ მიიზიდებიან ელექტრული მუხტის მატარებელი ნებისმიერი ზედაპირით. ადგუზის ამ უნარით აიხსნება წყლის კაპილარული თვისება – ააღწიოს მინის წვრილ მილაკში ან ქაღალდის, ნიადაგის წვრილ ფორებში (სურ.9.12., სურ.9.14.).

2. წყალი კარგი გამხსნელია. სხვა სითხეებთან შედარებით წყალში ყველაზე მეტი ნივთიერება იხსნება. ხსნარში გადასვლის დროს ნივთიერების მოლეკულები ან იონები იშლებიან და გამხსნელის მოლეკულებს (მოცემულ შემთხვევაში წყლის მოლეკულებს) ერევიან. მოლეკულის პოლარულობის გამო წყალს აქვს უნარი გაიხსნას იონური და სხვა პოლარული ნივთიერებები (სურ.9.13.).

არაპოლარული ნაერთები წყალში არ იხსნება. ისინი წყალთან გაყოფის ზედაპირს წარმოქმნიან. ყველას შეუძნევეა ცხიმის წვეთების გაყოფის ზედაპირები. ასეთი გაყოფის ზედაპირებს ძალიან დიდი მნიშვნელობა აქვს ცოცხალი ორგანიზმებისათვის, რადგანაც სწორედ გაყოფის ზედაპირის ადგილებში მიმდინარეობს ძალიან ბევრი რეაქცია. ამიტომაც ის ფაქტი, რომ წყალში არაპოლარული ნივთიერებები არ იხსნებიან, ძალიან მნიშვნელოვანია.

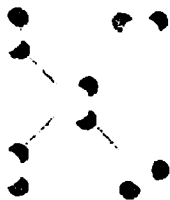
წყალბადი



სურ. 9.10. წყლის მოლეკულა. ჟანგბადის ერთი ატომი კოვალენტურად არის დაკავშირებული ორ ატომ წყალბადთან. მოლეკულა პოლარულია, რადგან იგი გაზნეკილია კუთხით და ჟანგბადის ატომის ბირთვი გაწყვილებულ ელექტრონებს ეწევა ამ კუთხისაკენ ისე, რომ ჟანგბადი იძენს ნაწილობრივ უარყოფით მუხტს, ხოლო კუთხის დია ბოლოებზე მყოფი წყალბადის ატომები კი - ნაწილობრივ დადებით მუხტებს.

3. წყალს მაღალი თბოგამტარობა აქვს. თბოგამტარობა არის მოცემულ ნივთიერებაში სითბოს გავრცელების უნარის საზომი. ორგანიზმში მუდმივად მიმდინარეობს სხვადასხვა რეაქცია, რომლებსაც ახლავს სითბოს გამოყოფა. წყლის კარგი თბოგამტარობის გამო, ეს სითბო თანაბრად ნაწილდება მთელ ორგანიზმში არსებულ წყალში. ამით ქრება ცალკეული „ცხელი წერტილების“ წარმოქმნის საშიშროება, რომელიც დააზიანებდა ქსოვილებს.

4. წყალს დუღილის მაღალი ტემპერატურა აქვს. იმისათვის, რომ ვაიძულოთ $v_{\text{ჰ}_2\text{O}}$ მოლეკულები იმოძრაონ იმ სიჩქარით, რომ გაწყვიტონ მათ შორის არსებული წყალბადური ბმები, საჭიროა დიდი სითბური ენერგია. დუღილის ტემპერატურის მიღწევისას წყალი აიროვან მდგომარეობაში (ორთქლში) გადადის, სადაც წყლის მოლეკულები ერთმანეთთან აღარ არიან დაკავშირებული. საბედნიეროდ, დედამიწაზე არასოდეს არ არის ისეთი ტემპერატურა, რომელიც წყლის ადუღებას გამოიწვევდა.



სურ. 9.11 წყალბადური ბმები წყლის მოლეკულებს შორის. ჟანგბადის ატომები (დია ფერის წრეები) ატარებს ნაწილობრივ უარყოფით მუხტებს. ამიტომ ისინი წარმოქმნიან წყალბადურ ბმებს სხვა მოლეკულების წყალბადის ატომებთან (შავი წრეები), რომლებიც ნაწილობრივ დადებით მუხტებს ატარებენ.

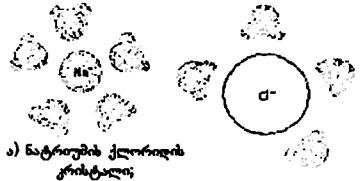
5. ვინაიდან წყლის აორთქლებისას იხარჯება დიდი რაოდენობით ენერგია, მოლეკულებს, რომლებიც თხიერი მდგომარეობიდან აიროვანში გადადიან, თან მიაქვთ ენერგიის მნიშვნელოვანი რაოდენობა. ბევრი ცოცხალი ორგანიზმი ამ მოვლენას გასაგრილებლად იყენებს (ოფლის გამოყოფის დროს ორგანიზმი გრილდება).

6. წყალს გაყინვის მაღალი ტემპერატურა აქვს. მისი სიმკვრივე მაქსიმალურია 4°C -ის დროს. სასურველი იქნებოდა, რომ წყლის გაყინვის ტემპერატურა უფრო მაღალი ყოფილიყო, რადგანაც ბევრ ცოცხალ ორგანიზმს უხდება ამაზე დაბალ ტემპერატურაზე არსებობა.



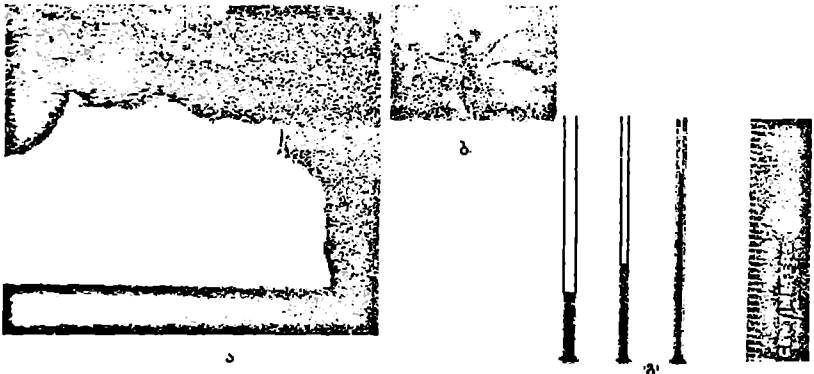
სურ. 9.12. წყლის კაპილარული თვისებები. ა) ქალაქის ბოჭკოები ეხება წყლის ზედაპირს. ბ) წყალი და ბოჭკოებს შორის ადგენილი გამო წყალი აღის ბოჭკოში. გ) წყალი აღის რა ბოჭკოში, კოგეზიის გამო მზიდავს წყლის სხვა მოლეკულებს და ბოჭკოებს შორის სივრცეს ავსებს. თუ ფორები ძალიან მსხვილი არ არის, მაშინ კოგეზიის შეუძლია წყლის შეკავება მანამ, სანამ იგი მოლიანად არ შეაგებებს ფორას. შემდგომ წყალს შეუძლია დაიწყოს ზემოთ მდებარე სივრცეების შევება.

სურ. 9.13. ნატრიუმის ქლორიდის (NaCl) გახსნა წყალში. ა) ნატრიუმის (Na⁺) და ქლორის (Cl⁻) იონები ურთიერთ მიზიდება, რადგან იონი ატარებენ ხაზინააღმდეგო ელექტრულ მუხტს. ბ) როცა NaCl ეხება წყალს, ნატრიუმის დადებითი იონები წყლის მოლეკულის ანგზადის ატომებს მიიდავს, რომლებიც ატარებენ ნაწილობრივ უარყოფით მუხტებს. მსგავსად ამისა, ქლორის უარყოფითი იონები მიიდავენ წყლის მოლეკულის ნაწილობრივ დადებით წყალბადის ატომებს. წყლის მოლეკულებიდან გამოსული სუსტი ძალები სხვადასხვა მხარეს გადაიტანს Na⁺ და Cl⁻ იონებს.



ა) ნატრიუმის ქლორიდის კრისტალი;

ბ) ნატრიუმის (Na⁺) და ქლორის (Cl⁻) იონები წყალში.



სურ. 9.14. წყლის თვისებები. ა) აბსტრაქტი ანტარქტიდის სანაპიროებთან. ყინული ცურავს წყალში იმიტომ, რომ მისი სიმკვრივე წყლის სიმკვრივეზე დაბალია; ეს თვისება ხელს უშლის ცოც წყლებში მოზინადრე ორგანიზმების გაყინებას. ბ) ზედაპირული დაჭმულობა, როგორც წყლის მოლეკულებს შორის კოგეზიის შედეგი - აძლევს შერის ზამთარებს ირიბიონს წყლის ზედაპირზე. გ) კაპილარობა. სხვადასხვა დიამეტრის სამი მინის მილი მოათავსეს მელნიან ლამბაქზე. ყველაზე მაღლა მელანი ავიდა ყველაზე წვირლ მილში (ა - U.S. Associates; ბ - William Camp).

ნივთიერებების უმრავლესობა ტემპერატურის დაცემისას იკუმშება და მისი სიმკვრივე მატულობს. წყლის სიმკვრივე მაქსიმალურია 4°C-ის დროს. ამაზე ქვევით ტემპერატურის დაცემისას წყალი ფართოვდება, ანუ ყინულის კრისტალში მოლეკულებს შორის მანძილი უფრო

დიდია, ვიდრე თხევად მდგომარეობაში (სურ.9.15.). ეს იმას ნიშნავს, რომ ყინულის მოცულობა უფრო მეტია, ვიდრე იმავე რაოდენობის წყლისა. აქედან გამომდინარე, თუ ყინული წარმოიქმნება ცოცხალ ორგანიზმში, მას შეუძლია დააზიანოს მისი ნატიფი სტრუქტურა. ამიტომაც მწერებს და ბაყაყებს უჯრედებში მოეპოვებათ ბუნებრივი ანტიფრიზი, რათა თავი დაიცვან გაყინვისაგან. ზოგიერთი მცენარის უჯრედები თავისი ბუნებით ისეთია, რომ მათ ყინულის კრისტალები ვერ აზიანებენ, ფრინველებსა და ძუძუმწოვრებს კი სხეულის მაღალი ტემპერატურა აქვთ.

ყინულის დაბალი სიმკვრივე ხელსაყრელია წყლის ცხოველებისათვის. ყინული ცურავს წყალზე და წარმოქმნის გამყოფ ზედაპირს, რაც ხელს უშლის დანარჩენი წყლის გაყინვას და შესაბამისად იქ მყოფი ცოცხალი ორგანიზმების დაღუპვას.



სურ. 9.15. წყლის მოლეკულების განლაგება ყინულის კრისტალებში. კრისტალურ სტრუქტურაში წყლის ყოველი მოლეკულა წყალბადური ბმებით შეერთებულია ოთხ სხვა მოლეკულასთან. აქ თითოეული მოლეკულისათვის ნაჩვენებია მხოლოდ სამი ბმა; მეოთხე იქნებოდა სურათის სიბრტყეს პერპენდიკულარული (მისი ქვედა ან ზედა მხრიდან). რადგანაც კრისტალში მოლეკულები უფრო შორიშორს არიან ერთმანეთიანგან, ვიდრე თხევად წყალში, ყინული წყალში ცურავს.

9.6. ღისოციაცია

ბევრი ნივთიერება წყალში გახსნისას იშლება იონებად, ანუ განიცდის ღისოციაციას. მკაეა ეწოდება ნივთიერებას, რომელიც წყალში ღისოციირდება წყალბადის იონის წარმოქმნით (H^+). ქლორწყალბადი წყალში ღისოციირდება წყალბადისა (H^+) და ქლორის (Cl^-) იონებად, წარმოქმნის რა მარილმკაეას.

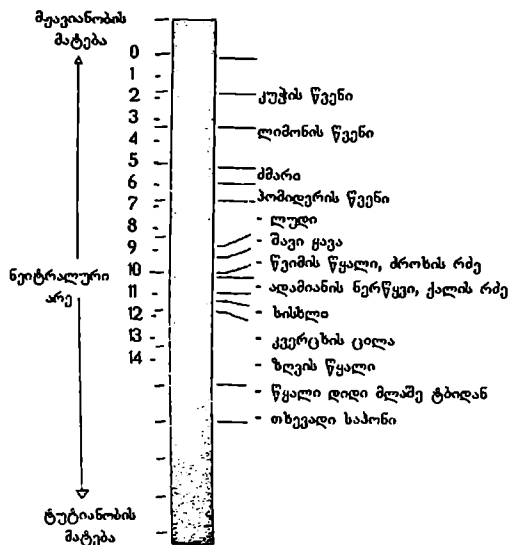
ფუძე ეწოდება ნივთიერებას, რომელიც წყალში გამოყოფს ჰიდროქსიდ-იონებს (OH^-) და აქვს ხსნარში წყალბადის იონებთან შეერთების უნარი.

ნატრიუმის ჰიდროქსიდი აირების ნარევებისგან გასაწმენდი ზოგიერთი პრეპარატების (აქტიური ინგრედიენტი) ხსნარში იშლება Na^+ და OH^- იონებად. ამ დროს დიდი რაოდენობის სითბო გამოიყოფა.

მარილი ეწოდება ნივთიერებას, რომელიც ღისოციაციისას არ წარმოქმნის არც წყალბადის და არც ჰიდროქსიდის იონებს. ასეთი ნივთიერებაა ვველასთვის კარგად ცნობილი სუფრის მარილი ($Na^+ Cl^-$).

ნივთიერების მკაეიანობის ან ტუტიანობის მაჩვენებელია მახასიათებელი, რომელსაც pH -ს უწოდებენ. სკალა მოიცავს მაჩვენებელს 0-დან 14-მდე. ნივთიერების ნეიტრალური რეაქციის დროს pH 7-ის ტოლია. 7-ის ქვემოთ მოთავსებულია მკაეები, ხოლო 7-ის ზემოთ – ფუძეები (სურ.9.16.). სუფთა წყალი ნეიტრალურია, რადგანაც მისი ღისოციაციისას H^+ და OH^- იონები თანაბარი რაოდენობით წარმოიქმნებიან.

pH-ის შკალა ლოგარიტმული შკალაა. მასზე განლაგებულია წყალბადის იონების კონცენტრაციის ლოგარიტმი. ხსნარი, რომლის pH-ის მაჩვენებელი არის 5, შეიცავს 10^{-5} მოლ წყალბადის იონს 1 ლიტრზე, ხოლო როდესაც pH არის 6, შეიცავს 10^{-6} მოლ წყალბადს ლიტრზე. მთლიან კიბიური საზომი ერთეულია, ხოლო ნივთიერების გრამების რიცხვი ტოლია მისი მოლეკულური მასისა. ე.ი. მჟავიანობა ხსნარისა, რომლის pH = 5, ათჯერ მეტია, ვიდრე მჟავიანობა ხსნარისა, რომლის pH = 6.



სურ. 9.16. pH შკალა მჟავიანობის (ან ტუტიაანობის) მითითებით ზოგიერთი ფართოდ ცნობილი სითხეებისათვის.

9.7. ნახშირბადი

ცოცხალი ორგანიზმების არსებობისთვის საჭირო რეაქტივების მიმდინარეობისთვის აუცილებელია წყალი მასში გახსნილი მარტივი მარილებით. მაგრამ თავად სიცოცხლე არის უამრავი მოლეკულის გაცილებით რთული და ნატოფი გარდაქმნების ჯაჭვი, რომელთა მთავარ ელემენტს ნახშირბადი წარმოადგენს. რადგანაც თვლიდნენ, რომ ასეთი მოლეკულები მხოლოდ ცოცხალ ორგანიზმებში წარმოიქმნებოდა, მათ ორგანულ ნივთიერებებს უწოდებდნენ. ნახშირბადს შემცველი ნივთიერებებიდან არაორგანულს უწოდებენ ისეთ მარტივ ნაერთს, როგორცაა ნახშირორჟანგი. არაორგანულად ითვლება ყველა ის ნივთიერება, რომელიც ნახშირბადს არ შეიცავს, თუმცა ზოგიერთი მათგანი (წყალი და ნატრიუმის ქლორიდი) ცოცხალ ორგანიზმებშიც მოიპოვებიან.

ნახშირბადის ატომების თვისებები განსაზღვრავს ცოცხალი ორგანიზმების ქიმიკში მისი მონაწილეობის აუცილებლობას. ნახშირბადის ერთ ატომს შეუძლია წარმოქმნას ოთხი კოვალენტური ბმა, ხოლო რამდენიმე ატომს შეუძლია წარმოქმნას გრძელი ჯაჭვი, რომელსაც

მცირე მასშტაბებით, ხდება ყველა უჯრედში. მათში ძველი მოლეკულები იშლება და ნარჩენებისგან წარმოიქმნება ახალი მოლეკულები – მიმდინარეობს რეუტილიზაციის პროცესი.

ყველა ცოცხალი ორგანიზმი შეიცავს ორგანული ნივთიერებების ოთხ ძირითად კლასს: ნახშირწყლებს, ლიპიდებს, ცილებს და ნუკლეინის მჟავებს.

ყველა ნივთიერება შედგება მხოლოდ მისთვის დამახასიათებელი მონომერებისაგან, რომლებიც კმნიან პოლიმერებს. შემდგომში ჩვენ მოკლედ განვიხილავთ ამ ნივთიერებებს.

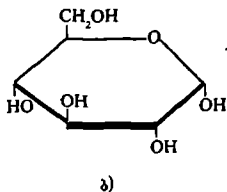
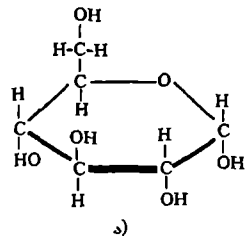
9.9. ნახშირწყლები

ნახშირწყლებში მონომერების როლს მარტივი შაქრები, ე. წ. მონოსაქარიდები ასრულებენ. ასეთი მონოსაქარიდებია გლუკოზა ან ფრუქტოზა. მარტივი შაქრების შედგენლობაში შედის ნახშირბადის, ჟანგბადის და წყალბადის ატომები შემდეგი თანაფარდობით: 1:2:1. მონოსაქარიდის მოლეკულაში შეიძლება არსებობდეს სამიდან ცხრამდე ნახშირბადის ატომი. მაგრამ ბუნებაში ძირითადად გვხვდება მონოსაქარიდები, რომლებიც ხუთ ან ექვს ნახშირბადის ატომს შეიცავენ. ხუთი ან მეტი ნახშირბადის ატომიან მონოსაქარიდს შეუძლია გაიხსნას წყალში და მიიღოს რგოლისებური სტრუქტურა (სურ.9.18).

მონოსაქარიდების ერთ-ერთი ძირითადი ფუნქციაა ორგანიზმის ენერგიით უზრუნველყოფა. უჯრედებში მონოსაქარიდები იშლება ნახშირორჟანგის და წყლის მოლეკულებად, რასაც თან სდევს მონოსაქარიდის მოლეკულაში არსებული ენერგიის გამოთავისუფლება. უჯრედი ამ ენერგიას სხვადასხვა მიზნებისათვის იყენებს. შაქარი სწრაფად მობილიზებადი ენერგიის წყაროა, რადგანაც გადამუშავების პროცესში ადვილად გადადის იმ ფორმაში, რომელიც უჯრედის ენერგეტიკული მოთხოვნილებების დასაკმაყოფილებლადაა საჭირო. ზოგიერთი 5-ნახშირბად-ატომიანი მონოსაქარიდი არის ნუკლეინის მჟავების ერთ-ერთი ძირითადი კომპონენტი.

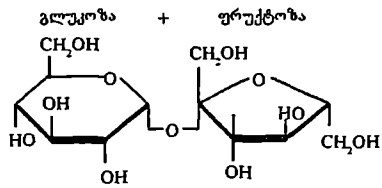
მონოსაქარიდებს შეუძლიათ შეუერთდნენ ერთმანეთს და წარმოქმნან უფრო დიდი მოლეკულა. ორი მონოსაქარიდის შეერთების შედეგად წარმოიქმნება დისაქარიდი (სურ.9.19). ფართოდ არის ცნობილი ისეთი დისაქარიდები, როგორებიცაა საქაროზა (ლერწმის შაქარი), მალტოზა და ლაქტოზა (რძის შაქარი).

რამდენიმე მონოსაქარიდული რგოლისაგან წარმოიქმნება პოლიმერი, ე. წ. პოლისაქარიდი. ცოცხალი ორგანიზმის ჩვეულებრივი პოლისაქარიდი – გლიკოგენი გლუკოზის პოლიმერს წარმოადგენს. იგი მარაგის სახით ძირითადად ლეიბლსა და კუნთებში გროვდება. როდესაც ორგანიზმს ესაჭიროება ენერგია გლუკოზის სახით, იგი გლიკოგენის დახლქნის გზით თავისუფლდება. მცენარეებში გლუკოზა აკუმულირდება ძირითადად სახამებლის სახით (კარტოფილის გორგლებში). გარდა სახამებლისა, მცენარეები ასინთეზებენ სხვა პოლისაქარიდსაც. ესაა ცელულოზა, რომელიც სახამებლის მსგავსად გლუკოზის პოლიმერს წარმოადგენს, მაგრამ მასში ბმების განსხვავებული განლაგებაა (სურ.9.20). ცელულოზა წარმოქმნის ბოჭკოებს, რომელიც მცენარის სხეულს სიმტკიცეს აძლევს. ადამიანის საჭმლის

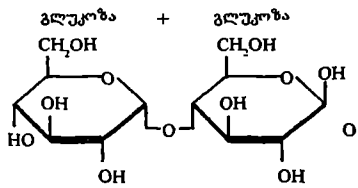


სურ. 9.18. ფართოდ გავრცელებული მონოსაქარიდის - გლუკოზის მოლეკულის გამოსახვის ორი ხერხი. ა) როცა გლუკოზა წყალში გახსნილია (სწორედ ასეთ მდგომარეობაში იგი ორგანიზმში) მის მოლეკულას ხშირად რგოლის ფორმა აქვს.

ბ) იმავე მოლეკულის გამოსახვის გამარტივებული ხერხი. იგულისხმება, რომ თითოეულ კუთხეში არის ნახშირბადის ატომი, თუ არ არის მითითებული სხვა რომელიმე ატომი (მოცემულ შემთხვევაში ნახშირბადი ყველა კუთხეში არის, გარდა მარჯვენა ზედა კუთხისა, რომელიც ეანბრება უკაცია).



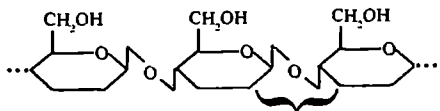
ა) საქაროზა



ბ) მალტოზა

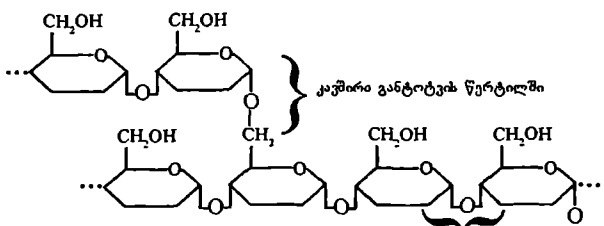
სურ. 9.19. ორი ფართოდ გავრცელებული დისაქარიდი. ა) საქაროზა ანუ ლერწმის შაქარი წარმოიქმნება გლუკოზის შვერთებით ფურქტოზასთან. ბ) მალტოზა წარმოიქმნება ორი ერთნაირი მონომერული რგოლისაგან - გლუკოზის ნაშთებისაგან.

პაშპირი



კაჟირი მონომერებს შორის

ა) ცელულოზის მოლეკულებში

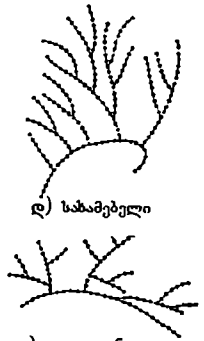


კაჟირი განტოტებს წერტილში

კაჟირი განტოტავ ჯაჭვში

ბ) ხახამებლის და გლიკოგენის მოლეკულებში

გ) ცელულოზა



დ) სახამებელი

ე) გლიკოგენი

სურ. 9.20. სამი პოლისაქარიდი, რომელიც მნიშვნელოვან როლს ასრულებს ცოცხალ ორგანიზმებში. სამივე პოლისაქარიდი - გლიკოგენი, სახამებელი და ცელულოზა აგებულია გლუკოზური მონომერებისაგან, მაგრამ კაჟირები მათ მოლეკულებში სხვადასხვანაირია (ა, ბ). გარდა ამისა, განსხვავებულია პოლიმერული ჯაჭვების (გ-ე) განტოტების ხასიათი: ცელულოზის ჯაჭვები საერთოდ არ იტოტები, გლიკოგენში კი უფრო მღიორად იტოტება, ვიდრე სახამებელში. სურათის მარჯვენა ნაწილში (გ-ე) თითოეული რგოლი შეესაბამება ერთ გლუკოზურ მონომერს.

მოშენებული ტრაქტი არ არის ადაპტირებული ცელულოზის მონელებისათვის, ანუ ცელულოზის ბოჭკოებში გლეჯოზის რგოლებს შორის ბმების დასაშლელად. მაგრამ ამ ბოჭკოებს ადამიანის კვების რაციონში არსებითი როლი უკავიათ, რადგანაც ის ანიჭებს საკვებს მოცულობას და უხეშ კონსისტენციას, რომელიც ასტიმულირებს ნაწლავის პერისტალტიკას.

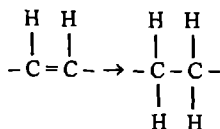
9.10. ლიპიდები

მიუხედავად იმისა, რომ ლიპიდებს განსაზღვრული ქიმიური შედგენლობა და ნახშირწყლებთან შედარებით განსხვავებული მოლეკულური სტრუქტურა აქვთ, ისინი ერთმანეთსაგან განსხვავდებიან სტრუქტურითა და მათში შემავალი ქიმიური ელემენტებით. ყველა ლიპიდისათვის დამახასიათებელია ერთი საერთო ძირითადი თვისება – ისინი არაპოლარულები არიან და იხსნებიან ისეთ არაპოლარულ ხსნარებში, როგორცაა ქლოროფორმი და ეთერი. ლიპიდები წყალში პრაქტიკულად არ იხსნება.

სწორედ ეს თვისება ხდის ლიპიდებს მეზრანების ერთ-ერთ მნიშვნელოვან კომპონენტად. მეზრანები ცოცხალ ორგანიზმებში ერთმანეთისგან ყოფენ კომპარტმენტებს. გარდა ამისა, ლიპიდები ენერჯის შენახვის ძირითადი ფორმაა ცხოველურ ორგანიზმებში, რადგან ნახშირწყლებისგან განსხვავებით მათი შენახვა შეიძლება კონცენტრირებული სახით (წყლის გარეშე). საკვებთან ერთად ჭარბი რაოდენობით მიღებული ნებისმიერი შაქარი, რომელიც მაშინვე არ გამოიყენება ენერჯის სახით, გარდაიქმნება ცხიმად.

მცირე ლიპიდურ მოლეკულებს შეუძლიათ გაერთიანდნენ და წარმოქმნან უფრო დიდი მოლეკულები, მაგრამ მათ შორის ყველაზე დიდი პოლიმერი ზომით ჩამოუვარდება დანარჩენი სამი კლასის ორგანულ ნივთიერებებს.

ლიპიდების შედგენილობაში შემავალი ცხიმოვანი მჟავები მცირე ზომის მოლეკულებია გრძელი ჯაჭვით, რომელიც შედგება ნახშირბადის, წყალბადის ატომისა და კარბოქსილის ჯგუფისაგან ($-COOH$) ერთ ბოლოზე (სურ.9.21.). ნაჯერ ცხიმოვან მჟავაში ნახშირბადის ატომებს შორის არ არის ორმაგი ბმები, ხოლო უჯერში არის ერთი ან რამდენიმე ორმაგი ბმა. მას უწოდებენ უჯერ ცხიმოვან მჟავას იმიტომ, რომ ორმაგი ბმით შეუძლია შეიერთოს წყალბადის დამატებითი წყვილი ატომი.



ნებისმიერი მოლეკულის კარბოქსილური ბოლო პოლარულია და ამიტომ იხსნება წყალში. მაგრამ რადგან წყალბადის და ნახშირბადის ატომები ელექტრონებს დაახლოებით ერთნაირი ძალით იზიდავენ, ნახშირწყალბადოვანი ბმები არაპოლარულია. ამიტომ ჯაჭვი მიიზიდება არაპოლარული ორგანული ნივთიერებებისაკენ (სურ.9.22.).

ტრიაცილგლიცეროლი არის მოლეკულა, რომელიც წარმოიქმნება ცხიმოვანი მჟავას სამი ნაშთის შეერთებით გლიცეროლის სამატომიან სპირტთან (სურ.9.23ა.). ამ ნივთიერებებს შორის არჩევენ შემდეგ ჯგუფებს: ცხიმები და ზეთები. პირველ ჯგუფს ეკუთვნის ტრიაცილ-

9.11. ცილები

ციცხალ ორგანიზმებში სხვა ორგანულ ნივთიერებებთან შედარებით ყველაზე მეტია ცილები. მისი ფუნქციებიც მრავალფეროვანია. ყველასათვის კარგად არის ცნობილი ცილაფერმენტები, რომლებიც ქიმიური რეაქციის დამაჩქარებლებია, ასევე სტრუქტურული ცილები, რომლებისგანაც შედგება თმები, ფრჩხილები.

ცილა შედგება ნახშირბადისაგან, ჟანგბადისაგან, წყალბადისაგან და აზოტისაგან. ზოგიერთი ცილა გოგირდსაც შეიცავს. ცილაში მონომერები წარმოდგენილია ამინომჟავების სახით. ყოველი ამინომჟავა შეიცავს კარბოქსილისა და ამინოჯგუფს, რომელიც დაკავშირებულია ნახშირბადის ერთ ატომთან. ასევე ამ ატომთან არის დაკავშირებული ერთერთი გვერდითი ჯგუფი (სურ.9.24). ცილებში გვხვდება ოცამდე სახის ამინომჟავა, რომლებიც ერთმანეთისაგან განსხვავდება გვერდითი ჯგუფებით. ამინომჟავების სხვადასხვა თანმიმდევრობით შეერთების შედეგად წარმოიქმნება სხვადასხვა სახის ცილა. სწორედ ცილების მრავალფეროვნებით არის განპირობებული ცოცხალი ორგანიზმების ნაირგვარობა.

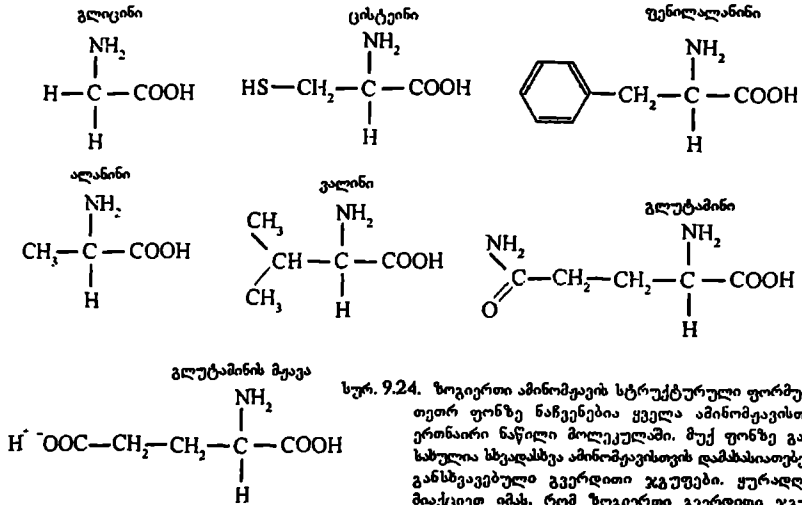
ამინომჟავების გრძელ ჯაჭვს პოლიპეპტიდებს უწოდებენ. ძირითადად პოლიპეპტიდები შეიცავენ 100–დან 300–მდე ამინომჟავას. ზოგიერთი ცილის მოლეკულა შეიცავს ერთ პოლიპეპტიდურ ჯაჭვს. ზოგიერთ ცილაში ეს ჯაჭვი არის ორი და მეტი. ისინი დალაგებულია გარკვეული წესით. მაგალითად, ჰემოგლობინის მოლეკულა (პიგმენტი, რომელიც სისხლს წითელ ფერს აძლევს) შეიცავს ოთხ პოლიპეპტიდურ ჯაჭვს (სურ.9.25).

იმისათვის, რომ პოლიპეპტიდმა ნორმალურად იმოქმედოს, მისი ჯაჭვი შესაბამისი წესით უნდა იყოს დახვეული, ანუ მას უნდა ჰქონდეს სამგანზომილებიანი სტრუქტურა. ღერძის გარშემო დახვევა ხორციელდება მოცემულ პოლიპეპტიდში შემავალი ამინომჟავების ურთიერთქმედებით. კერძოდ:

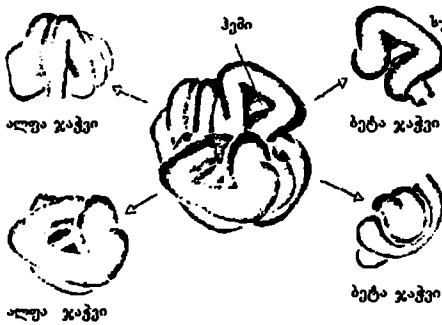
1. ამინომჟავების ჯაჭვების დადებითად და უარყოფითად დამუხტულ გვერდით ჯგუფებს შორის იონური ბმებით.
2. წყალბადური ბმებით იმ ატომებს შორის, რომლებსაც აქვთ ნაწილობრივ დადებითი და ნაწილობრივ უარყოფითი მუხტები.
3. ორ მოლეკულა ამინომჟავა ცისტეინის გოგირდის ატომებს შორის არსებული კოვალენტური ბმებით (სურ.9.26).
4. ჰიდროფობური ბმებით, რომლებიც განპირობებულია ამინომჟავების არაპოლარული გვერდითი ჯაჭვების უნარით – შეუერთდნენ ერთმანეთს და არ შეერიონ მის გარემომცველ წყლიან გარემოს.

ყველა ეს ურთიერთქმედება შემთხვევითი არ არის. ისინი სპეციფიკურია და განპირობებულია ამინომჟავების განლაგებით პოლიპეპტიდურ ჯაჭვში. მას შემდეგ, რაც ამინომჟავები განლაგდებიან საჭირო თანმიმდევრობით ჯაჭვი ავტომატურად იხვევა, წარმოქმნის მარწყუებს და იკეცება მისთვის დამახასიათებელ სტრუქტურად. პოლიპეპტიდური ჯაჭვი ორივე ბოლოში რომ ხელი მოვიდეთ და გავასწოროთ, ხელის გაშვების შემდეგ იგი ისევ მისთვის ჩვეულ ფორმას მიიღებს. ეს მანიპულაცია მრავალჯერაც რომ გავიმეოროთ, იგი ყოველთვის საწყის პოზიციას დაუბრუნდება. ასე ხდება მაშინაც, როდესაც სხვადასხვა პოლიპეპტიდური ჯაჭვი უერთდებიან ერთმანეთს ცილის რთული მოლეკულის წარმოსაქმნელად. ისინი ისე დაგდებიან,

რომ თვითონ მათი სტრუქტურა და მათ შორის მიზიდულობის ძალები ავტომატურად ქმნიან ახალ მოლეკულას. ნათქვამიდან გამომდინარე შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ საკმარისია შეეცვალოთ ერთი ამინომჟავა პოლიმეტილურ ჯაჭვში, რომ მთლიანად მოლეკულის სტრუქტურა შეიცვალოს. ეს იმას ნიშნავს, რომ მივიღებთ ცილას სრულიად ახალი თვისებებით. სწორედ ერთი ამინომჟავას ცვლილებით არის გამოწვეული განსხვავება ნორმალურ ჰემოგლობინსა და ნამგლისებური ანემიით დაავადებულის ჰემოგლობინს შორის.



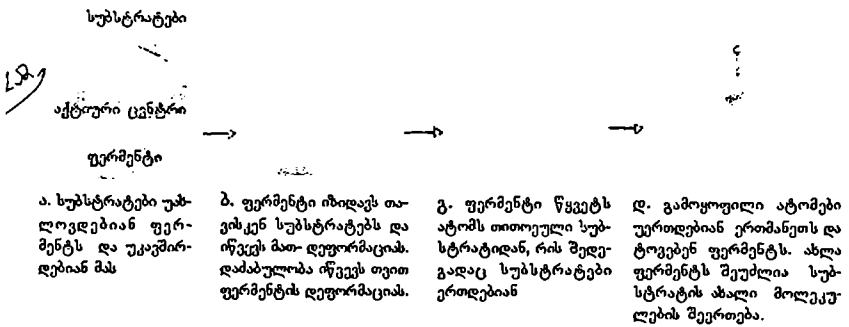
სურ. 9.24. ზოგიერთი ამინომჟავის სტრუქტურული ფორმულა. თეთრ ფონზე ნაჩვენებია ყველა ამინომჟავისთვის ერთნაირი ნაწილი მოლეკულაში. მუქ ფონზე გამოსახულია სხვადასხვა ამინომჟავისთვის დამახასიათებელი განსხვავებული გვერდითი ჯგუფები. ყურადღება მიაქციეთ იმას, რომ ზოგიერთი გვერდითი ჯგუფი შეიცავს გოგირდს, ატოტს, მუტტის მქონე რგოლურ სტრუქტურას ან დაჯგუფებას; ცილებში ატებულიან სულ 20 ამინომჟავა მონაწილეობს.



სურ. 9.25. ცილა ჰემოგლობინი. მისი მოლეკულა შედგება ოთხი რთულად დახვეული პოლიპეტიდური ჯაჭვისაგან - ორი ალფა-ჯაჭვისაგან (გამოსახულია ორ სხვადასხვა რაკურსში) და ორი ბეტა-ჯაჭვისაგან (სხვე გამოსახულია ორ სხვადასხვა რაკურსში). აქ ნაჩვენებია მხოლოდ ჯაჭვების „ჩონჩხები“. სინამდვილეში ხურათს სხვა სახე უნდა ჰქონდეს, რამდენადაც ჯაჭვების ჩონჩხები ამინომჟავების მრავალრიცხოვანი გვერდითი ჯგუფებით ინიღბება. ჰემის ჯგუფები - ეს არის პოლიმეტილურ ჯაჭვებთან დაკავშირებული არაცილოვანი ბუნების სტრუქტურები. ისინი შეიცავენ რკინის ატომებს, რომლებიც ყანგბალის მოლეკულას იკავშირებენ უკანასკნელი ჰემოგლობინით გააიტანება (Mc.Gilvery, Biochemistry, 1970).

სუბსტრატი, რომელიც უერთდება ფერმენტს, განიცდის მცირე ცვლილებას. ფერმენტებს შეუძლიათ ელექტრონების მიზიდვა, რის გამოც სუბსტრატის მოლეკულაში წარმოიქმნება დაძაბულობა, რაც თავისთავად იწვევს მოლეკულის რეაქციაში შესვლის უნარის ამაღლებას. ვარაუდობენ, რომ სწორედ ამ მექანიზმით იწვევენ ფერმენტები რეაქციის დაჩქარებას.

ფერმენტის აქტიურობა სხვადასხვა ფაქტორზეა დამოკიდებული. რადგანაც ფერმენტის მოლეკულაში შედის დამუხტული გვერდითი ჯგუფების მქონე ამინომჟავები და ამ მუხტზეა დამოკიდებული ცილის მოლეკულის დახვევის ხასიათი, ნორმალური აქტიურობა შესაძლებელია მხოლოდ მაშინ, თუ ხსნარის pH -ქმედებად გარკვეულ დონეზეა შენარჩუნებული. მყავე გარემოში ზოგიერთი ფერმენტის ამინომჟავების უარყოფითად დამუხტულ გვერდით ჯგუფებს შეუძლიათ შეიერთონ H^+ -იონები და დაკარგონ თავიანთი მუხტი. ამ ფერმენტებს ნორმალურად მუშაობა მხოლოდ მის ზედაპირზე შესაბამისად დამუხტული ჯგუფების არსებობისას შეუძლიათ. ფერმენტების უმრავლესობა ყველაზე ღირ აქტივობას $\text{pH} = 7,0$ გარემოში ამჟღავნებს. მაგრამ ამ წესიდან გამონაკლისებიც არსებობს. მაგალითად, საჭმლის მომწელებელი ფერმენტები ძლიერ მყავე გარემოში მოქმედებენ. ამ არეს ადამიანის კუჭში მარილმჟავა ქმნის.



სურ. 9.27. სქემა, რომელიც გვიჩვენებს, თუ როგორ შეიძლება მიმდინარეობდეს რეაქცია ფერმენტის მიერ კატალიზებულ ორ სუბსტრატს შორის. მიაქციეთ ყურადღება იმას, რომ ფერმენტიც და სუბსტრატებიც რამდენადმე იცვლიან თავიანთ კონფიგურაციას, როდესაც სუბსტრატები უერთდებიან ფერმენტის აქტიურ ცენტრს. ფერმენტის ზეგაელებით, შესაძლოა, რამდენადმე სუსტდება კავშირი სუბსტრატის მოლეკულას შორის, რის გამოც მათი ზოგიერთი ატომი ადვილად გამოთავისუფლდება და ახალ ბმებს წარმოქმნის ერთმანეთთან.

ფერმენტულ რეაქციებზე გავლენას ახდენს ტემპერატურული რეჟიმი. მაღალ ტემპერატურაზე მოლეკულები უფრო სწრაფად მოძრაობენ და ერთმანეთს უფრო ხშირად შეეჯახებიან. ამიტომ მათი რეაქციაში შესვლის ალბათობა მეტია, ვიდრე დაბალი ტემპერატურის დროს. მაგრამ მაღალი ტემპერატურა 60°C -ზე ზემოთ ცილის დენატურაციას - მისი სამგანზომილებიანი სტრუქტურის შეუქცევად რღვევას - იწვევს. შესაბამისად, ამ დროს ფერმენტებიც თავიანთ აქტიურობას კარგავენ. საკვები პროდუქტები თერმული დამუშავების შემდეგ უფრო ღირხანს ინახება, რადგანაც გათბობის დროს ირღვევა იმ მიკროორგანიზმების ფერმენტული აქტიურობა, რომლებიც პროდუქტების ლაზობას იწვევენ. მეორე უკიდურესობაა დაბალი ტემ-

პერატურა, რომლის დროსაც რეაქციები ძალიან ნელა მიმდინარეობს. დაბალი ტემპურატურაც იცავს პროდუქტს გაფუჭებისაგან.

ზოგიერთი ფერმენტი აქტიურია მხოლოდ, არაორგანული ან მარტივი ორგანული მოლეკულების თანაობისას, რომლებიც თვითონ კატალიზატორები არ არიან. მათ კოფერმენტები ეწოდება. მრავალი ვიტამინი კოფერმენტია. ადამიანს ვიტამინები მცირე რაოდენობით სჭირდება, რადგანაც ისინი, ფერმენტების მსგავსად, თვითონ არ იშლება და შეიძლება ისევ გამოყენებულ იქნან ქიმიურ რეაქციებში.

უკიდურესი ტემპურატურული მარჯვენაზღვის გარემოში მცხოვრებ ორგანიზმებს გარკვეული შეგუებულობა უშუშავდებათ. ციანობაქტერიები, რომლებიც ყინულის ზედაპირზე ცხოვრობენ, შეგუებული არიან დაბალ ტემპურატურაზე ფუნქციონირებასთან. იგივე ჯგუფის სხვა ბაქტერიები ბინადრობენ ცხელ წყაროებში, სადაც ტემპურატურა 80–85°C–ს აღწევს.

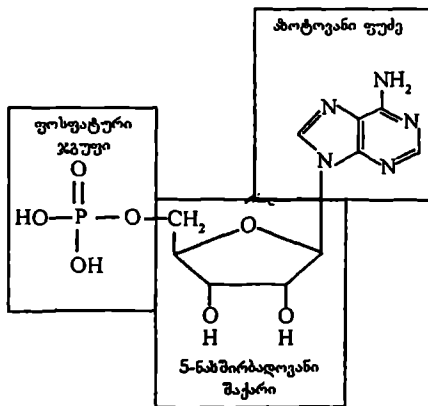
9.12. ნუკლეინის მჟავები

ნუკლეინის მჟავები ცოცხალი ორგანიზმის ყველაზე დიდი ზომის მოლეკულებია. არსებობს ორი სახის ნუკლეინის მჟავა:

1. დეზოქსირიბონუკლეინის მჟავა – დნმ. იგი შეიცავს გენეტიკურ ინფორმაციას ამინომჟავებისა თანმიმდევრობის შესახებ პოლიმეპტიდებში (სწორედ ამიტომ დნმ განსაზღვრავს ცილის სტრუქტურას).

2. რიბონუკლეინის მჟავა – რნმ. იგი მონაწილეობს ცილის სინთეზში.

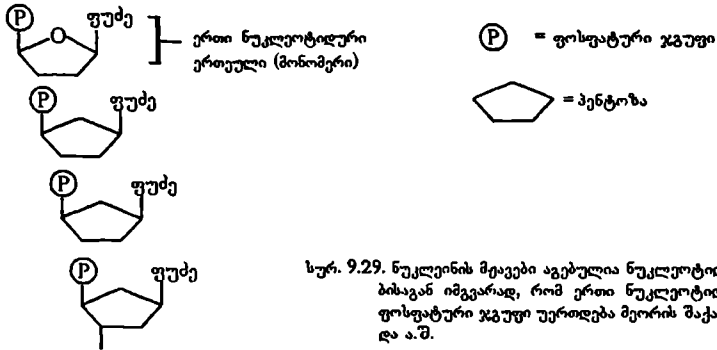
ნუკლეინის მჟავა შედგება მონომერებისაგან, რომლებსაც ნუკლეოტიდები ეწოდებათ. ყოველი ნუკლეოტიდი შედგება ფოსფატური ჯგუფისაგან, ზუთნახშირბადოვანი შაქრისაგან (პენტოზა) და აზოტშემცველი ფუძისაგან, რომლის მოლეკულაში არის ერთი ან ორი რკალი (სურ.9.28.). ნუკლეოტიდები წარმოადგენენ ნუკლეინის მჟავების ასაგებ მონომერებს, მაგრამ მათი როლი მხოლოდ ამით არ ამოიწურება. ზოგიერთ ნუკლეოტიდს სხვა ფუნქციაც აქვს. მაგალითად, ნუკლეოტიდი ATP – ადენოზინტრიფოსფორმჟავა არის ენერჯის მიმწოდებელი ცოცხალ ორგანიზმში მიმდინარე უმრავლესი რეაქციებისათვის.



სურ. 9.28. ნუკლეინის მჟავის მონომერს - ნუკლეოტიდის ტიპური აგებულება. ზუთნახშირბადოვანი შაქარი შეერთებულია ფოსფატურ ჯგუფთან (რომელიც შეიცავს ელემენტ ფოსფორს). იგი შეერთებულია აგრეთვე ფუძესთან (რომელიც შედგება აზოტის შემცველი ერთი ან რამდენიმე რკალისაგან).

ნუკლეინის მკავეების წარმოქმნის დროს ერთი ნუკლეოტიდის ფოსფატური ჯგუფი უკავშირდება მეორე ნუკლეოტიდის შაქარს. ასე რომ, წარმოიქმნება გრძელი ჯაჭვი, რომელშიც ფოსფატური და შაქრის ჯგუფები მორიგეობითაა განლაგებული (სურ.9.29).

აქ ნათქვამი მხოლოდ მცირე ნაწილია, შესავალია თავისა, რომელშიც საუბარი გვექნება ნუკლეინის მკავეებზე.



IX თავის მოკლე შინაარსი

ცოცხალი ორგანიზმები იმავე ფიზიკურ და ქიმიურ კანონებს ემორჩილებიან, რომლებსაც არაცოცხალი სისტემები. ისევე, როგორც არაცოცხალი მატერია, ცოცხალი ორგანიზმებიც შედგენილია ატომებისაგან, რომლებიც ერთმანეთს სხვადასხვა კომბინაციებით უკავშირდებიან და სხვადასხვა ნაერთებს წარმოქმნიან. ცოცხალ ორგანიზმებში მუდმივად მიმდინარეობს ქიმიური რეაქციები, რომელთა დროსაც სხვადასხვა ნივთიერებები წარმოიქმნება.

ორგანიზმები შედგება წყლის, სხვადასხვა არაორგანული იონების და მრავალი ორგანული ნივთიერებებისაგან. ბუნებაში არსებული 100-ზე მეტი ქიმიური ელემენტიდან სიცოცხლის ქიმიაში 20-მდე ელემენტი მონაწილეობს.

წყალი ყველა ცოცხალი ორგანიზმის მთავარი შემადგენელი კომპონენტია. იგი აუცილებელია სიცოცხლისათვის. წყლის თავისებური სტრუქტურა და წყალბადური ბმების წარმოქმნის უნარი მას სიცოცხლისათვის აუცილებელ თვისებებს ანიჭებს. მაგალითად, წყალში იხსნება პოლარული და იონური ნივთიერებები. არაპოლარულ ნივთიერებებთან იგი ქმნის გამყოფ ზედაპირებს. ავსებს მცირე ფორებს, ვინაიდან აქვს კაპილარობის თვისებები. უზრუნველყოფს სითბოს თანაბარ გადანაწილებას მთელს სხეულში. ორთქლდება რა მისი ზედაპირიდან, ხელს უწყობს ორგანიზმის გაგრილებას. თხიერ მდგომარეობაში აქვს მეტი სიმკვრივე, ვიდრე მყარ მდგომარეობაში. სწორედ ეს თვისებები ხდის წყალს ცოცხალი ორგანიზმებისთვის შეუცვლელ კომპონენტად.

ორგანულ მოლეკულებს აქვთ ნახშირბადოვანი ჩონჩხი. ცოცხალ ორგანიზმებში არის ორგანული ნაერთების ოთხი ძირითადი ჯგუფი. თითოეულ ჯგუფს აქვს მონომერული ერთეული, რომლებიც პოლიმერებს ქმნიან (ცხრილი 9.4).

ზოგიერთ ნახშირწყლებში და ლიპიდებში ინახება ენერჯია, რომელიც საჭიროების დროს შეიძლება გამოყენებულ იქნას. მცენარეების ნახშირწყლებში არის ცელულოზა, რომელსაც აქვს საყრდენი ფუნქცია. ლიპიდები არაპოლარული ნაერთებია და ამიტომ ისინი წყალში არ

იხსნება. ლიპიდები აუცილებელი კომპონენტებია ცოცხალი ორგანიზმის მემბრანისათვის. ლიპიდებს მიეკუთვნება ასევე ზოგიერთი პორმონი.

ცილები და ნუკლეინის მჟავები მონაწილეობენ ორგანიზმის ზრდაში, მეტაბოლიზმსა და გამრავლებაში. ფერმენტები არის ცილოვანი კატალიზატორები. ცილებს შორის ასევე დიდი ადგილი უკავია სტრუქტურულ ცილებს, ჰორმონებს და ტოქსინებს.

შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა

კითხვაში, სადაც მოცემულია რამდენიმე პასუხი, აირჩიეთ ის, რომელიც, თქვენი აზრით, სწორია.

- რა განსხვავებაა ნატრიუმის ატომსა და ნატრიუმის იონს შორის?
- დადებითად დამუხტულ იონს აქვს:
 - ელექტრონებზე მეტი პროტონები.
 - პროტონებზე მეტი ელექტრონები.
 - პროტონებისა და ნეიტრონების ერთნაირი რაოდენობა.
 - პროტონებისა და ელექტრონების ერთნაირი რაოდენობა.
 - ელექტრონებზე მეტი ნეიტრონები.
- რომელი ბმა წარმოიქმნება სხვადასხვა ატომების ელექტრონების გაერთიანებით?
 - კოვალენტური.
 - იონური.
- რომელი ბმებით არსებობს ატომი წყლის მოლეკულაში?
 - კოვალენტური.
 - იონური.
 - წყალბადური.
- კარბოქსილური ჯგუფი წყალში დისოცირდება. მაშასადამე, მოლეკულა კარბოქსილური ჯგუფით წარმოადგენს:
 - მჟავას.
 - ფუძეს.
 - მარილს.
 - ნუკლეოტიდს.
- დაწერეთ შემდეგი ნივთიერებების ქიმიური ფორმულები:
 - წყალი.
 - სუფრის მარილი.
 - ნახშირორჟანგი.
 - მოლეკულური ჟანგბადი.
- წყალს შეუძლია გახსნას იონური ნივთიერებები იმიტომ, რომ:
 - იგი შეიცავს იონებს.
 - მისი მოლეკულები პოლარულია.
 - მის მოლეკულაში ატომები შეერთებულია იონური ბმებით.
 - ის შეიცავს ჟანგბადს.
 - მის მოლეკულაში ატომები ერთმანეთთან დაკავშირებულია კოვალენტური ბმებით.
- ქვემოთ დასახელებული რომელი ნივთიერება არ არის შედგენილი მონოსაქარიდებისაგან?
 - სახამებელი.
 - გლიკოჯენი.
 - ცელულოზა.
 - ჰემოგლობინი.

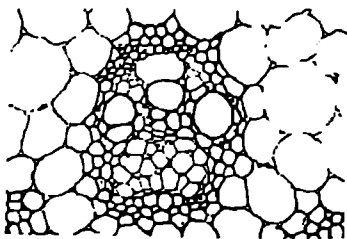
X თავი

უჯრედის სტრუქტურა და სასიცოცხლო ციკლი

ამ თავის დამუშავების შემდეგ უნდა შეხედოთ:

1. ახსნა იმისა, თუ რა შემთხვევაში გამოიყენება: სინათლის მიკროსკოპი, ტრანსმიხული ელექტრონული მიკროსკოპი და მასკანირებული ელექტრონული მიკროსკოპი.
2. უჯრედის მემბრანის სტრუქტურის აღწერა და იმის განმარტება, თუ რა კავშირი აქვს მემბრანის სტრუქტურას მის მიერ შესრულებულ ფუნქციასთან – განაზორციელოს ნივთიერებათა ცვლა უჯრედსა და გარემოს შორის.
3. განმარტება და ახსნა ისეთი პროცესებისა, როგორცაა: დიფუზია, გაადვილებული დიფუზია, აქტიური ტრანსპორტი, ენდოციტოზი, ეგზოციტოზი და ოსმოსი. უნდა შეგეძლოს, როგორც თვით პროცესის, ასევე მათ შორის არსებული განსხვავების დახასიათება.
4. ქვემოთ ჩამოთვლილი სტრუქტურების ფუნქციების დასახელება და მითითება, თუ რომელ უჯრედებში (მცენარეულში, ცხოველურში თუ პროკარიოტულში) არსებობენ ისინი: უჯრედის მემბრანა, ბირთვი, ბირთვის მემბრანა, ბირთვული უბანი, რიბოსომა, მიტოქონდრია, უჯრედის კედელი, ქლოროპლასტი, ვაკუოლი, ლიზოსომა, ენდოპლაზმური ბადე, გოლჯის კომპლექსი, წამწამი, შოლტი, მეზოსომა.
5. ჩამოთვლა არანაკლებ სამი ნიშნისა, რომლითაც მცენარეული უჯრედი განსხვავდება ცხოველურისაგან.
6. ეუკარიოტული და პროკარიოტული უჯრედების უმნიშვნელოვანესი განსხვავებების ჩამოთვლა.
7. მიტოზის ფუნქციის დახასიათება და ამ პროცესის მიმდინარეობის მოკლედ გადმოცემა.

1665 წელს ინგლისელმა რობერტ ჰუკმა პირველმა გვამცნო უჯრედის არსებობის შესახებ. ამის შემდეგ ასორმოდამათ წელზე მეტი გავიდა და 1838–1839 წლებში ბოტანიკოსმა მათიას შლაიდენმა და ზოოლოგმა თეოდორ შვანმა ჩამოაყალიბეს კონცეფცია, რომელიც დღეს უჯრედული თეორიის სახელით არის ცნობილი. ამ თეორიის თანახმად:



სურ.10.1. მარცვლოანი მცენარის ღეროს განივი ანათალი, სინათლის მიკროსკოპით ძლიერ გადილებული. უჯრედების სხვადასხვა ტიპი განსხვავდება სიდიდით და უჯრედის კედლების სისქით (Carolina Biological Supply Company)

1. უჯრედები არის სიცოცხლის უმცირესი ელემენტები – უმცირესი ერთეულები, რომლებსაც შეიძლება აგრეთვე “ცოცხალი” ვუწოდოთ.

2. ყოველი ორგანიზმი შედგება ერთი ან მრავალი უჯრედისაგან. 1855 წელს რუდოლფ ვირხოვმა ამ ორ დებულებას დაუმატა კიდევ ერთი.

3. ყველა უჯრედი წარმოიქმნება მხოლოდ სხვა უჯრედების გაყოფის შედეგად.

ამ თავში ჩვენ გავეცნობით უჯრედების აგებულებას, გაიგებთ, თუ როგორ მუშაობს მისი ცალკეული ნაწილი და როგორ მრავლდებიან ისინი. მაგრამ, უპირველეს ყოვლისა, ჩვენ ვერ მოკლედ აღვწერთ მიკროსკოპის აგებულებას. მიკროსკოპი ისეთი სტრუქტურების დანახვის საშუალებას იძლევა, რომელთა გარჩევა შეუიარაღებელი თვალით შეუძლებელია.

10.1. მიკროსკოპი

ორლინზიანი სინათლის მიკროსკოპები XVI საუკუნეში გამოიგონეს. ერთი შეხედვით უცნაურადაც კი შეიძლება მოგვეჩვენოს, რომ მიკროსკოპის გამადიდებლობა არ არის მისი მთავარი ღირსება. სხვა სიტყვებით რომ ეთქვას, გადიდებაზე არ არის დამოკიდებული, თუ რამდენად პატარა ობიექტის დანახვა შეიძლება მიკროსკოპით. მთავარია მიკროსკოპის გარჩევის უნარი, ანუ უნარი, მოგვცეს ორი ერთმანეთის მახლობლად მდებარე ობიექტის მკაფიო გამოსახულება. მაგალითად, ადამიანის თვალის გარჩევის უნარი დაახლოებით 0,1 მმ-ის ტოლია, ანუ 0,1 მმ ის უმცირესი მანძილია, რომელზეც ადამიანის თვალს შეუძლია ორი წერტილის განცალკევებით დანახვა.

თუ არ გაიზრდება მიკროსკოპის გარჩევის უნარი, ისე მისი გამადიდებლობის გაზრდას აზრი არა აქვს. თუ ღინზეები არ იძლევა იმის საშუალებას, რომ გარჩეულ იქნას ობიექტის დეტალები (ე.ი. ისინი აღიქმებოდნენ, როგორც ცალკეული ელემენტები), მაშინ გადიდებისას მივიღებთ უფრო დიდ, მაგრამ მაინც ბუნდოვან გამოსახულებას.

აქამდე მხედველობაში გვკონდა ორი სხვადასხვა ობიექტის ან ერთი და იმავე ობიექტის ორი დეტალის გარჩევა. თუ “ობიექტის” როლში წარმოვიდგინოთ ერთი და იმავე ობიექტის ორ მხარეს, მაშინ თვითონ ობიექტის დანახვა შეგვეძლება იმ შემთხვევაში, თუ იგი არ იქნება უფრო პატარა ზომის, ვიდრე მიკროსკოპის მინიმალური გარჩევის შესაძლებლობაა. სინათლის მიკროსკოპის გარჩევის უნარიანობა დამოკიდებულია სინათლის ტალღის სიგრძეზე: რაც უფრო მოკლეა ტალღა, მით უფრო მეტია გარჩევის უნარი. ყველაზე მოკლე ტალღის სიგრძე, რომელიც განსაზღვრავს გარჩევის უნარიანობას, არის 200 ნმ. ეს ტალღა მდებარეობს ხილული სინათლის იისფერ სპექტრში (ცხრილი 10.1.). ასეთი გარჩევის უნარის დროს უჯრედის ზოგიერთი სტრუქტურა საერთოდ არ ჩანს, ზოგიერთის დეტალები კი მწველად გასარჩევია (ცხრილი 10.2.).

ახალი, პრინციპულად განსხვავებული ტიპის მიკროსკოპი – ელექტრონული გამოიგონეს 30-იან წლებში. მე-9 თავიდან ვიცით, რომ ელექტრონები ნაწილაკებია, მაგრამ ელექტრონების ნაკადს, სინათლის ნაკადის მსგავსად, ტალღური ბუნება აქვს, თუმცა ელექტრონების ნაკადის ტალღის სიგრძე გაცილებით მოკლეა სინათლის ნაკადისაზე. ამიტომ, ელექტრონულ მიკროსკოპს სინათლის მიკროსკოპთან შედარებით გაცილებით დიდი გარჩევის უნარი აქვს.

ცხრილი 10.1. სიგრძის საზომი ერთეულები

1 მეტრი (მ) = 100 სანტიმეტრს (სმ)

1 სმ = 10 მილიმეტრს (მმ)

1 მმ = 10^{-3} მეტრს¹⁾ = 10^3 მიკრომეტრს (მკმ)1 მკმ = 10^{-6} მეტრს = 10^{-3} მმ = 10^3 ნანომეტრს (ნმ)1 ნმ = 10^{-9} მეტრს = 10^{-6} მმ

შენიშვნა: წინსართი "სანტი" ნიშნავს ერთ მეასედს,

"მილი" ნიშნავს ერთ მეათასედს,

"მიკრო" ნიშნავს ერთ მემილიონედს,

"ნანო" ნიშნავს ერთ მემილიარდედს.

¹⁾ $1/10 = 0,1 = 10^{-1}$; $10^{-3} = 1/1000$; $10^{-6} = 1/1\ 000\ 000$

ცხრილი 10.2. ზოგიერთი ბიოლოგიური ობიექტის ზომა

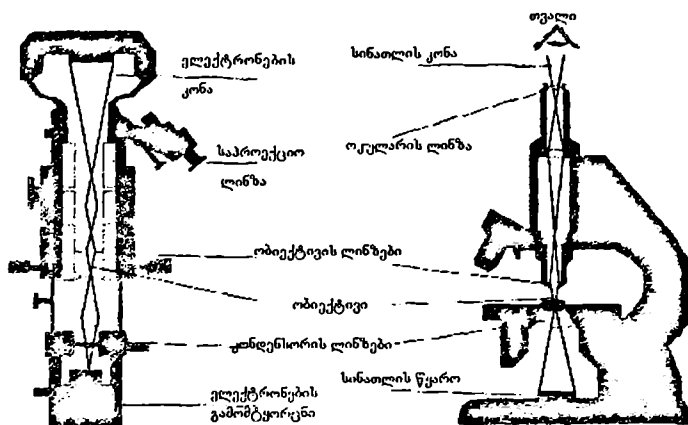
ნერვული უჯრედი	სიგრძე – 2 მეტრამდე (მაგრამ ძალიან წერილი)
საშუალო ზომის ცხოველური სომატური უჯრედი	ღიამეტრი 10–20 მკმ
საშუალო ზომის მცენარეული სომატური უჯრედი	ღიამეტრი 30–50 მკმ
ყვავილოვანი მცენარის ქლოროპლასტი	სიგრძე 5–10 მკმ
მიტოქონდრია	სიგრძე 7 მკმ–მდე
Escherichia coli (ბაქტერია)	სიგრძე 2 მკმ
რიბოსომა	ღიამეტრი 25 ნმ
დნმ-ის მოლეკულა	სისქე 2 ნმ
წყალბადის ატომი	ღიამეტრი 0,1 ნმ

ელექტრონული მიკროსკოპის აგებულების პრინციპალური განსხვავება სინათლის მიკროსკოპისაგან ის არის, რომ სინათლის ნაკადის ნაცვლად აქ გამოყენებულია ელექტრონების ნაკადი, რომლის ფოკუსირება ხდება არა ლინზების საშუალებით, არამედ ელექტრომაგნიტებით. ტრანსმისიულ ელექტრონულ მიკროსკოპში ელექტრონები ისევე განჭოლდებიან ობიექტს, როგორც სინათლის სხივები სინათლის მიკროსკოპში, ოღონდაც გამოსახულება ელექტრონულ მიკროსკოპში მიიღება ფოტოგრაფიულ ფირფიტაზე (სურ.10.2).

ელექტრონული მიკროსკოპის ერთ-ერთი მთავარი ნაკლია ის, რომ იქ, სადაც თავსდება ობიექტი, საჭიროა მაღალი ვაკუუმის შექმნა, რადგან ჰაერის გარემოში ელექტრონები ადვილად გადაიხრებიან და აირის მოლეკულებით შეიბოჭებიან. ცოცხალ ქსოვილს მაღალ ვაკუუმში არსებობა არ შეუძლია, რადგანაც ამ დროს მასში არსებული წყალი მთლიანად ორთქლდება. ამიტომ ტრანსმისიული ელექტრონული მიკროსკოპით შესაძლებელია მხოლოდ არაცოცხალი დაფიქსირებული მასალის შესწავლა. გარდა ამისა, საჭიროა ძალიან თხელი ანათლების დაშვება, რომ ელექტრონების ნაკადმა მასში გაღწევა შეძლოს.

ელექტრონული მიკროსკოპი

სინათლის მიკროსკოპი



სურ. 10.2. სინათლის და ელექტრონული მიკროსკოპების შედარება. ელექტრონული მიკროსკოპი აქ გამოხატულია გადმობრუნებულად, რათა ადვილი ყოფილიყო მისი ნაწილების შედარება სინათლის მიკროსკოპის შესაბამის ნაწილებთან.

მასკანირებულ ელექტრონულ მიკროსკოპში, რომელიც 50-იან წლებში შექმნეს, ელექტრონები აირეკლება ობიექტის ზედაპირიდან და უკან დაბრუნებისას ქმნის გამოსახულებას. მისი გარჩევის ზღვარი უფრო ნაკლებია, ვიდრე ტრანსმისიული ელექტრონული მიკროსკოპის და ისე ძლიერი ვაკუუმი არ სჭირდება. ეს კი იმის შესაძლებლობას იძლევა, რომ მასკანირებული ელექტრონული მიკროსკოპით შესწავლილი იქნას ცოცხალი ორგანიზმები. მასკანირებული ელექტრონული მიკროსკოპი ზოგიერთი ცოცხალი არსების ზედაპირის უწერილესი დეტალების შესანიშნავი ფოტოების გადაღების საშუალებასაც იძლევა (სურ.10.3).

ნებისმიერ მიკროსკოპში გამოსახულება მიიღება იმის გამო, რომ საკვლევი ობიექტის ერთი ნაწილი უკეთესად შთანთქავს ან აირეკლავს მეტ სინათლეს, ან ელექტრონებს, ვიდრე დანარჩენი. გამოსახულების კონტრასტულობის გაზრდის მიზნით ობიექტებს ღებავენ. სინათლის მიკროსკოპისთვის იყენებენ საღებავებს, ტრანსმისიული ელექტრონული მიკროსკოპისათვის კი საღებავების ნაცვლად იყენებენ ისეთ ნივთიერებებს (ვთქვათ, ტყვიას), რომლებსაც ელექტრონების შთანთქმის უნარი აქვთ. მასკანირებული ელექტრონული მიკროსკოპისათვის მასალას უმეტესად წინავენ შესაბამისი ანატომების დასამზადებლად..



სურ.10.3. მასკანირებული ელექტრონული მიკროსკოპით მიღებული ხილის ბუზის თაის მიკროფოტოგრაფია. ხილის ბუზებს ხშირად იყენებენ გენეტიკური ექსპერიმენტებისათვის (The Johns Hopkins University. Applied Physics Laboratory)

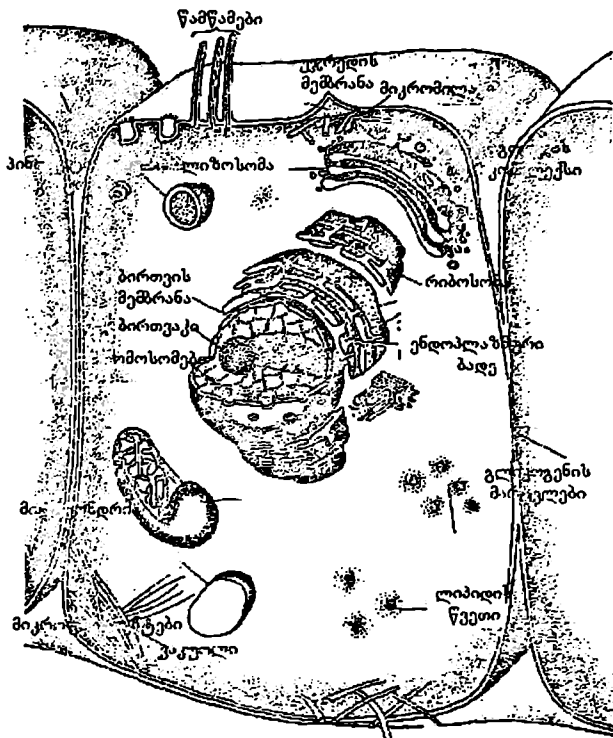
10.2. უჯრედის აგებულება

თუ რომელიმე ორგანოს ქსოვილისგან (გული, ტვინი, ღვიძლი, ძვალი) მოვაშზადებთ თხელ, გამჭვირვალე ანათალს, შევლევავთ და მიკროსკოპის ქვეშ მოვათავსებთ, დავინახავთ, რომ იგი მრავალი უჯრედისაგან შედგება. ეს უჯრედები ერთნაირი არ არის. ისინი ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან ზომით, ფორმით, საღებავის შთანთქმის უნარით. ერთი ტიპის უჯრედები ერთნაირდებიან და ქსოვილს ქმნიან. ქსოვილის მაგალითია ეპითელური ქსოვილი – ბრტყელი უჯრედების თხელი შრე, რომელიც ამა თუ იმ ორგანოს ფარავს (სურ.10.4). მეორე მაგალითია კუნთოვანი ქსოვილი, რომლისგანაც არის ძირითადად აგებული გული. ნებისმიერი ორგანო მრავალი ქსოვილისაგან შედგება, ხოლო თითოეული ქსოვილი თავის მხრივ შედგენილია განსაკუთრებული ტიპის სპეციალიზირებული უჯრედებისაგან. მიკროსკოპის დიდი გადილებისას თითოეულ უჯრედში აღმოვაჩინოთ სტრუქტურებს, რომლებსაც ორგანოიდები ეწოდებათ. ეს “პატარა ორგანოები” წარმოადგენენ უჯრედის მუშა ნაწილებს.



სურ.10.4. ადამიანის ხასის (პირის ღრუში) ანათალი, რომელშიც შესაძლებელია ორი ტიპის ქსოვილის გარჩევა. სასა გამოფენილია ბრტყელი ეპითელური უჯრედებით, რომლებიც იცავენ ღრმად მდებარე ქსოვილებს. ზედაპირული უჯრედები (ანათალის ქვედა ნაწილი) კვდება და განუწყვეტლივ იქერცლება. მათ ცვლიან უფრო მუქ შუა შრეში წარმოშობილი უჯრედები. ეპითელის ამ მუქი შრის უჯრედების ზევით ჩანს მრავალი ბოჭკოს შემცველი შემართებული ქსოვილი (Biophoto Associates).

ყველა უჯრედი განსაკუთრებულ სასიცოცხლო ფუნქციას ასრულებს. მაგალითად, გულის კუნთის უჯრედების სპეციალიზირებული ფუნქცია იმაში მდგომარეობს, რომ შეიკუმშოს და სისხლი გადატუმბოს. ამ უჯრედებს არ შეუძლიათ თვითონ მოიპოვონ საკვები და შთანთქმონ ჟანგბადი ჰაერიდან. საკვები ნივთიერება და ჟანგბადი მათ სხვა სპეციალურმა უჯრედებმა უნდა მიაწოდონ, კერძოდ – საჭმლის მომნელებელი სისტემის, ფილტვების და სისხლის უჯრედებმა. სპეციალიზირებულ უჯრედში, როგორც წესი, არ მოიპოვება განსაკუთრებული ორგანოიდები ან ნივთიერებები, რომლებიც სხვა უჯრედებში არ არის. სპეციალიზაცია მიიღწევა ამა თუ იმ თვისების გაძლიერებული განვითარების შედეგად. ასეთი თვისებები თითქმის ყველა უჯრედს გააჩნია. ამიტომაც ჩვენ სპეციალიზირებული უჯრედები უნდა განვიხილოთ, როგორც გარკვეული სტრუქტურისა და ფუნქციის მქონე ძირითადი უჯრედის ვარიანტები (სურ. 10.5 და 10.6).



ხურ.10.5. ცხოველური უჯრედი

ზოგიერთი უჯრედი არა მარტო განსაკუთრებული ფუნქციას ასრულებს, არამედ დამოუკიდებელ ორგანიზმს წარმოადგენს, კერძოდ, ბაქტერიები და უმარტივეხები. ბევრი მათგანი მაღალი სპეციალიზაციისა და თავისი ცხოვრების ნირს არის შეგუებული.

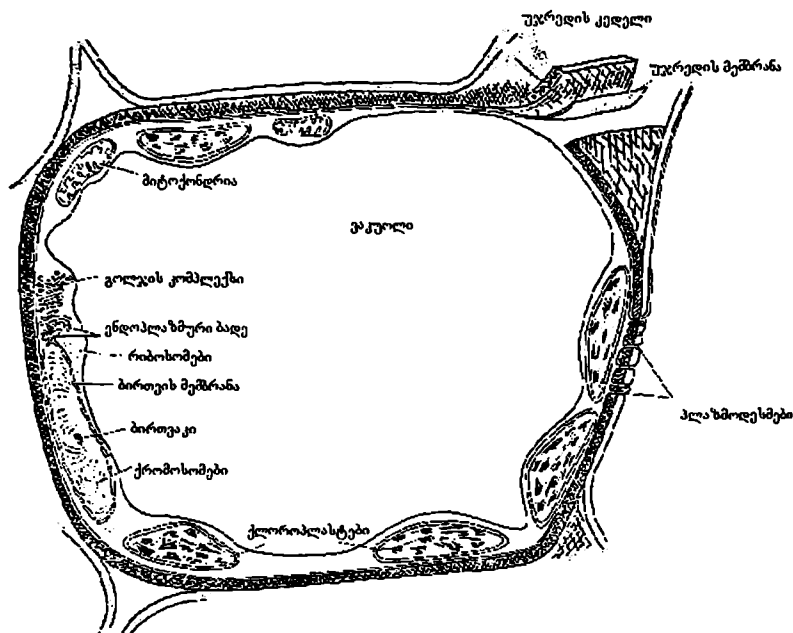
უჯრედში ზოგადად შეიძლება გავარჩიოთ სამი მთავარი ნაწილი:

1) უჯრედის მემბრანა, რომელიც გარს აკრავს უჯრედს და გამოყოფს მას გარემოსაგან (მცენარეების მემბრანას ზედაპირზე ეკვრის მკვდარი უჯრედის კედელი).

2) ციტოპლაზმა, რომელიც შეიცავს წყალს, მარილებს, ორგანულ ნივთიერებებს და მთელ რიგ ორგანოიდებს.

3) უჯრედის ბირთვი (ბაქტერიებში ბირთვის უბანი), რომელშიც მოთავსებულია უჯრედის გენეტიკური მასალა (დნმ და მასთან დაკავშირებული ნივთიერებები).

არსებობს უჯრედების ორი ძირითადი ტიპი. ჩვენ ვერ განვიხილავთ უჯრედებს, რომლებიც დამახასიათებელია მრავალუჯრედიანი ორგანიზმებისა და უმარტივეხებისათვის. ბაქტერიული უჯრედები მათგან ძლიერ განსხვავდებიან. ზოგიერთი უჯრედული ორგანოიდი ყველა



სურ. 10.6. მცენარეული უჯრედი

უჯრედში. ეს ის ორგანოიდებია, რომელთა გარეშეც უჯრედი ვერ იარსებებდა. სხვა ორგანოიდების არსებობა დაკავშირებულია უჯრედის მიერ ორგანიზმში შესრულებულ სპეციალურ ფუნქციასთან. ამიტომაც ასეთი ორგანოიდები ყველა უჯრედში არ მოიპოვება.

განვიხილოთ ის ორგანოიდები, რომლებიც მრავალუჯრედიანი ორგანიზმების უჯრედებში მოიპოვებიან. მათ ჩვენ ვნახულობთ უმარტივესების უჯრედებშიც.

10.3. უჯრედის მემბრანა

ნებისმიერი ცოცხალი არსების — იქნება ის ერთი უჯრედი თუ მრავალუჯრედიანი ორგანიზმი — ერთ-ერთი მთავარი ამოცანაა სიცოცხლისათვის აუცილებელი ნივთიერებების: საკვების, წყლის და ფანგბადის მიღება. ამავდროს ორგანიზმი უნდა გაათავისუფლდეს ცხოველქმედების სხვადასხვა ნარჩენისაგან, ჯთქვათ, ნახშირორჟანგისაგან. გარემოსთან ნივთიერებათა ცვლა მიმდინარეობს უჯრედის მემბრანის (მას პლაზმურ მემბრანასაც უწოდებენ) გზით. ეს არის თხელი აკი, რომელიც მთელ უჯრედს ფარავს.

ნებისმიერი ნივთიერების მოლეკულები განუწყვეტლივ მოძრაობს. ამ დროს ისინი ცდილობენ გადავიდნენ უფრო მაღალი კონცენტრაციის უბნიდან უფრო დაბალი უბნისაკენ, ასე რომ, მათი

მოძრაობა კონცენტრაციული გრადიენტის მიმართულებით ხდება. ასეთ მოძრაობას დიფუზიას უწოდებენ.

მრავალი ნივთიერება უჯრედში შედის ან გამოდის კონცენტრაციული გრადიენტის გავლენით. პლაზმური მემბრანა რომ არ უშლიდეს, ეს ნივთიერებები თანაბრად განაწილდებოდნენ უჯრედის შიგნით და გარეშო არეში და მათი კონცენტრაციები გათანაბრდებოდა. მაგრამ უჯრედის სიციცხლისათვის აუცილებელია, რომ მისი ქიმიური შედგენილობა შედარებით მუდმივი იყოს. ამავ დროს უჯრედს განუწყვეტლივ უხდება გარეშოდან საკვები ნივთიერებისა და ჟანგბადის მიღება და ნარჩენების გამოყოფა, ამიტომაც იგი ერთის მხრივ ინარჩუნებს გარემოსთან ნივთიერებათა ცვლას უჯრედის მემბრანის საშუალებით, რათა უზრუნველყოს შედგენილობის შედარებითი სტაბილურობა.

ჰეპტულუბა. უჯრედის მემბრანა იმდენად თხელია, რომ იგი არ ჩანს სინათლის მიკროსკოპში, მაგრამ მისი არსებობა მეცნიერებმა დიდი ხნით ადრე ივარაუდეს, სანამ მას აღმოაჩინდნენ ტრანსმისიული ელექტრონული მიკროსკოპით. ჩვენი საუკუნის დასაწყისში ოვერტონმა (H. Overton) აღმოაჩინა, რომ ერთორციტში ზოგიერთი ნივთიერების შესვლის სიჩქარე პირდაპირ პროპორციულია მათი ლიპიდებში ხსნადობისა. რადგანაც ლიპიდები არაპოლარული ნივთიერებებია, მათ სხვა არაპოლარული ნივთიერებების გახსნის უნარი აქვთ. ამიტომაც ამაზონ, რომ უჯრედის მემბრანა ძლიერ განვლადია ისეთი ნივთიერებებისათვის, რომლებიც ლიპიდებში იხსნებიან. ოვერტონმა ივარაუდა, რომ უჯრედის მემბრანა დიდი რაოდენობით ლიპიდებს შეიცავს. ნივთიერებები მასში იხსნებიან, მისი გზით გადიან მემბრანაში და მის მეორე მხარეს აღმოჩნდებიან.

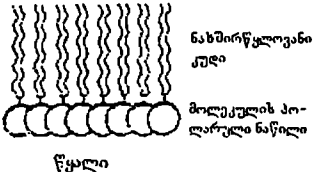
მაგრამ ლიპიდებში ხსნადობა ვერ ხსნის უჯრედის მემბრანის განვლადობის ყველა თავისებურებას. წყალი და ზოგიერთი წყალში ხსნადი (პოლარული) ნივთიერება გაცილებით სწრაფად შედის უჯრედში, ვიდრე მოსალოდნელი იყო იმ შემთხვევაში, თუ ისინი ლიპიდებში გაიხსნებოდნენ.

უჯრედის მემბრანა უფრო კარგად ატარებს დამუხტავ მოლეკულებს, ვიდრე ელექტრული მუხტის მქონე იონებს. მაგალითად, კალიუმისა და ქლორის იონები, რომელთა მოლეკულებიც წყლის მოლეკულების ტოლია, 10000—ჯერ უფრო ნელა გადიან უჯრედის მემბრანაში, ვიდრე წყლის მოლეკულები. ასევე განსხვავდებიან დადებითად და უარყოფითად დამუხტული იონებიც — დადებითად დამუხტული იონები უფრო ადვილად შედიან უჯრედში, ვიდრე უარყოფითად დამუხტულნი.

1925 წელს ე. გორტერმა და ფ. გრენდელმა (E. Gorter, F. Grendel) მოახერხეს ერთორციტების დაშლა და მემბრანების გამოყოფა მისი შიგთავსისაგან. ამ მემბრანებიდან მათ გამოყვეს ლიპიდები, რომლებიც განალაგეს წყლის ზედაპირზე ერთი მოლეკულის სისქით (სურ. 10.7). წყლის ზედაპირის ფართობი, რომელიც დაფარული იყო ლიპიდების ასეთი მონომოლეკულური შრით, ორჯერ უფრო მეტი აღმოჩნდა მილიანი ერთორციტის გამოთვლილ ფართობზე. აქედან გაკეთებული იქნა დასკვნა, რომ უჯრედის მემბრანა შედგება ლიპიდების ორმაგი, ბიმოლეკულური შრისაგან. უჯრედის მოსაზღვრე შრის დაჭიმულობისა და დრეკადობის შესწავლის შედეგად დაასკვნეს, რომ უჯრედის მემბრანა ცილებსაც შეიცავდა.

დაბოლოს, ტრანსმისიული ელექტრონული მიკროსკოპით ნახეს, რომ უჯრედის მემბრანა არის ორშირიანი სტრუქტურა და მისი სისქე დაახლოებით 10 ნმ-ის (0,00001 მმ) ტოლია (სურ. 10.8). 10.9 სურათზე გამოსახულია ამჟამად მიღებული უჯრედის მემბრანის ე.წ. თხევად-მოზაიკური

მოდელი. მემბრანის შედგენლობაში შემავალი ლიპიდები ძირითადად ფოსფოლიპიდებია (ცხოველური უჯრედის მემბრანა დიდი რაოდენობით ქოლესტეროლსაც შეიცავს) (იხ. სურ. 9.23). ლიპიდების მოლეკულები განლაგებულია ორ შრედ ისე, რომ არაპოლარული, წყლის განმზიდეველი ბოლოები მოთავსებულია მემბრანის სიღრმეში, ზოლო წყალში ხსნადი პოლარული ბოლოები მიმართულია შიდა და გარეთა წყლის გარემოსაკენ. მემბრანა შეიცავს სხვადასხვა ცილების მოლეკულებს. ზოგიერთი მათგანი მოთავსებულია ლიპიდური შრის გარე ან შიდა ზედაპირზე, სხვები განჭოლავენ მთელი მემბრანის სისქეს. ამ მოდელს “თხევად-მოზაიკურს” უწოდებენ, რადგანაც ვარაუდობენ, რომ მემბრანაში არის მრავალი სხვადასხვა სახის ცილა (რომლებიც თავისებურ მოზაიკას ქმნიან) და ბევრი მათგანი ადგილზე კი არ ჩერდება, არამედ თითქოს ცურავს მემბრანის თხევად ლიპიდურ შრეებში.



სურ.10.7. ლიპიდების განლაგება წყლის ზედაპირზე ერთი მოლეკულის სისქით. რგოლებით აღნიშნულია ტრიაცილგლიცეროლების და ფოსფოლიპიდების მოლეკულების დამუხტული ნაწილაკები. ეს ნივთიერებები შედგება გლიცეროლისაგან, რომელიც დამუხტული ბოლოებით შეერთებულია ცხიმოვანი მჟავას ნარჩენებთან ან ფოსფატურ ჯგუფებთან (იხ. სურ. 9.23). მოლეკულის ეს პოლარული ნაწი-

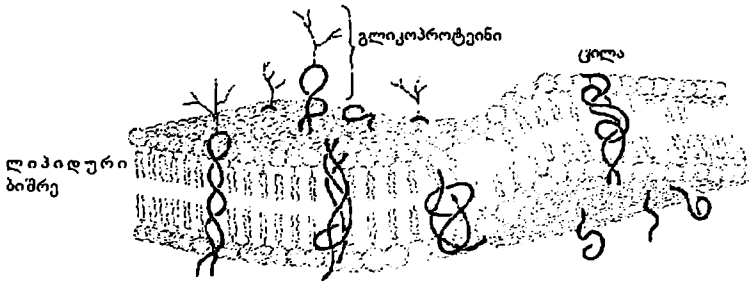
ლები მიმართულია წყლისკენ, რომელიც ასევე პოლარულია. ლიპიდური მოლეკულების კუდები – ცხიმოვანი მჟავების ნახშირწყლოვანი რგოლები – არაპოლარულია და ამიტომ განლაგებულია წყლის ზედაპირის პერპენდიკულარულად. აქ ისინი წყალთან კი არ არიან დაკავშირებულნი, არამედ ერთმანეთთან.



სურ.10.8. ამ ელექტრონულ მიკროფოტოგრაფიაზე ჩანს უჯრედის მემბრანის ორშიანი სტრუქტურა (Biophoto Associates).

უჯრედის გარე ზედაპირზე მყოფ ზოგიერთ ცილასთან ნახშირწყალი არის დაკავშირებული. ასეთ ცილებს გლიკოპროტეინებს (ბერძ. „გლიკის“ – ტკბილი) უწოდებენ (სურ.10.9). სხვადასხვა ტიპის უჯრედებში ცილების, გლიკოპროტეინების და ლიპიდების შემცველობა სხვადასხვაა. ამიტომაც უჯრედის თითოეულ ტიპს გააჩნია თავისებური “იარლიფი”, რომელზედაც “ტექსტს” წერენ გლიკოპროტეინები, რომლებიც მემბრანიდან არიან გამოშვებული. მაგალითად, ცნობილია, რომ ადამიანის სხვადასხვა ჯგუფის (ეთქვათ, A და B ჯგუფის) ერიტროციტები ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან უჯრედის მემბრანაზე მყოფ ერთ-ერთი ცილასთან დაკავშირებული ნახშირწყლის ბუნების მიხედვით. ისინი ე.წ. “ანტენების” ფუნქციას ასრულებენ. მაგალითად, კვერცხუჯრედი და სპერმატოზოიდი ერთმანეთს ცნობენ უჯრედის ზედაპირის გლიკოპროტეინების მიხედვით, რომლებიც ისე შეესაბამებიან ერთმანეთს, როგორც რაიმე თავსატეხის ორი სხვადასხვა ელემენტი. ეს ურთიერთცნობა აუცილებელი ეტაპია,

რომელიც წინ უსწრებს სპერმატოზოიდის კვერცხუჯრედში შეჭრას. ცხოველის განვითარებად ჩანასახში "იარლიყის" როლის შემსრულებელი ცილები უჯრედებს აცნობებენ, რომ მათ უკვე მიაღწიეს მათთვის განკუთვნილ ადგილს სხვა უჯრედების გვერდით. ამავე ცილების საშუალებით ერთი ტიპის უჯრედები ერთიანდებიან და ქსოვილებს ქმნიან.



სურ.10.9. უჯრედის მემბრანის აგებულება თხევად-მოზაიკური მოდელის მიხედვით. ცილები და გლიკოპროტეინები ჩაძირულია ლიპიდების მოლეკულების ორმაგ შრეში, რომელთა პოლარული ბოლოები (წრეები) მიმართულია გარეთ, ხოლო არაპოლარული (დაკლაკნილი ხაზები) — მემბრანის სიღრმისაკენ.

ფუნქცია. უჯრედის მემბრანას ახასიათებს შერჩევითი განვლადობა. ეს ნიშნავს, რომ ზოგ ნივთიერებას იგი ადვილად ატარებს, ზოგს კი ძნელად. ზევით ჩვენ აღვნიშნეთ, რომ ის ნივთიერებები, რომლებიც ლიპიდებში კარგად იხსნებიან, მემბრანაში გადიან ლიპიდებში გახსნის გზით. მაგრამ იონები და ზოგიერთი ორგანული მონომერი, როგორცაა გლუკოზა და ამინომჟავები, მემბრანაში გადიან უფრო სწრაფად, ვიდრე ეს მოსალოდნელი იყო ლიპიდების თხელ ფენაში ხსნადი პოლარული მოლეკულებისაგან. ეს ნივთიერებები უჯრედში შედიან (ანდა გამოდიან) უჯრედის მემბრანაში არსებული სპეციალური გადამტანების — ცილების დახმარებით.

გადვილებული დიფუზიის დროს ცილა-გადამტანი მემბრანის ერთ მხარეზე იერთებს მოლეკულას ან იონს, მასთან ერთად გაივლის მემბრანაში უმოკლესი გზით და მემბრანის მეორე მხარეს ათავისუფლებს მას. უჯრედს ამ დროს არავითარი ენერგიის ხარჯვა არ უწევს, თუ არ ჩავთვლით იმ ენერგიას, რომელიც უზრუნველყოფს თვით ამ გადამტანის შექმნას. არსებითად გადამტანი მემბრანას უფრო განვლადს ზღის გადასატანი ნივთიერების მიმართ.

გადვილებული დიფუზია საშუალებას აძლევს მრავალ უჯრედს, რომ ნივთიერება შთანთქას უფრო სწრაფად, ვიდრე ლიპიდების შრის გავლით დიფუზიის დროს. ადამიანის ღვიძლისა და კუნთების უჯრედები, ერთორციტები მოლეკულა-გადამტანების დახმარებით შთანთქავენ გლუკოზას. გაადვილებული დიფუზიის გზით გლუკოზა (ან სხვა ნივთიერებები) გამოდის უჯრედიდან. როდესაც სისხლში გლუკოზის დონე შემცირდება, ღვიძლის უჯრედები გლუკოზას გამოყოფენ იმავე გადამტანების დახმარებით, რომლებითაც შთანთქეს სისხლში მისი მაღალი კონცენტრაციის დროს.

აქტიური ტრანსპორტირების დროს, გადავიღებული დიფუზიისგან განსხვავებით, ნივთიერებები გადაიტანება მათი კონცენტრაციული გრადიენტის საწინააღმდეგო მიმართულებით. ამ დროს ნივთიერებები მცირე კონცენტრაციის უბნიდან გადადიან უბანში, სადაც მათი კონცენტრაცია ისედაც მაღალია. რადგანაც ასეთი გადაადგილება ხდება ნორმალური დიფუზიის საწინააღმდეგო მიმართულებით, უჯრედი მის შესასრულებლად ენერგიას ხარჯავს.

ამ მხრივ უკეთ შესწავლილია ე.წ. ნატრიუმ-კალიუმის ტუმბო (Na/K ტუმბო). ეს ტუმბო ნატრიუმის იონებს გადატუმბავს უჯრედის შიგნიდან გარეთ, ხოლო კალიუმისას — უჯრედის გარედან შიგნით. ამ დროს იგი იყენებს ATP-ის ენერგიას (აღწოზინტრიფოსფატი — ის ნაერთია, რომლის ენერგიასაც უჯრედი მრავალი ფუნქციის შესრულებისთვის იყენებს. იხ. განყოფილება II.3).

რა მიგვითითებს ნატრიუმის ტუმბოს არსებობის ფაქტზე? თუ უჯრედებს მოეწამლავთ, შეწყდება ATP-ის სინთეზი, რომლის ენერგიასაც ტუმბო იყენებს. ასეთი უჯრედები კარგავენ უნარს, რომ შეინარჩუნონ ნატრიუმის მაღალი კონცენტრაცია უჯრედის გარეთ, კალიუმისა კი უჯრედის შიგნით. ამ უჯრედებში კალიუმი გამოდის გარეთ, შიგნით კი იზრდება ნატრიუმის კონცენტრაცია.

საინტერესოა აღინიშნოს, რომ გასუქების ერთ-ერთი ფორმა დაკავშირებულია უჯრედების მემბრანებში არსებული ნატრიუმის ტუმბოს შესუსტებასთან. რადგანაც ამ დროს აქტიური ტრანსპორტის სისტემა ნაკლებ ენერგიას ხარჯავს, ამიტომ საკვებიც ნაკლები იხარჯება და ეს ნამატი ცხიმად გადაიქცევა.

როგორ მოუშაობენ გადავიღებული დიფუზიისა და აქტიური ტრანსპორტის სისტემები? სავარაუდოა, რომ უჯრედის მემბრანაში მყოფ ცილებს და მათ მონათესავე ნივთიერებებს მოლეკულების გადატანის დროს ფორმის შეცვლის უნარი გააჩნიათ. შესაძლებელია, რომ ამ ცვლილების შედეგად მემბრანაში დროებით იხსნება რომელიმე ფორი (ამ ფორის დანახვა შესაძლებელია. თუმცა, ეს ფორი გამოიყურება არა როგორც ნამდვილი ზერედი, არამედ როგორც პატარა ლაქა მემბრანაზე, რომელიც დროებით იცვლის თავის ფორმას, რათა გადასატანმა მოლეკულამ ადვილად შეძლოს მასში გაველა). შესაძლოა, რომ აქტიური ტრანსპორტირების დროს ATP-ის ენერგია იხარჯება იმაზე, რომ გადასატანი მოლეკულა მემბრანის გველის შემდეგ მოწყდეს თავის გადამტანს. შესაძლოა აგრეთვე, რომ ამ ენერგიის ხარჯზე იცვლება აქტიური ტრანსპორტის სისტემის კონფიგურაცია, რის გამოც მას შესაძლებლობა ეძლევა უკან მიმავალ გზაზე წაიფოლოს ახალი მოლეკულა, რომელიც პირველი მოლეკულისგან განსხვავებულია.

აქამდე ჩვენ არაფერი გვითქვამს ისეთი მნიშვნელოვანი ნივთიერების მოძრაობაზე, როგორიც წყალია. თუმცა წყალი აუცილებელი ნივთიერებაა უჯრედის სიცოცხლისათვის, მაგრამ უჯრედს სპეციალური სისტემა არც მისი შთანთქმისთვის და არც მისი გამოყოფისათვის არ გააჩნია. წყალი უჯრედის მემბრანაში თავისუფლად გადის ე.წ. ოსმოსის გზით.

ოსმოსის უწოდებენ წყლის გასვლას შერჩევით განვლად მემბრანაში, კერძოდ, უჯრედის მემბრანაში. უჯრედული მემბრანის შემთხვევაში ოსმოსი ნაწილობრივ განპირობებულია წყლის ცალკეული მოლეკულების დიფუზიით ამ მემბრანაში, ნაწილობრივ კი უჯრედის მემბრანაში არსებულ განსაკუთრებულ ფორებში მისი ნაკადის გავლით. რადგანაც ნებისმიერი ნივთიერების წყალხსნარის კონცენტრაცია დამოკიდებულია წყალში გახსნილი ნივთიერების რაოდენობაზე,

წყალი ცდილობს გადავიდეს უფრო განზავებული ხსნარიდან (სადაც წყლის კონცენტრაცია მეტია) უფრო კონცენტრირებულ ხსნარში (სადაც წყლის კონცენტრაცია შესაბამისად მცირეა).

წყლის ოსმოსური მოძრაობა დამოკიდებულია ორ ფაქტორზე:

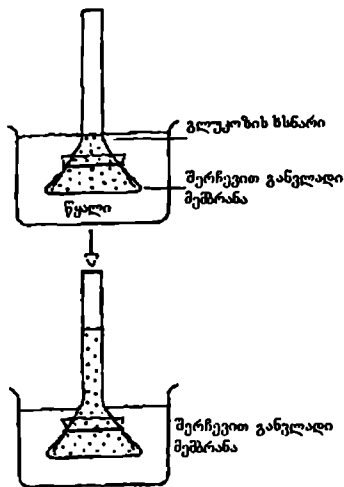
1) მეზრანის ორივე მხარეზე გახსნილი ყველა ნივთიერების საერთო კონცენტრაციაზე და

2) თითოეული ხსნარის მიერ შექმნილ წნევაზე. საერთო თანაბარ პირობებში წყალი ცდილობს გასვლას შერჩევით განვლადი მეზრანის გზით იმ ხსნარისაკენ, სადაც ყველა გახსნილი ნივთიერების კონცენტრაცია ყველაზე მაღალია (სურ. 10.10). მაგრამ შესაძლებელია, რომ რაღაც გარკვეულ მომენტში უფრო მაღალი კონცენტრაციის მქონე ხსნარში შესულმა წყალმა განავითაროს ისეთი წნევა, რომ ამ წნევამ იგი ისეთივე სისწრაფით გამოდევნოს გარეთ, როგორითაც შევიდა შიგნით.

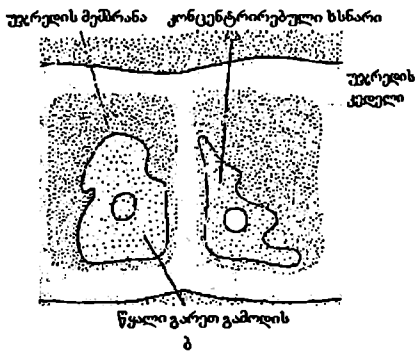
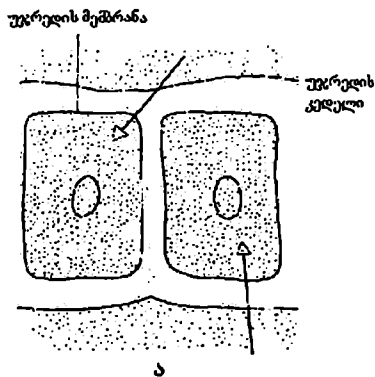
უჯრედები წყლის რაოდენობას არეგულირებენ მათში გახსნილი ნივთიერებების კონცენტრაციის ცვლილებით. უფრო მეტი რაოდენობით წყლის შთანთქმისათვის უჯრედები შთანთქავენ დიდი რაოდენობით სხვადასხვა მარილების იონებს, გლუკოზას და სხვა ხსნად ნივთიერებებს. ამის შედეგად უჯრედში იზრდება წყალში გახსნილი ნაწილაკების რაოდენობა. ოსმოსის კანონების თანახმად წყალი იწყებს უჯრედში შესვლას, ცდილობს რა გაათანაბროს თავისი საკუთარი კონცენტრაციები მეზრანის ორივე მხარეზე.

ეს სისტემა ასე მუშაობს მანამ, სანამ გახსნილი ნივთიერების კონცენტრაცია უჯრედის გარეთ და შიგნით დაახლოებით ერთნაირია. მაგრამ რა ხდება მაშინ, როდესაც კონცენტრაციები უჯრედის შიგნით და გარეთ ძლიერ განსხვავდება ერთმანეთისაგან? თუ გარემო არეში გახსნილი ნივთიერების კონცენტრაცია გაცილებით მეტია, ვიდრე უჯრედში, ან თუ უჯრედი უწყლო გარემოში აღმოჩნდა, იგი კარგავს წყალს და ნაოჭდება. თუ გარემოში წყალი შემცირდა (მაგალითად, ცხელ ამინდში), მცენარის უჯრედიდან წყალი გამოვა და მცენარე დაჭჭნება. თუ ასეთ დამჭკნარ მცენარეს წყალში მოვათავსებთ, წყალი კვლავ შევა უჯრედებში. ისინი წყლით ისევ გაიბერებიან და უჯრედის კედლებს მიეკვრებიან, დაექვემდებარებიან რა ტურგორულ წნევას, რომელიც უჯრედის შიგნიდან გარეთ არის მიმართული. უჯრედის კედლებს მხოლოდ გარკვეულ დონემდე აქვთ გაჭიმვის უნარი, რის შემდეგაც ისინი წინააღმდეგობას უწყვენ წყალს და ისეთივე სიჭკარით გამოდევნიან უჯრედიდან, რა სიჭკარითაც იგი იქ შედის. ასეთი გზით, ზედმეტი წყლის შესვლის შემთხვევაში, უჯრედის კედლები იცავს უჯრედებს დაზიანებისაგან.

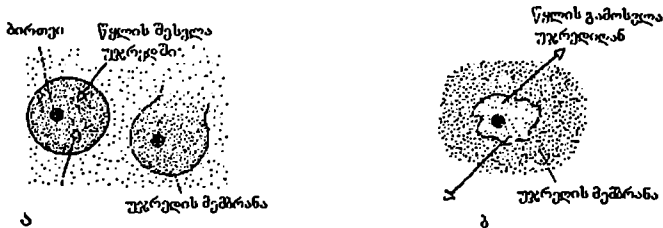
თუ ცხოველურ უჯრედებს მოვათავსებთ სუფთა წყალში ანდა ძლიერ განზავებულ ხსნარში, ისინი ადვილად სკდებათ, რადგანაც მათ უჯრედის კედლები არ გააჩნიათ (სურ.10.12). ამის თავიდან ასაცილებლად, სისხლში შესაყვან სამკურნალო ნივთიერებებს ამზადებენ არა სუფთა წყლით, არამედ მარილების წყალხსნარით. ცხოველურ უჯრედებს, რომლებსაც ხანგრძლივად უხდებათ წყალთან ურთიერთობა, მაგალითად, კუჭ-ნაწლავის ტრაქტის უჯრედებს, აქვთ სპეციალური შეგუებულობანი, რაც საშუალებას აძლევთ მათ, რომ ბევრი წყალი არ შთანთქან. როცა ჩვენ წყალს ვსვამთ, იგი ნელ-ნელა შეიწოვება და განაწილდება. ამის შედეგია ის, რომ ჩვენი ორგანიზმის უჯრედები არ სკდებათ. უჯრედულ მეზრანას უნარი აქვს შთანთქას ან გამოიყოს არა მარტო ცალკეული მოლეკულები ან იონები, არამედ აგრეთვე მსხვილი მოლეკულები და მრავალი მოლეკულის შემცველი ნაწილაკები. მეზრანის ეს თვისება განპირობებულია მისი თხევადი ბუნებით. ენდოციტოზის პროცესში (ენდო – შიგნით, ციტო – უჯრედი) მეზრანის ნაწილი წარმოქმნის გამონახარლებს და გარს ეკერის უჯრედის გარეთ



ხურ.10.10. ოსმოსი ხელოვნურ სისტემაში. მილს ერთ ბოლოზე გადაკრული აქვს მემბრანა, რომელიც ატარებს წყალს და არ ატარებს გლუკოზას. მილი ავსებულია გლუკოზის ხსნარით და გადაკრული მხარით ჩაშვებულია წყლიან ჭურჭელში. წყალს შეუძლია მემბრანაში ორივე მიმართულებით გასვლა, მაგრამ გლუკოზის მოლეკულები წყლის მეზობელ მოლეკულებს უშლიან მოძრაობას. ამიტომაც მილში შედის უფრო მეტი წყალი, ვიდრე იქიდან გამოდის. მილში ხსნარის დონე მანამდე აიწევს, სანამ მასში განუითარებული წნევა არ გახდება საკმარისი იმისათვის, რომ წყალი ისეთივე სისწრაფით გამოდევნოს მილიდან, როგორც იგი მასში შედის.

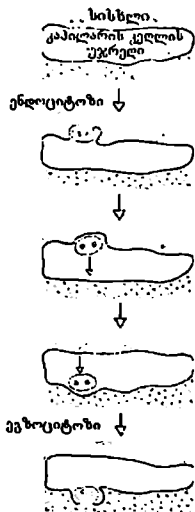


ხურ. 10.11. ტურგორი და დაჭკნობა მცენარეებში. ა - მცენარეული უჯრედები, რომლებიც მოთავსებულნი არიან განზავებულ ხსნარში. ისინი წყალს შთანთქავენ ოსმოსის გზით და ტურგორს ინარჩუნებენ. ბ - მცენარეული უჯრედები მოთავსებულია კონცენტრირებულ ხსნარში. მცენარე ოსმოსის გზით კარგავს წყალს და ჭკნება.



სურ. 10.12. ოსმოსი ცოცხალ უჯრედში. ა. განზავებულ ხსნარში მოთავსებული ცხოველური უჯრედი შთანთქავს წყალს მანამ, სანამ არ გასკდება. ბ. კონცენტრირებულ ხსნარში მოთავსებული ცხოველური უჯრედი კარგავს წყალს და ნაოჭდება.

მყოფ ნაწილაკს. შემდეგ გამონაზარდების ბოლოები ერთდება და ნაწილაკი აღმოჩნდება მემბრანულ ბუშტუკში, რომელიც უჯრედის მემბრანას მოწყობს და უჯრედის შიგნითა ნაწილში გადაინაცვლებს (სურ. 10. 13). (ამ დროს უჯრედის მემბრანაში არაკითარი სივრცე არ რჩება, რადგანაც მემბრანა, თავისი მოქნილობის წყალობით, სწრაფად “იკეტება”). ენდოციტოზის საწინააღმდეგო პროცესია ეგზოციტოზი (ეგზო – გარეთ). ამ დროს ბუშტუკის შემადგენელი ნივთიერება უჯრედის გარე არეში გამოდის.

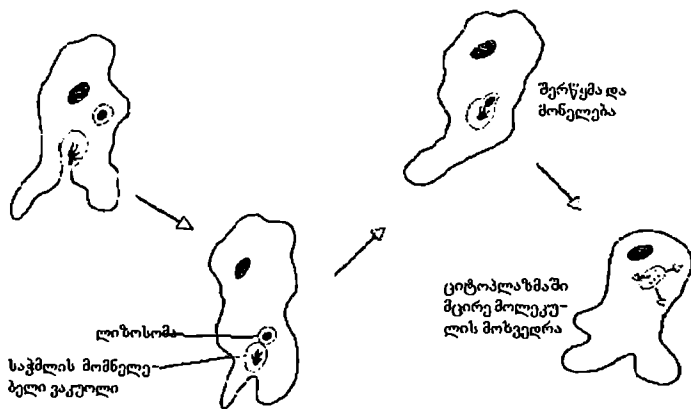


სურ.10.13. სქემა, რომელიც გვიჩვენებს, თუ როგორ ხდება მსხვილი მოლეკულების გამოსვლა სისხლიდან უჯრედში სითხეში. კაპილარების (უბცირესი სისხლძარღვების) კედლების უჯრედები შთანთქავენ სისხლში არსებულ ნივთიერებებს (ბუქი წრეები) ენდოციტოზის გზით. შემდეგ მემბრანული ბუშტუკი გადის მცირე მანძილს, რომლითაც უჯრედის ერთი კედელი მეორისგან არის დაშორებული, და ეგზოციტოზის გზით გამოყოფს თავის შიგთავსს უჯრედში სითხეში.

10.4. ციტოპლაზმაში მოხვედრილი ნივთიერების ბედი

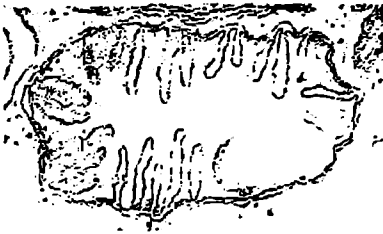
რამართბათ ნივთიერებებს მას შემდეგ, რაც გაივლიან უჯრედის მემბრანას და მოხვდებიან ციტოპლაზმაში? უჯრედის შიგნით მოხვედრის შემდეგ მცირე მოლეკულები (ცხიმოვანი მჟავის, ამინომჟავის, ჟანგბადის ანდა ნახშირწყლის) იხსნებიან ციტოპლაზმაში და უკვე შეუძლიათ უჯრედის სხვადასხვა ორგანოიდის შედგენლობაში შესვლა.

ზოგიერთი უჯრედი საკვებს შთანთქავს ენდოციტოზის (ფაგოციტოზის) გზით: უჯრედული მემბრანის გამონაზარდები გარს ერტყვიან საკვების ნაწილაკს, მასთან ერთად სცილდებიან დანარჩენ მემბრანას და ნაწილაკი ციტოპლაზმის შიგნით მემბრანულ ბუშტუკში აღმოჩნდება (სურ. 10.14). ეს საკვლის მომწვლელი ვაკუოლი ერწყმის მეორე მემბრანულ პარკს – ორგანოიდს, რომელიც შეიცავს საკვლის მომწვლელ ფერმენტებს და მას ლიზოსომა ეწოდება. ფერმენტები საკვებ ნივთიერებებს შლიან მცირე მოლეკულებამდე, ე.ი. ინელებენ მათ. მოლეკულები გადიან მემბრანაში და ციტოპლაზმაში ხვდებიან. ზანდაზან ლიზოსომები ინელებენ მკვდარ ან უკვე მოხმარებულ ორგანოიდებს, ზოგიერთ შემთხვევაში კი თვით უჯრედებსაც. მაგალითად, როცა თავკომალა გადაიქცევა ბაყაყად, მისი კულის უჯრედებში არსებული ლიზოსომები ინელებენ ამ უჯრედებს: კული ქრება, ამ დროს წარმოშობილი ნივთიერებები კი შეიწოვება და მას ორგანიზმის სხვა უჯრედები იყენებენ.



სურ.10.14. აშება იჭერს თავის ნადავლს და უჯრედში წარმოიქმნება საკვლის მომწვლელი ვაკუოლი. ეს ვაკუოლი ერწყმის ფერმენტებით სავსე ლიზოსომას, რომლებიც მონელებენ ნადავლს. გადამუშავების შემდეგ წარმოქმნილი მცირე მოლეკულები ციტოპლაზმაში მოხვდებიან.

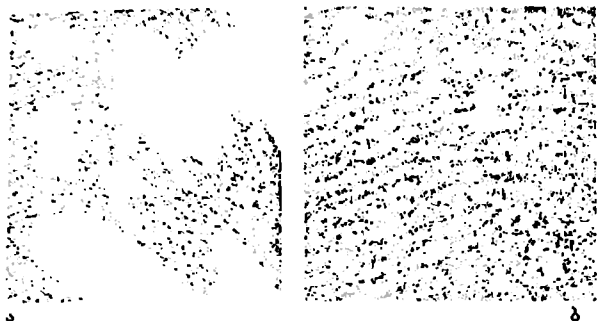
საკვები ნივთიერების ნაწილი უჯრედის სუნთქვის პროცესში იშლება. ამ დროს გამოიყოფა ენერჯია, რომელიც აუცილებელია უჯრედის სიცოცხლისათვის. ეს პროცესი მიმდინარეობს ორგანოიდში, რომელსაც მიტოქონდრია ეწოდება. მიტოქონდრია ორი მემბრანისაგან შედგება: გარეთა მემბრანისაგან, რომელიც მას ციტოპლაზმისაგან გამოყოფს და შიგნითა მემბრანისაგან, რომელიც მრავალრიცხოვან ნაოჭებს წარმოქმნის (სურ.10.15). მე-15 თავში ჩვენ უფრო დაწვრილებით განვიხილავთ მიტოქონდრიის სტრუქტურას და გავიგებთ, თუ როგორ არის იგი სუნთქვის ფუნქციასთან დაკავშირებული. სუნთქვის მთავარი პროდუქტია ATP. იგი ტოვებს მიტოქონდრიას და გამოიყენება, როგორც ენერჯის წყარო მრავალი რეაქციისათვის, რომლებიც მიმდინარეობს ციტოპლაზმაში და უჯრედის მემბრანაში. უჯრედები, რომლებიც ბევრ ენერჯიას გამოიყენებენ, მაგალითად, ცხოველების კუნთოვანი უჯრედები და მცენარეების ფესვების წვეროს მზარდი უჯრედები, ბევრ მიტოქონდრიას შეიცავენ. ღვიძლის ერთ უჯრედში მათმა რიცხვმა შეიძლება 2500-ს მიაღწიოს.



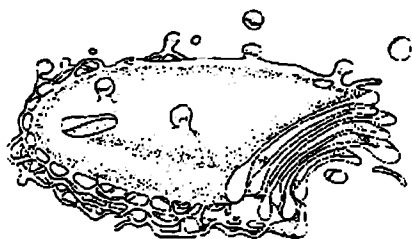
სურ.10.15. მიტოქონდრია. ჩანს გარეთა მემბრანა, რომელიც ფარავს მთელ ორგანოიდს, და შიგნითა, რომელიც ღრმა ნაოჭებს ქმნის (Biophoto Associates)

შაქრის მოლეკულები, რომლებიც სუნთქვის დროს არ გამოიყენება, უჯრედში მარაგის სახით ინახება. ღვიძლისა და კუნთების უჯრედებში გლუკოზა ინახება პოლისაქარიდ გლიკოგენის სახით. მცენარეულ უჯრედში გლუკოზა ინახება სხვა პოლისაქარიდის – სახამებლის სახით. ზედმეტი ლიპიდები ან იშლებიან, რის შემდეგაც და შლის პროდუქტები შედიან მიტოქონდრიაში და გამოიყენებიან სუნთქვისთვის საჭირო სუბსტრატად, ანდა ციტოპლაზმაში ინახებიან ცხიმის წვეთების სახით. ციტოპლაზმაში მოხვედრილი ამინომჟავებისაგან სინთეზდება ცილები. ცილის სინთეზი ხდება ორგანოიდებით, რომლებსაც რიბოსომები ეწოდება (სურ.10.16). თითოეული რიბოსომა ორი – დიდი და მცირე ნაწილაკებისაგან შედგება, რომელთა შედგენლობაში შედის ცილა და რნმ-ის მოლეკულები. დაწვრილებით რიბოსომების ფუნქცია მე-15 თავში განიხილება.

რიბოსომები ხშირად მიმაგრებულია მემბრანების განსაკუთრებულ სისტემაზე, რომელიც ცისტრენებისა და ბუშტუკებისაგან შედგება. ამ სისტემას ენდოპლაზმური ბადეს უწოდებენ. უჯრედებში, რომლებიც ბევრ ცილას ასინთეზებენ, ენდოპლაზმური ბადე კარგადაა განვითარებული და დაფარულია რიბოსომებით (სურ.10.16). ზოგიერთი ფერმენტი მხოლოდ მაშინაა აქტიური, როცა მემბრანაზე მდებარეობს. აქ იმყოფებიან დიდი რაოდენობით ფერმენტები, რომლებიც მონაწილეობენ ლიპიდების სინთეზში. ამრიგად, ენდოპლაზმური ბადე უჯრედის თავისებური “სამუშაო მაგიდაა“. გარდა ამისა, ენდოპლაზმური ბადე ციტოპლაზმას ყოფს ცალკეულ მონაკვეთებად, რითაც განაცალკევებს ციტოპლაზმაში ერთდროულად მიმდინარე სხვადასხვა ქიმიურ პროცესს. ამით თავიდან არის აცილებული იმის ალბათობა, რომ ეს პროცესები ერთმანეთს ხელს შეუშლიან.



სურ.10.16. ენდოპლაზმური ბაღე მასზე მიმაგრებული მრავალრიცხოვანი რიბოსომები.
 ა - თავის კუჭქვეშა ჯირკვლის უჯრედები,
 ბ - იგივე უჯრედი დიდი გადიდებისას.



სურ.10.17. ა-გოლჯის აპარატი უმარტივესების წარმომადგენლის Euglena-ს უჯრედში.

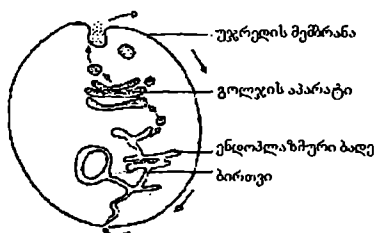
ბ - გოლჯის აპარატის სამგანზომილებიანი სქემატური გამოსახულება. მისი მარჯვენა ნაწილი წარმოდგენილია ჭრილის სახით, რათა უკეთესად იქნას ნარჩენები ელექტრონული მიკროსკოპით გადაღებული მისთვის დამახასიათებელი სტრუქტურა იმ სახით, როგორც ეს მოცემულია ბიოფოტო ასოციატებში (Biophoto Associates)

ხშირად უჯრედში წარმოქმნილი ნივთიერებები იქ არ გამოიყენება. კუჭქვეშა ჯირკვლის უჯრედებში წარმოქმნილი საჭმლის მომწელებელი ფერმენტები წერილ ნაწლავში მოიხმარება. ენდოპლაზმური ბადის რიბოსომებზე სინთეზირებული ცილები გაივლიან ენდოპლაზმური ბადის არხებში და მათგან წარმოიქმნება მემბრანით დაფარული ბუშტუკები, რომლებიც შემდეგ სცილდებიან ენდოპლაზმურ ბაღეს. ეს ბუშტუკები ბრტყელდებიან, ერთმანეთზე ლაგდებიან

და ქმნიან დამახასიათებელ სტრუქტურას, რომელსაც გოლჯის კომპლექსს, ანდა გოლჯის აპარატს უწოდებენ (სურ.10.17). გოლჯის აპარატში ყოფნის დროს ცილები განსაზღვრულ ცვლილებებს განიცდიან. როცა ღებება დრო, რომ მათ უჯრედი უნდა დატოვონ, მეზრანული ბუშტუკები ერწყმიან უჯრედის მეზრანას და თავიანთ შიგთავსს გარეთ გამოყოფენ, ე.ი. ხდება სეკრეცია ეგზოციტოზის გზით (იხ. სურ.10.5).

გოლჯის აპარატში წარმოიქმნება აგრეთვე ლიზოსომები – ჩვენს მიერ უკვე ნახსენები მეზრანული პარკები, რომლებიც საჭმლის მომწელებელ ფერმენტებს შეიცავენ.

ნებისმიერი უჯრედის მეზრანები განუწყვეტლივ გადაადგილდებიან და იცვლებიან. ენდოპლაზმური ბადის მეზრანები ნელა გადაადგილდებიან უჯრედში. ამ მეზრანების ზოგიერთი უბანი გამოცალკევდება და ქმნიან ბუშტუკებს, რომლებიც დროებით გოლჯის აპარატის ნაწილი ხდება, შემდეგ კი, ეგზოციტოზის პროცესში, უჯრედის მეზრანას ერწყმის. მოგვიანებით მეზრანული მასალა ციტოპლაზმაში ბრუნდება, სადაც ის ხელახლა გამოიყენება (სურ.10.18).



სურ.10.18. მეზრანული მასალის გადაადგილების შესაძლო გზები როგორც უჯრედის გაკლით, ასევე მის გარშემო.

10.5. უჯრედის ბირთვი

მიკროსკოპით ცოცხალი უჯრედის დათვალიერებისას უპირველეს ყოვლისა ყურადღებას იპყრობს უჯრედის ბირთვი. მცენარეულ უჯრედში ბირთვი, ჩვეულებრივ, კარგად არ ჩანს, მაგრამ შესაბამისი შეღებვის შემდეგ მისი დანახვა საკმაოდ კარგად შეიძლება. ბირთვში მოთავსებულია უჯრედის გენეტიკური მასალა – დნმ, რომელიც დაკავშირებულია დიდი რაოდენობის ცილასთან და ქმნის სტრუქტურას, რომელსაც ქრომოსომა ეწოდება. ბირთვის გაყოფის წინ ქრომოსომებს მოკლე ჩხირების ფორმა აქვთ (სურ.10.19 ა). ბირთვის გაყოფის შუა ინტერვალში ქრომოსომები გაიშლებიან და მთელ უჯრედში განაწილდებიან ფაშარი მასის სახით.

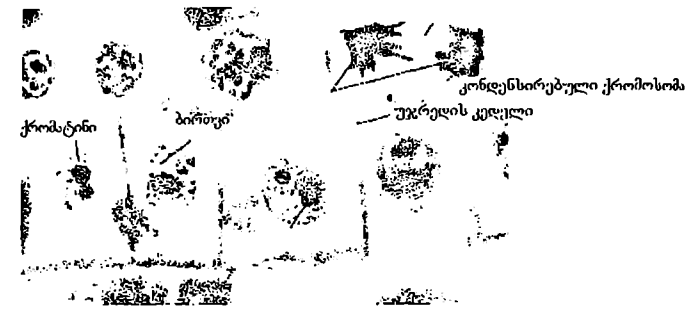
ქრომოსომული დნმ უზრუნველყოფს რნმ-ის მოლეკულების წარმოქმნას, რომლებიც ბირთვიდან ციტოპლაზმაში გადადიან და ცილის სინთეზში იღებენ მონაწილეობას. რნმ-ის ნაწილი შედის რიბოსომების შემადგენლობაში. ეს რნმ წარმოიქმნება ბირთვის ერთ ან რამდენიმე ნაწილში, რომლებიც უფრო ინტენსიურად იღებებიან და ბირთვაკი ეწოდებათ (სურ.10.19).

უჯრედში დასინთეზებული მეორე სახის რნმ ატარებს ინფორმაციას ცილების ამინომჟავური თანმიმდევრობის შესახებ. ნებისმიერი უჯრედის დნმ შეიცავს ინფორმაციას ორგანიზმისთვის საჭირო ყველა ცილის სინთეზის შესახებ, მაგრამ თითოეული უჯრედი ასინთეზებს ამ ცილების მხოლოდ ნაწილს. გარდა ამისა, ზოგიერთ უჯრედში სინთეზირებული ცილების ნაკრები

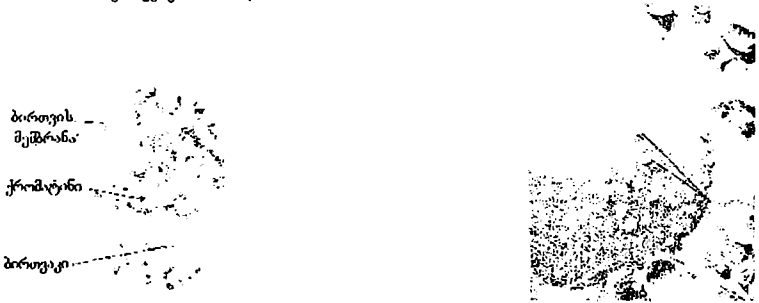
დროდადრო იცვლება. ამრიგად, ბირთვი უჯრედის ცხოველქმედების მარეგულირებელ ცენტრად შეიძლება ჩაითვალოს, რადგანაც მასში სინთეზირებული რნმ განსაზღვრავს, თუ რომელი ცილა უნდა აიგოს ციტოპლაზმის რიბოსომებზე. აღსანიშნავია, რომ ეს რეგულაცია ორმხრივია: ციტოპლაზმიდან ნივთიერებები შედიან ბირთვში და მოქმედებენ დნმ-ზე იმგვარად, რომ მასზე დაიწყოს ან შეწყდეს გარკვეული სახის რნმ-ის სინთეზი. ამ პროცესის ხასიათი საბოლოო ეტაპში დამოკიდებულია მოცემულ მომენტში ციტოპლაზმის ქიმიურ შედგენილობაზე.

ბირთვის გარს აკრავს ორმაგი მემბრანა, რომელსაც ბირთვის მემბრანა ან ბირთვის გარსი ეწოდება. ეს მემბრანა დასერეტილია შედარებით დიდი ზომის ფორებით, რომელთა გზითაც ბირთვიდან ციტოპლაზმაში ან პირიქით მოძრაობენ საკმაოდ მსხვილი ნაწილაკები (მაგალითად, რიბოსომული) (სურ.10.19.გ).

უჯრედი გაყოფის პროცესში



ხახვის ფესვის ანათალი



ქრის ფესვის უჯრედი ბ

ლორის თირკმლის უჯრედი გ

სურ.10.19. ბირთვი და ქრომოსომები. ბ — ხახვის ფესვის ანათალი. ერთ-ერთ უჯრედში ბირთვი იყოფა: მასში ქრომოსომები გამსხვილებულია და ჩხირის ფორმა აქვთ. დანარჩენი უჯრედების ბირთვებში ქრომოსომების არსებობაზე მიუთითებს მრავალრიცხოვანი წერტილები. უფრო მსხვილი მუქი უბნები ბირთვებშია. ბ — ქერის ფესვის იმ უჯრედის ელექტრონული მიკროფოტოგრაფია, რომელიც არ იყოფა. მასში ნათლად ჩანს ქრომოსომები და ბირთვები. გ — ბირთვის ნაწილი, რომელიც ისეა გადაღებული, რომ კარგად ჩანდეს ბირთვის მემბრანაში არსებული ფორები. ამ პრეპარატზე ჭრილი გატარებულია ისე, რომ კარგად ჩანდეს ბირთვის ორმხრივი მემბრანა. უჯრედი აღებულია ლორის თირკმლიდან. ეს სამი მიკროფოტოგრაფია — სინათლის ა, ტრანსმისიული ელექტრონული — ბ და მასკანირებული ელექტრონული გ — მიკროსკოპების საშუალებით არის მიღებული. (Biophoto Associates)

10.6. რით განსხვავდება მცენარეული უჯრედი ცხოველურისაგან

ჩვენთვის უცნობი პრეპარატი შესაძლებელია მივაკუთვნოთ მცენარეულს ან ცხოველურს შემდეგი ნიშნების მიხედვით:

1. უჯრედის კედლის არსებობა. მცენარეული უჯრედი შემოსაზღვრულია სქელი უჯრედის კედლით, რომელიც უჯრედის მემბრანას გარედან აკრავს. უჯრედული კედლის წყალობით თითოეული ცალკეული უჯრედი თავის ფორმას ინარჩუნებს. მეზობელი უჯრედები ერთმანეთთან შეერთებულია პექტინების საშუალებით. უჯრედის კედელი აგებულია ცელულოზისა და სხვა ბოჭკოებისაგან. იგი საკმაოდ ფორებიანია, რათა ადვილად გაატაროს წყალი და სხვა მცირე მოლეკულები, საკმაოდ მაგარია იმისთვის, რომ მცენარის სხეულს მინიჭოს გარკვეული სტრუქტურა და უზრუნველყოს მისი სიმტკიცე, ამასთან ერთად საკმაოდ მოქნილია იმისთვის, რომ ქარის დროს მცენარე გადაიხაროს, მაგრამ არ გადატყდეს (სურ.10.20). მრავალი უჯრედის კედლები, განსაკუთრებით კი მერქნიანი ჯიშებისა, შეიცავს განსაკუთრებულ ნივთიერებებს, რომლებიც ადიდებენ ცელულოზის სიმტკიცეს. უმაღლეს მცენარეებს ცელულოზა ძირითადად უჯრედულ კედელზე უვითარდებათ გოლჯის კომპლექსის მიერ მიწოდებული ნივთიერებებისაგან.

2. პლასტიდების არსებობა. პლასტიდები მხოლოდ მცენარეულ უჯრედებში გვხვდება. ეს ორგანოიდები შემოსაზღვრულია ორმაგი მემბრანით, რომელიც მათ ციტოპლაზმისგან გამოყოფს. გარდა ამისა, მათ გააჩნიათ მემბრანების შინაგანი სისტემა (იხ.მე-11 თავი). პლასტიდებს შორის ყველაზე გავრცელებულია მწვანე ფერის ქლოროპლასტები – სტრუქტურები, რომლებიც განაპირობებენ მცენარეული უჯრედის მწვანე ფერს (სურ. 10.21). ქლოროპლასტებში იმყოფება ფოტოსინთეზისათვის აუცილებელი მწვანე პიგმენტი – ქლოროფილი. მცენარის უჯრედში მოიპოვება სხვა ტიპის პლასტიდებიც, რომლებიც შეიცავენ წითელ, ყვითელ და ნარინჯისფერ პიგმენტებს. სწორედ ეს პლასტიდები განაპირობებენ ყვავილების, ნაყოფების და შემოდგომის ფოთლების დამახასიათებელ შეფერილობას. უფერო პლასტიდებში მარაგდება საზამბელი ან ზეთები. ასეთი პლასტიდები ბევრია გორგლებში, ფესვებში და თესვებში.

3. მსხვილი ვაკუოლების არსებობა. ვაკუოლს უწოდებენ მემბრანულ პარკს, რომელიც მეტწილად გამჭვირვალე სითხეს შეიცავს (სურ.10.21). ვაკუოლებს შეიცავს როგორც მცენარეული, ისე ცხოველური უჯრედები, მაგრამ მცენარეულ უჯრედებში ისინი ადვილი შესაძენია გაცილებით დიდი ზომის გამო. ჩვეულებრივ ასეთი ვაკუოლები მცენარეული უჯრედის დიდ ნაწილს მოიცავენ, რის გამოც ბირთვი, ქლოროპლასტები, მიტოქონდრიები და დანარჩენი ორგანოიდები ციტოპლაზმაში პერიფერიაზე არიან მოთავსებული.

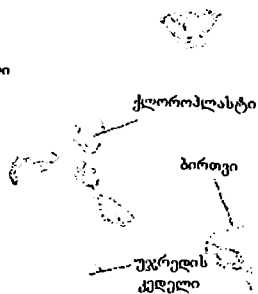
მცენარეული უჯრედის ცენტრალურ ვაკუოლში შეიძლება დაგროვდეს წითელი, ლურჯი და მეწამული ფერის პიგმენტები, საკვები ნივთიერების მოლეკულები, მარილები და სხვა შენაერთები. ვაკუოლი საუკეთესო ადგილია აგრეთვე შხამიანი ნივთიერებების შესანახად. ვაკუოლში მყოფი შხამიანი ნივთიერებები ვერ დაზიანებენ ციტოპლაზმას და მის ორგანოიდებს. მაგალითად, ზოგიერთ აკაციას ვაკუოლში დაგროვილი აქვს ციანიდები. სანამ ისინი დაუზიანებელ ვაკუოლში იმყოფებან, მცენარეს ზიანს ვერ აყენებენ. თუ რომელიმე ცხოველი მათ ფოთლებს დაღეჭავს, მაშინ უჯრედები დაზიანდება, ციანიდები გამოიყოფა გამსკდარი ვაკუოლებიდან და ცხოველი მოიწამლება.



ხურ.10.20. მცენარეული უჯრედის კედლის ცელულოზური ბოჭკოები (Biophoto Associates)

ხურ.10.21. ისპანახის ფოთლის უჯრედები ელექტრონული მიკროსკოპით მცირე გადიდებისას (Biophoto Associates)

ვაკუოლი



100 μm

ი0.7. მოძრაობა

ცოცხალ უჯრედში განუწყვეტელი მოძრაობა მიმდინარეობს. მაგალითად, წყალმცენარეებში, ციტოპლაზმის მოძრაობის გამო, ქლოროპლასტები განუწყვეტლივ მოძრაობენ ცენტრალური ვაკუოლის ირგვლივ. ამების ციტოპლაზმა გადაიღვრება ერთი ადგილიდან მეორეზე და ხან წარმოქმნის ცრუფეხებს, ხან აქრობს მათ. ამ დროს იგი ფორმას იცვლის. მიკროსკოპის ქვეშ ჩანს, რომ გულის კუნთის იზოლირებული უჯრედი რიტმულად იკუმშება წუთში რამდენიმეჯერ, წარმოქმნის გამონაზარდებს და სასაგნე მინაზე თანდათანობით გადაინაცვლებს.

უჯრედის მოძრაობითი აქტიურობისათვის აუცილებელია ორი ტიპის სტრუქტურების – მიკრომილაკებისა და მიკროფილამენტების – არსებობა. მიკრომილაკები – გრძელი, წვრილი სტრუქტურებია. მათი წარმოქმნა უჯრედში საჭიროების დროს ციტოპლაზმაში არსებული ცილებისაგან ხდება. მცენარეულ და ცხოველურ უჯრედებში მიკრომილაკები ქმნიან შინაგან ჩონჩხს, რომელიც უჯრედს ფორმის შენარჩუნებაში ეხმარება. გარდა ამისა, ისინი მიმართულებას აძლევენ სხვადასხვა ორგანიზმის მოძრაობას.

მიკრომილაკები არის აგრეთვე წამწამებსა და შოლტებში – უჯრედის ძაფისებრ გამონაზარდებში. წამწამები შოლტებზე მოკლე და მრავალრიცხოვანია, ელექტრონული მიკროსკოპის დახმარებით ორივე მათგანში შესაძლებელი გახდა ძირითადი სტრუქტურის გამოვლენა, რომლებიც წრიულად განლაგებული მიკრომილაკების ცხრა წყვილისაგან შედგებიან. ამ წრის ცენტრში მოთავსებულია ორი განცალკევებული მიკრომილაკი, მის ფუტეზე კი – ბაზალური სხეულაკი (ნახ.10.23). წამწამების საშუალებით ზოგიერთი წვრილი ორგანიზმი თხევად არეში გადაადგილდება. წამწამების მოძრაობით ზოგიერთი უჯრედის ზედაპირთან

იქნება სითხის ნაკადი, რომელიც წარიტაცებს სხადასხვა ნაწილს. ასე მაგალითად, სასუნთქი გზების გამომჟღავნებელი ეპითელიური უჯრედების წამწამები ასუფთავებენ მასში გამავალ ჰაერს მტერის ნაწილაკებისაგან. შოლტები გააჩნია მრავალ ერთუჯრედიან ორგანიზმს, აგრეთვე სპერმატოზოიდებს.

მიკროფილამენტები მიკრომილაკებზე უფრო წერილი ცილოვანი ბოჭკოებია (სურ.10.22). შესაძლოა, რომ ისინი განაპირობებენ ციტოპლაზმის მოძრაობას წყალმცენარეების უჯრედებში ან ამების გადაადგილებას. მიკრომილაკების მსგავსად, მიკროფილამენტები არსებობს ან ცალკეული სუბერთეულების, ან ერთად შეკრებილი წერილი ბოჭკოების სახით.

მიკრომილაკები



წამწამი

პლაზმური მემბრანა

ბაზალური სხეულაკი

სურ.10.22. მიკრომილაკები და მიკროფილამენტები წიწილის ნერეულ უჯრედში (Norman Wessels)

სურ.10.23. წამწამის ნაწილი ბაზალურ სხეულაკთან ერთად

10.8. ურთიერთქმედება და კონტაქტები უჯრედებს შორის

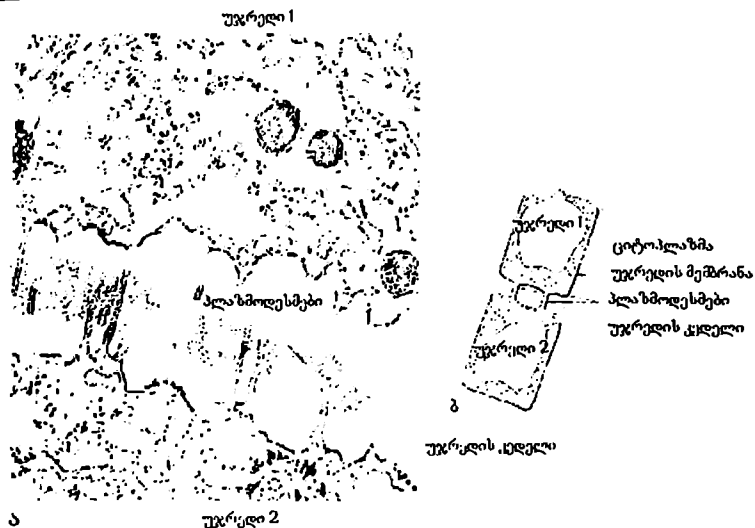
ორგანიზმის ნორმალური ფუნქციონირებისთვის აუცილებელია მისი უჯრედების აქტიურობის კოორდინაცია. უჯრედების ურთიერთობას აწესრიგებს შუამავალი ნივთიერებები, რომლებიც უჯრედშორის სითხეში მიედინება, ან ერთი უჯრედიდან მეორეს გადაეცემა. მცენარეული უჯრედების ციტოპლაზმა ერთმანეთთან დაკავშირებულია წერილი მილისებური არხებით, რომლებსაც პლაზმოდესმები ეწოდებათ (სურ.10.24). ცხოველური უჯრედების ანალოგიურ კავშირებს ნაპრალის კონტაქტებს ანუ დესმოსომებს უწოდებენ (იხ. სურ. 10.5). რადგანაც ფორები ერთმანეთთან აკავშირებს ორი მეზობელი უჯრედის ციტოპლაზმას, ამიტომ მცირე იონებს და მოლეკულებს შეუძლიათ ერთი უჯრედიდან მეორეში გადასვლა ნაპრალის კონტაქტების გზით. ძეჟუმფოვრების ნერეულ უჯრედებს შორის კონტაქტი ხორციელდება განსაკუთრებული სტრუქტურების – სინაფსების – საშუალებით.

10.9. პროკარიოტული უჯრედები

ელექტრონული მიკროსკოპით გამოვლენილი იქნა ფუნდამენტური განსხვავებები, ბაქტერიებისა და იმ უჯრედების აგებულებას შორის, რომლებზეც აქამდე გვეკონდა მსჯელობა (ცხრილი 10.4). ზემოთ ჩვენ განვიხილავდით ე.წ. ეუკარიოტულ უჯრედებს. ვარაუდობენ, რომ ისინი ევოლუციის პროცესში წარმოიშვა უფრო გვიან, ვიდრე პროკარიოტული ბაქტერიული უჯრედები (სურ.10.25).

ცხრილი 10.3. ეუკარიოტული უჯრედებისათვის დამახასიათებელი საერთო ნიშნები

სტრუქტურა	ფუნქცია	შედგენილობა
უჯრედის მემბრანა	გარს აკრავს უჯრედის შიგთავსს. მისი მეშვეობით ხდება ნივთიერებათა ცვლა გარემოსთან	ლიპიდების ორმაგი შრე ცილებთან და გლიკოპროტეინებთან ერთად
ბირთვი	შეიცავს ქრომოსომებს (და ბირთვაკებს)	ქრომოსომების შემომსახვრელი ორი მემბრანა
ქრომოსომები ბირთვაკები	ატარებენ გენეტიკურ ინფორმაციას რნმ-ის სინთეზი რიბოსომებისათვის	დნმ და ცილები დნმ და რნმ-ის მასინთეზებელი ფერმენტები
მიტოქონდრიები	სუნთქვა (საკვები ნივთიერებებიდან ენერჯის მიღება)	ორი მემბრანა, ცილები, დნმ, მიტოქონდრიული რიბოსომები
რიბოსომები	ციტოპლაზმაში, მიტოქონდრიებსა და ქლოროპლასტებში ცილის სინთეზი.	რნმ და ცილები
ენდოპლაზმური ბადე	მასზე მიმაგრებულია რიბოსომები და ბადე ლიპიდების სინთეზისთვის საჭირო ფერმენტები. ციტოპლაზმას ყოფს ცალკეულ განყოფილებებად	მემბრანები
გოლჯის აპარატი	უჯრედული პროდუქტების ექსპორტისათვის მომზადება და შეფუთვა. ლიზოსომების წარმოქმნა.	მემბრანები
ლიზოსომები	საკვები ნივთიერებებისა და უჯრედების გაცვეთილი კომპონენტების მონელება	მემბრანები, საჭმლის მომნელებელი ფერმენტები
უჯრედის კედელი	წარმოადგენს მცენარეული უჯრედის გარეთა საყრდენს, იცავს უჯრედს	ცელულოზოვანი ბოჭკოები (ძირითადი კომპონენტი)
პლასტიდები	ფოტოსინთეზი (ქლოროპლასტები). საკვები ნივთიერებების მომარაგება.	მემბრანები, პიგმენტები, ფერმენტები, დნმ, პლასტიდების რიბოსომები.
ვაკუოლები	სითხეების, საკვები ნივთიერებების, პიგმენტების და ა.შ. მომარაგება	სხვადასხვა შედგენილობის მემბრანა
მიკრომილაკები, მიკროფილამენტები	უჯრედშიგნითა მოძრაობა, უჯრედის ფორმის შენარჩუნება	ცილა
წამწამები, შოლტები	უჯრედების გადაადგილება ანდა უჯრედის ზედაპირთან სითხის ნაკადის შექმნა	უჯრედის მემბრანით დაფარული მიკრომილაკები



სურ.10.24. ორი მცენარეული უჯრედის შემაერთებელი ქლაზმოდესმები.

ა - ელექტრონული მიკროფოტოგრაფია, ბ - სქემა, რომელზეც ნაჩვენებია, რომ ორი მეზობელი უჯრედის მემბრანები და ციტოპლაზმა ქვნიან ერთ მთლიანობას უჯრედის კედლებში არსებული არსების საშუალებით (ა - Biophoto Associates)

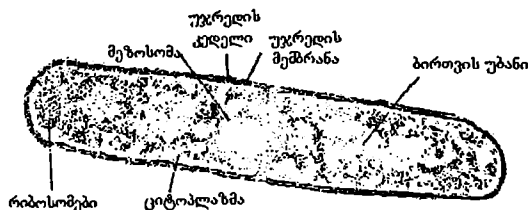
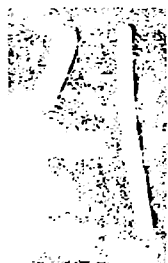
პროკარიოტული უჯრედებისთვის დამახასიათებელია ყველა უნიმუნელოვანესი სასიცოცხლო ფუნქცია, მაგრამ მათ არ გააჩნიათ მემბრანებით შემოსაზღვრული ისეთი ორგანოიდები, რომლებსაც ეუკარიოტული უჯრედები შეიცავენ: მიტოქონდრიები, ენდოპლაზმური ბადე, ქლოროპლასტები, ლიზოსომები და გოლჯის კომპლექსი. მთავარი განმასხვავებელი ნიშანი არის ის, რომ პროკარიოტებს არა აქვთ მემბრანით შემოსაზღვრული ბირთვი (სურ.10.26). სწორედ ამ ნიშნის მიხედვით ყოფენ უჯრედებს პროკარიოტებად და ეუკარიოტებად. ბერძნული სიტყვა "კარიონ" ნიშნავს "ბირთვს". ამრიგად, "პროკარიოტული" ("პრო"-მდე) ნიშნავს "ბირთვაშეგარეშს", ხოლო "ეუკარიოტული" ("ეუ"-კარგად) - "ნამდვილ ბირთვიანს". პროკარიოტული ღნმ წარმოადგენს ერთ მოლუნულ, რგოლისებურ მოლეკულას, რომელიც იკავებს ე.წ. ნუკლეარულ უბანს. ეუკარიოტულ უჯრედში შემაველი ღნმ-ისგან განსხვავებით, პროკარიოტული უჯრედების ღნმ დაკავშირებულია ძალიან მცირე რაოდენობის ცილასთან.

პროკარიოტული უჯრედების რიბოსომები უფრო პატარებია, ვიდრე ეუკარიოტული უჯრედების ციტოპლაზმაში მყოფი რიბოსომები.

პროკარიოტულ უჯრედებს გააჩნიათ უჯრედის კედელი და უჯრედული მემბრანები, მაგრამ შინაგანი მემბრანებიდან მათ მხოლოდ უჯრედის მემბრანაზე მიმაგრებული მეზოსომა აქვთ. მისი ფუნქციაა ვერ მთლიანად გარკვეული არ არის. მას სხვადასხვა როლს მიაწერენ. გამოთქმული იყო მოსაზრებები, რომ იგი მონაწილეობს უჯრედის გაყოფის შემდეგ ახალი უჯრედული მემბრანისა და უჯრედის კედლის შესაქმნელი მასალის სინთეზში, უჯრედის გაყოფის წინ ღნმ-ის გაორმაგებაში, უჯრედის სუნთქვაში. ფოტომასინთეზებულ ბაქტერიებს მოეპოვებათ აგრეთვე

ცხრილი 10.4. ეუკარიოტული და პროკარიოტული უჯრედების შედარება

სტრუქტურა	ეუკარიოტული უჯრედი	პროკარიოტული უჯრედი
უჯრედის კედელი	არა აქვთ ცხოველებს, მოეპოვებათ მცენარეებს	არის (ქიმიური შედგენილობით განსხვავდება მცენარის უჯრედის კედლისგან)
უჯრედის მემრანა	არის	არის
ბირთვი	მემრანით არის შემოსაზღვრული	აქვთ ბირთვული უბანი (ნუკლეოიდი), რომელიც მემრანით არ არის შემოსაზღვრული
ქრომოსომები	სწორხაზობრივი, შეიცავს ცილას	რგოლური. შეიცავს მცირე რაოდენობის ცილას
ენდოპლაზმური ბადე	ჩვეულებრივ აქვთ	არ არის
რიბოსომები	არის	არის (ეუკარიოტების რიბოსომებისგან განსხვავებულია) არ არის
გოლჯის კომპლექსი	არის	არ არის
ლიზოსომები	ბევრ უჯრედში არის	არ არის
მიტოქონდრები	არის	არ არის
ვაკუოლები	არის მცენარეული უჯრედების უმრავლესობაში და ზოგიერთ ცხოველურ უჯრედებში	არ არის
წამწამები, შოლტები	აქვს ყველა ორგანიზმს გარდა უმაღლესი მცენარეებისა	ზოგიერთ ბაქტერიას აქვს განსხვავებული აგებულების შოლტები



სურ.10.25. პროკარიოტული უჯრედები. ორი ჩხირისებური ფორმის ბაქტერია, რომლისგანაც გამოდიან ძაფისებური გამონაზარდები ("ზერები"). ამ გამონაზარდების დახმარებით ბაქტერიები გარემოში ემაგრებიან რომელიმე შესაფერის საგანს (Biophoto Associates)

სურ.10.26. ბაქტერიული უჯრედი გაყოფის პროცესში. ყურადღება მიაქციეთ მეზოსომას და ბირთვულ უბანს.

მემბრანები, რომლებიც ფოტოსინთეზისათვის საჭირო მოლეკულებს შეიცავენ. მაგრამ ეუკარიოტული მცენარეული უჯრედების ფოტომასინთეზებელი მემბრანებისაგან განსხვავებით, ეს მემბრანები ქლოროპლასტებში არ არის.

10.10. უჯრედის გაყოფა

ყველა ახალი უჯრედი წარმოიშობა უკვე არსებული უჯრედების შუაზე გაყოფის შედეგად. მრავალუჯრედიანი ორგანიზმი განვითარებას ერთადერთი უჯრედიდან იწყებს. მისი მრავალრიცხოვანი უჯრედები წარმოიქმნებიან მოგვიანებით უჯრედების მრავალგზის გაყოფის შედეგად. ასეთი გაყოფა ორგანიზმის მთელი სიცოცხლის განმავლობაში გრძელდება რეპარაციული და რეგენერაციული პროცესების განხორციელებისას ან მოხმარებული უჯრედების ახლით შეცვლის დროს. როდესაც სასის უჯრედები კვებიან და იქერცლებიან, მათ ცვლიან ახალი უჯრედები, რომლებიც ღრმა შრეებში მდებარე უჯრედების გაყოფის შედეგად წარმოიქმნებიან (იხ. სურ.10.4).

ახალწარმოქმნილ უჯრედებს გაყოფის უნარი მხოლოდ ზრდის გარკვეული პერიოდის გასვლის შემდეგ აქვთ. გარდა ამისა, გაყოფას წინ უნდა უსწრებდეს უჯრედული ორგანოიდების რიცხვის გაორმაგება. წინააღმდეგ შემთხვევაში შეილევს უჯრედებში მათი სულ უფრო და უფრო მცირე რაოდენობა მოხვდებოდა. ზოგიერთი ორგანიზმი, მაგალითად, ქლოროპლასტები და მიტოქონდრიები თვითონ მრავლდებიან შუაზე გაყოფის გზით. უჯრედისთვის საკმარისია თუნდაც ერთი ასეთი ორგანოიდის არსებობა, რომ შემდეგ წარმოქმნას ისინი იმდენი, რამდენიც სჭირდება. თითოეული უჯრედისთვის თავიდანვე აუცილებელია აგრეთვე რიბოსომების გარკვეული რაოდენობა, რათა გამოიყენოს ისინი ცილების სინთეზისათვის, რომლებისგანაც შემდეგში აიგება ახალი რიბოსომები, ენდოპლაზმური ბადე და სხვა ორგანოიდები.

რადგანაც დნმ ცილების სინთეზის შესახებ ინფორმაციის მატარებელია, უჯრედის გაყოფის წინ საჭიროა მისი ძალიან ზუსტი გაორმაგება (რედუბლიკაცია). თუ რომელიმე შეილევს უჯრედი არ მიიღებს დნმ-ში არსებული ინსტრუქციების სრულ კრებულს, მაშინ მას აღარ ექნება ყველა საჭირო ცილის სინთეზის უნარი. ეს რომ არ მოხდეს, დნმ უნდა გაორმაგდეს და თითოეულმა შეილევს უჯრედმა მისი ასლი უნდა მიიღოს (რედუბლიკაციის პროცესი აღწერილია 14.3 განყოფილებაში).

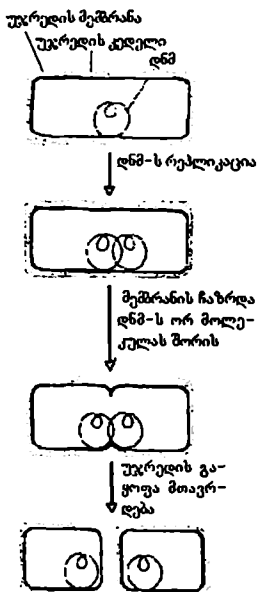
პროკარიოტული უჯრედის გაყოფა. ბაქტერიული უჯრედი შეიცავს უჯრედის მემბრანაზე მიმაგრებულ დნმ-ის მხოლოდ ერთ მოლეკულას. უჯრედის გაყოფის წინ ბაქტერიული დნმ ორმაგდება და წარმოიქმნება დნმ-ის ორი იდენტური მოლეკულა. თითოეული მათგანი ასევე მიმაგრებულია უჯრედის მემბრანაზე, რომელიც უჯრედის გაყოფის დროს შეეზრდება მათ ისე, რომ საბოლოოდ თითოეულ შეილევს უჯრედში დნმ-ის ერთი მოლეკულა აღმოჩნდება (სურ.10.26 და 10.27).

ეუკარიოტული უჯრედების გაყოფა. ეუკარიოტული უჯრედებისათვის გაყოფა უფრო პრობლემურია, ვინაიდან მათ მრავალი და განსხვავებული ქრომოსომები აქვთ. შესაბამისად, რთულია გაყოფის პროცესიც, რომელიც იძლევა იმის გარანტიას, რომ თითოეული შეილევსული

უჯრედი ქრომოსომების მთელ კომპლექტს მიიღებს. ამ პროცესს მიტოზი ეწოდება.

მიტოზი არის უჯრედის გაყოფა, რომლის შედეგადაც მიიღება ორი შვილეული უჯრედი ქრომოსომების ისეთივე კომპლექტით, როგორც აქვს მშობლიურ უჯრედს. საიდუმლო ცეკვა, რომელსაც ქრომოსომები ასრულებენ მათი ორ იდენტურ ნაწილად გაყოფის დროს, პირველად ას წელზე მეტი ხნის წინათ აღწერეს, მაგრამ დღემდე ქრომოსომების მოძრაობის ამ ფანტასტიკურ ზუსტ ქორეოგრაფიაში ბევრი რამ არის გაურკვეველი.

მიტოზს წინ უსწრებს ქრომოსომების გაორმაგება. გაორმაგებული ქრომოსომა შედგება ორი ერთნაირი ნახევრისაგან, რომლებიც ერთმანეთთან შეერთებულია განსაკუთრებული სტრუქტურით – ცენტრომერით (სურ. 10.28). ეს ორი ნახევარი განცალკევებულ ქრომოსომად იქცევა მხოლოდ მიტოზის შუა ფაზაში, როდესაც ცენტრომერა იყოფა და მათ უკვე აღარაფერი აღარ აკავშირებთ.



სურ.10.27. ბაქტერიული უჯრედის გაყოფა. დნმ ორმაგდება და ნაწილდება ორ შვილეულ უჯრედს შორის.



სურ.10.28. ეუკარიოტული უჯრედების გაყოფის წინ თითოეული ქრომოსომა ორმაგდება. მისი ორი იდენტური ასლი შეერთებული რჩება ცენტრომერის უბანში.

ქრომოსომების გაორმაგება ხდება ორ გაყოფას შორის – ინტერფაზაში. ამ დროს ქრომოსომული ნივთიერება გაფანტულია მთელ ციტოპლაზმაში ფაშარი მასის სახით (სურ. 10.29). ქრომოსომების გაორმაგებასა და მიტოზის დაწყებას შორის გარკვეული დრო გადის.

მიტოზის უკეთესად აღწერისათვის ბიოლოგები ამ პროცესს ოთხ ფაზად ყოფენ იმის მიხედვით, თუ როგორ გამოიყურებიან ქრომოსომები ამ დროს სინათლის მიკროსკოპში (სურ.10.29).

1. პროფაზის დროს უკვე ჩანს ბირთვის გაფოფისათვის მზადება. დნმ-ის და ცილის ფაშარი მასის მაგვირად პროფაზაში ნათლად ჩანან მათისებური გაორმაგებული ქრომოსომები. მათი ასეთი კონდენსაცია ისევე ძნელია, როგორც, მაგალითად, წვრილი ორმეტრიანი მათის ისე დაზვევა, რომ ის 1 მმ-ის დიამეტრის და 8 მმ-ის სიგრძის ცილინდრში მოთავსდეს. პროფაზაში ბირთვაკები და ბირთვის მემბრანა ქრებიან და გამოჩნდება მიკრომილაკების ბაღე.

2. მეტაფაზის დროს მთავრდება მიტოზური თითისტარას, ანუ მიკრომილაკებისგან შექმნილი ჩონჩხის წარმოქმნა. თითოეული გაორმაგებული ქრომოსომა ემაგრება მიკრომილაკს და თითისტარას შუა ნაწილისკენ მიემართება.



ინტერფაზა



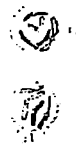
პროფაზა



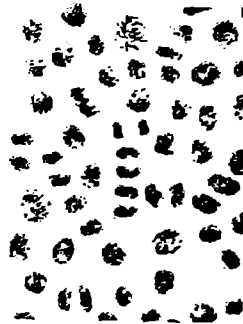
მეტაფაზა



ანაფაზა



ტელოფაზა



სურ.10.29. სინათლის მიკროსკოპით დანახული უჯრედი ინტერფაზის და მიტოზის 4 ფაზის დროს. მარჯვნივ ოთხკუთხედში გამოსახულია ხაზის ფესვის წვეროს უჯრედები გაყოფის ფაზაში. შეეცადეთ ამოიცილოთ აქ მიტოზის თითოეული ფაზა მარცხნივ მოთავსებული სურათების დახმარებით (Photo, Carolina Biological Supply Company)

ინტერფაზა. ქრომოსომები განაწილებულია მთელ ბირთვში ფაშარი მასის სახით. კარგად ჩანს ბირთვი და ბირთვაკი.

პროფაზა. ჩანს გაორმაგებული ქრომოსომები. ბირთვი და ბირთვის მემბრანა ქრება. ჩნდება მიკრომილაკები.

მეტაფაზა. მიკრომილაკები ქმნის მიტოზურ თითისტარას. ქრომოსომები მიემართებიან უჯრედის ეკვატორისაკენ.

ანაფაზა. თითოეული გაორმაგებული ქრომოსომიდან წარმოიქმნება 2 ცალკეული ქრომოსომა, რომლებიც მიემართებიან თითისტარას მოპირდაპირე პოლუსებისაკენ.

ტელოფაზა. ყალიბდება ორი ახალი ბირთვი (კარიოკინეზი). ჩვეულებრივ, ამავე დროს იყოფა ციტოპლაზმაც (ციტოკინეზი).

3. ანაფაზა—ში ცენტრომერები ბოლოს და ბოლოს იყოფიან და თითოეული გაორმაგებული ქრომოსომისგან წარმოიქმნება ორი განცალკევებული, იდენტური ქრომოსომა. გამოცალკევების შემდეგ ეს იდენტური ქრომოსომები მიემართებიან მიტოზური თითისტარას მოპირდაპირე ბოლოებისაკენ ანუ პოლუსებისაკენ. მაგრამ თუ რა ამოძრავებთ მათ, ჯერ კიდევ ნათელი არ არის. ანაფაზის ბოლოს თითოეულ პოლუსთან ქრომოსომების მთელი კომპლექტი იმყოფება.

4. ტელოფაზის დროს ქრომოსომები გაშლას იწყებენ და ისევ მიიღება ღნმ-ის ფაზარი მასა და ცილა. ქრომოსომების თითოეული ნაკრების გარშემო კვლავ გამოჩნდება ბირთვის მემბრანა. ტელოფაზას წველეთის თან ახლავს ციტოპლაზმის გაყოფაც, რის შედეგადაც მიიღება ორი ბირთვიანი უჯრედი. ცხოველურ უჯრედებში უჯრედის მემბრანა შუაში გადაიღველება და ამ წერტილში გადაიხსნება ისე, რომ მიიღება ორი განცალკევებული უჯრედი. მცენარეებში უჯრედის შუა ნაწილში წარმოიქმნება ტისარი და თითოეული შვილეული უჯრედი მის გასწვრივ თავის მხარეზე აგებს უჯრედის კედელს.

ისეთი ფაქტორების გავლენით, რომლებიც მიტოზს არღვევენ, შესაძლებელია მივიღოთ ტეტრაპლოიდური უჯრედი — ე. ი. ისეთი უჯრედი, რომელშიც ქრომოსომების რიცხვი ორჯერ მეტია. ერთ-ერთ ასეთ ფაქტორს წარმოადგენს შხამი, რომელიც მიიღება მცენარე უცუნასაგან, რომელიც დასავლეთ საქართველოში იზრდება და ამიტომ ლათინურად Colchicum ჰქვია. უცუნას შხამი — კოლხიციანი იკავშირებს მიკრომილაკების ცილებს და ხელს უშლის თითისტარას წარმოქმნას. ამის შედეგად ქრომოსომები ორ ჯგუფად ვეღარ იყოფიან და მიიღება ბირთვი ნორმალურთან შედარებით ქრომოსომების გაორმაგებული რიცხვით. თუ რომელიმე მცენარის ყლორტს კოლხიციანით მოეწამლაეთ, შემდეგ კი ეს მცენარე აყვავდება და ნაყოფს მოგვეკვს, მიიღება ტეტრაპლოიდური თესლები. ტეტრაპლოიდური მცენარეები ჩვეულებრივ უფრო დიდი ზომის და ძლიერია. კულტურული მცენარეების მრავალი ჯიშში — ხილი, ბოსტნეული და ყვავილები — უმეტესად ტეტრაპლოიდურებია. ისინი ან ბუნებრივად არიან ასეთები, ან ხელოვნურადაა გამოყვანილი.

X თავის მოკლე შინაარსი

წველმა უჯრედმა სიცოცხლის შესანარჩუნებლად უნდა შთანთქას საკვები ნივთიერება, მოხმაროს მისი ენერჯია, გათავისუფლდეს ნივთიერებათა ცვლის პროდუქტებისგან და, ბოლოს, გამრავლდეს. მრავალუჯრედთან ორგანიზმებში უჯრედები ამის გარდა ზოგიერთ საქციალიზირებულ ფუნქციასაც ასრულებენ, რითაც თავიანთი წვლილი შეაქვთ ორგანიზმის მთლიანობაში.

ეუკარიოტული უჯრედები შეიცავს შემდეგ ძირითად სტრუქტურებს:

1. უჯრედის მემბრანა, რომელიც არეგულირებს უჯრედის შიგნით ნივთიერებათა შესვლას და მისგან მათ გამოსვლას. ამის გამო შენარჩუნებულია უჯრედის ქიმიური შედგენლობა ისეთ ვიწრო ფარგლებში, რომლებშიც შესაძლებელია სიცოცხლე. მემბრანის ლიპიდური შრე ატარებს ისეთ მოლეკულებს, რომლებიც ლიპიდებში იხსნებიან. მემბრანული ცილების ნაწილი მრავალ პოლარულ მოლეკულას და იონს ეხმარება მემბრანის ორივე მიმართულებით გადაადგილებაში. მსხვილ ნაწილაკებს უჯრედი შთანთქავს ენდოციტოზის (ფაგოციტოზის) გზით; მემბრანა გარს შემოერთებება მათ, შემდეგ კი დაჭერილ ნაწილაკთან ერთად მოწყდება, წარმოქმნის მემბრანულ ბუშტუს, რომელშიც ეს ნაწილაკი იქნება მოთავსებული, და ამ ხაზით

მზებდება უჯრედში. მრავალი უჯრედი ნივთიერებების გარეთ გამოსაყოფად იყენებს საწინააღმდეგო პროცესს – ეგზოციტოზს.

2. ბირთვი, რომელიც შეიცავს გენეტიკურ მასალას ქრომოსომული ღმბ–ის სახით. ბირთვის უბანს, სადაც ხდება რიბოსომების სუბერთეულების წარმოქმნა, ბირთვია ეწოდება. ბირთვი შემოსაზღვრულია ბირთვის მემბრანით, რომელსაც საკმაოდ დიდი ზომის ფორები აქვს.

3. რიბოსომები, რომლებშიც ხდება ცილის სინთეზი.

4. მიტოქონდრიები – მსხვილი, რთული ორგანოიდები, რომლებიც წარმოქმნიან უჯრედის ენერჯის დიდ ნაწილს ATP-ის მოლეკულების ფორმით.

5. ლიზოსომები – ფერმენტებით სავსე მემბრანული პარკები. ეს ფერმენტები მონივლევენ საკვებ ნივთიერებებს და უკვე გაცვეთილ, უვარგის უჯრედულ სტრუქტურებს.

6. ენდოპლაზმური ბადე – მემბრანების სისტემა, რომელიც უჯრედს განყოფილებად ჰყოფს. ამ მემბრანების ზედაპირზე მრავალი ქიმიური რეაქცია მიმდინარეობს.

7. გოლჯის კომპლექსი, რომელიც მემბრანული პარკების შეკვრას წარმოადგენს. ასეთ პარკებში გროვდება ცილები და უჯრედიდან გამოსაყოფი სხვა ნივთიერებები.

8. უჯრედის კედელი, რომელიც ძირითადად ცელულოზოვანი ბოჭკოებისგან შედგება, გარს ეკერის უჯრედის მემბრანას და დამცავ და საფრენ ფუნქციებს ასრულებს.

9. პლასტიდები და მახასიათებელია მხოლოდ მცენარეული უჯრედისათვის. მათ შორის უმნიშვნელოვანესია ფოტოსინთეზის მაწარმოებელი ქლოროპლასტიები.

10. ვაკუოლები, რომლებიც განსაკუთრებით მსხვილი მცენარეულ უჯრედებში.

11. მიკრომილაკები და მიკროფილამენტები – უჯრედის და უჯრედული ორგანოიდების მამოძრავებელი სტრუქტურები.

12. წამწამები და შოლტები – წვრილი გამანაზარდები, რომლებიც მიკრომილაკებს შეიცავს. მათი მეშვეობით უჯრედები გადაადგილდებიან თხევად გარემოში ან ქმნიან სითხის ნაკადს თავიანთი ზედაპირის მახლობლად.

პროკარიოტულ ბაქტერიულ უჯრედებს გააჩნიათ აგრეთვე კედლები, უჯრედის მემბრანები, ციტოპლაზმა, რიბოსომები და ღმბ. შივნითა მემბრანული სისტემა წარმოდგენილია მხოლოდ მეზოსომის სახით, მაგრამ ზოგიერთ ბაქტერიას აქვს ფოტომახასიათებელი მემბრანებიც.

ეუკარიოტულ უჯრედებში უჯრედის გაყოფას წინ უსწრებს მიტოზი, ანუ ბირთვის გაყოფა, რომლის დროსაც ქრომოსომების ორი იდენტური კომპლექტი ნაწილდება ორ შვილეულ ბირთვს შორის.

შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა

1. ქვევით, მარჯვნივ ჩამოთვლილია სხვადასხვა უჯრედული სტრუქტურა. მიუთითეთ, მარცხნივ დასახელებული ფუნქციებიდან ან დახასიათებიდან რომელი შეესაბამება თითოეულ ამ სტრუქტურას:

- | | |
|--|----------------------------|
| 1. ცილის სინთეზის ადგილი | ა) უჯრედის მემბრანა |
| 2. უზრუნველყოფს უჯრედის გადაადგილებას თხევად გარემოში ან ქმნიან სითხის ნაკადს უჯრედების ზედაპირთან | ბ) უჯრედის კედელი |
| 3. ზოგიერთი უჯრედის მყარი დამცავი საფარველი | გ) ქლოროპლასტი |
| 4. უჯრედული პროდუქტების ექსკრეციის აპარატი | დ) წამწამები |
| 5. ფოტოსინთეზი | ე) ენდოპლაზმური რეტიკულუმი |
| 6. სითხით ამოვსებული, მცენარეული უჯრედის დიდი კომპარტმენტი | ვ) შოლტები |
| | ზ) გოლჯის კომპლექსი |
| | თ) მეზოსომა |
| | ი) მიტოქონდრია |
| | კ) ბირთვი |
| | ლ) რიბოსომა |
| | მ) ვაკუოლი |



7. პროკარიოტული უჯრედების შიგნითა მემბრანული სტრუქტურა
8. არეგულირებს ნივთიერებების უჯრედში შესვლას და მათ იქიდან გამოსვლას
9. მონაწილეობს უჯრედის სუნთქვაში
10. შეიცავს ეუკარიოტული უჯრედის გენეტიკურ მასალას.
2. მიუთითეთ, თუ რომელ უჯრედში გვხვდება ქვემოთ ჩამოთვლილი თითოეული სტრუქტურა – ცხოველურში, მცენარეულში, პროკარიოტულში თუ ყველა ორგანიზმის უჯრედებში.

სტრუქტურა	ცხოველური უჯრედი	მცენარეული უჯრედი	პროკარიოტული უჯრედი	ყველა ორგანიზმის უჯრედი
1. რიბოსომები	—	—	—	—
2. ბირთვული უბანი	—	—	—	—
3. უჯრედის კედელი	—	—	—	—
4. ღმწ	—	—	—	—
5. მიტოქონდრიები	—	—	—	—

3. რით უნდა ისარგებლოს ბიოლოგმა უჯრედის ზედაპირის თხელი მემბრანის გამოკვლევისას:
 - ა) სინათლის მიკროსკოპით
 - ბ) ტრანსმისიული ელექტრონული მიკროსკოპით
 - გ) მასკანირებელი ელექტრონული მიკროსკოპით
 - დ) რენტგენის აპარატით
4. ორი სტუდენტი ატარებს ოპერაციას ბაყაყზე. ისინი რევულარულად ასველებენ ბაყაყის შინაგან ორგანოებს მარილის ხსნარით, მაგრამ, მიუხედავად ამისა, ეს ორგანოები აღნაოჭებას იწყებს. როდესაც სახელმძღვანელოში ჩაიხედეს, სტუდენტებმა აღმოაჩინეს, რომ მარილის ხსნარის კონცენტრაცია არასწორად იყო აღებული: 9% საჭირო 0,9%-ის ნაცვლად (მარილების სწორედ ასეთ კონცენტრაციას შეიცავს ბაყაყის უჯრედები):
 - ა) ახსენით, თუ რატომ დაილუპა ბაყაყი ოპერაციის დროს?
 - ბ) რომელ პროცესს აქადაგილი?
 - გ) მონაწილეობდნენ თუ არა ამ პროცესში მოლეკულა-გადამტანები?
5. გოლჯის კომპლექსის გზით უჯრედიდან ნივთიერებების გამოტანა ხდება მემბრანული პარკის უჯრედის მემბრანასთან შერწყმის შედეგად. ამ დროს პარკის შიგთავსი გარეთ გამოიღვრება. რომელ პროცესთან გვაქვს აქ საქმე?
 - ა) ეგზოციტოზთან
 - ბ) ენდოციტოზთან
 - გ) აქტიურ ტრანსპორტთან
 - დ) გაადვილებულ დიფუზიასთან?
6. მიტოზის დროს მიმდინარე ქვემოთ ჩამოთვლილი მოვლენები განალაგეთ ქრონოლო-გური რიგით:
 - ა) ქრომოსომები განიცდის კონდენსაციას. ბირთვის გარსი ქრება.
 - ბ) წარმოიქმნება თითისტარა
 - გ) ქრომოსომები ორმაგდება
 - დ) ქრომოსომები თითისტარას მოპირდაპირე პოლუსებისკენ მიემართებიან
 - ე) ქრომოსომები უჯრედის ეკვატორზე განლაგდებიან
 - ვ) ციტოპლაზმა იყოფა.

კითხვები განხილვისათვის

1. რა მიზნებისთვის გამოიყენება მასკანირებელი ელექტრონული მიკროსკოპი?
2. სინათლის მიკროსკოპის გარჩევის ზღვარი დახლოებით 200 ნმ-ის ტოლია. 10.2 ცხრილში ჩამოთვლილი სტრუქტურებიდან რომლის დანახვა შეიძლება სინათლის მიკროსკოპით და რომლის მხოლოდ ელექტრონული მიკროსკოპით?
3. ციანწყალბადმჟავა (HCN) და ნახშირჟანგი (CO) შხამებია, რომლებიც ადვილად გადაინ უჯრედის მემბრანაში. შეგიძლიათ თუ არა თქვენ რაიმე ახსნა მოუძებნოთ იმ ფაქტს, რომ არც ერთ უჯრედს არ გამოუმუშავდა ისეთი ხერხი, რომელიც გამოირიცხავდა ამ შხამების უჯრედში მოხვედრას?
4. შეიძლება თუ არა მოველოდეთ, რომ თმის ფოლიკულის უჯრედებში უფრო მეტი რიბოსომები იქნება, ვიდრე ცხიმოვანი ქსოვილის უჯრედებში? რატომ?
5. ამტკიცებენ, რომ ცხოველები ვერ იქნებოდნენ ისეთები, როგორსაც ჩვენ ვიცნობთ, მათ უჯრედებს კედლები რომ ჰქონდეთ. როგორ შეგვიძლია ამის ახსნა?
6. რატომ ამჯობინებს უჯრედი ციტოპლაზმაში მიკრომილაკების ასაგები ცილოვანი სუბერთეულების მომარაგებას და რატომ არ ქმნის ამ სუბერთეულებს ხელახლა მაშინ, როცა ისინი სჭირდება მიტოზური თითისტარას ან რომელიმე სხვა სტრუქტურისათვის?
7. თამაქოს ბოლი აქვეითებს ზემო სასუნთქი გზების ეპითელიური უჯრედების აქტივობას. რატომ განაპირობებს ეს ფაქტი ე.წ. მწვევლთა ხველის გაძლიერებას და ფილტვების დაავადებების განვითარებას?

ნარკვევი. მიტოქონდრიებისა და ქლოროპლასტების წარმოშობა

მიტოქონდრიები და ქლოროპლასტები ერთმანეთს ბევრი რამით ჰგავანან. ორივე შემოსაზღვრულია გარეთა მემბრანით, რომელიც მათ ციტოპლაზმისგან გამოყოფს (ქლოროპლასტების გარეგანი მემბრანა ორმაგია). ორივე შეიცავს შიგნითა, რთული აგებულების მემბრანებს. მათ გააჩნიათ საკუთარი დნმ, რნმ და რიბოსომები, ასე რომ, თავიანთი ცილების ნაწილს ისინი თვითონვე ასინთეზებენ. ბოლოს, მიტოქონდრიებიც და ქლოროპლასტებიც თვითონვე მრავლდებიან ორად გაყოფის გზით.

ამ ფაქტების ერთობლიობამ წარმოშვა ხაინტერესო თეორია, რომლის თანახმადაც ქლოროპლასტები და მიტოქონდრიები ევოლუციის პროცესში წარმოიშვნენ თავისუფლად მცხოვრები პროკარიოტული უჯრედებისაგან. ვარაუდობენ, რომ ეს პროკარიოტები ოდესღაც ჩასახლდნენ რომელიღაც სხვა პროკარიოტული უჯრედის შიგნით და ასეთი თანაცხოვრება ორივე პარტნიორისათვის ხელსაყრელი აღმოჩნდა. ევოლუციის პროცესში მასპინძელმა უჯრედმა განიცადა სხვადასხვა ცვლილება და საბოლოოდ ეუკარიოტულ უჯრედად გადაიქცა. ამ თეორიის სასარგებლოდ შემდეგი მონაცემები არსებობს:

1. ზოგიერთ პროკარიოტს დღესაც აქვს ეუკარიოტულ უჯრედში არსებობის უნარი.
2. პლასტიდები და მიტოქონდრიები სიდიდით პროკარიოტული უჯრედების ტოლია.
3. პროკარიოტული უჯრედების მსგავსად, მიტოქონდრიები და პლასტიდები შეიცავენ რგოლური ფორმის დნმ-ს, რომელიც ცილასთან არ არის დაკავშირებული.
4. პლასტიდები და მიტოქონდრიები თვითონ ასინთეზებენ თავიანთი ცილების ნაწილს. მათი რიბოსომები ქიმიური შედგენლობით და ზომებით პროკარიოტების რიბოსომებს ჰგავანან.
5. ზოგიერთი ანტიბიოტიკი იწვევს პროკარიოტების, მიტოქონდრიებისა და პლასტიდების

რიბოსომებზე მიმდინარე ცილის სინთეზის ბლოკირებას მაშინ, როდესაც ეუკარიოტული უჯრედების ციტოპლაზმის რიბოსომებზე მიმდინარე სინთეზი არ ქვეითდება.

6. თუ ეუკარიოტულ უჯრედს მოვაცილებთ მიტოქონდრიებს ან პლასტიდებს, მაშინ მათში ახალი მიტოქონდრიები და პლასტიდები აღარ წარმოიქმნება.

იმ თეორიის მოწინააღმდეგეებს, რომლებით თვლიან, რომ პლასტიდები და მიტოქონდრიები ოდესღაც სხვა პროკარიოტების მიერ შთანთქმული პროკარიოტების შთამომავლები არიან, მოყავთ შემდეგი ფაქტები:

1. მართალია მიტოქონდრიის რიბოსომა მოგვაგონებს პროკარიოტებისას, მაგრამ მისი იდენტური არ არის.

2. ბირთვის ქრომოსომების მსგავსად და პროკარიოტებისგან განსხვავებით, მიტოქონდრიების გენები ხანდახან შეიცავენ დნმ-ის ჩართულ თანმიმდევრობებს (იხ. განყოფილება 15.3).

3. მიტოქონდრიებსა და პლასტიდებს აუცილებლად სჭირდებათ ბირთვულ ქრომოსომებში კოდირებული ცილები. აქედან გამომდინარე, თუ ეს ორგანოიდები ოდესღაც პროკარიოტული უჯრედები იყვნენ, მათი გენების ნაწილი გადაადგილებული უნდა იყოს უჯრედის ბირთვში.

4. ისეთი მემბრანული სტრუქტურები, როგორცაა ბირთვის მემბრანები და გოლჯის აპარატის მემბრანები, არავითარ შემთხვევაში არ შეიძლება ჩაითვალოს ოდესღაც პროკარიოტები უჯრედების მიერ შთანთქმულის შთამომავლობად. უნდა ვივარაუდოთ, რომ ისინი წარმოიქმნენ ადრე არსებული მემბრანების გადაზრდის შედეგად.

5. არაფერია გასაკვირველი იმაში, რომ მიტოქონდრიებისა და პლასტიდების დნმ და რიბოსომები მოგვაგონებენ პროკარიოტების დნმ-ს და რიბოსომებს. ალბათ, პროკარიოტები ეუკარიოტების წინაპრები იყვნენ. უბრალოდ, ევოლუციის პროცესში ციტოპლაზმური რიბოსომები და ბირთვული დნმ უფრო სწრაფად იცვლებოდნენ და ამის გამო თავიანთ პროკარიოტულ წინამორბედებს უფრო მეტად დასცილდნენ, ვიდრე მიტოქონდრიებისა და პლასტიდების დნმ და რიბოსომები.

ამ დავის საბოლოოდ გადაწყვეტა ჯერ შესაძლებელი არ არის. მიტოქონდრიებისა და პლასტიდების თავისუფლად მცხოვრები პროკარიოტებისაგან წარმოშობის მომხრენი კი ვერ მივიდნენ ერთ საერთო აზრამდე იმ საკითხში, თუ როგორ მოხვდნენ ეს პროკარიოტები თავის დროზე პირველ ეუკარიოტულ უჯრედში. ნაწილი თვლის, რომ ისინი ეუკარიოტულ უჯრედში დასახლდნენ, როგორც პარაზიტები. სხვები გამოთქვამენ ვარაუდს, რომ პირველი ეუკარიოტული უჯრედი წარმოიქმნა რამდენიმე პროკარიოტული უჯრედის შერწყმის შედეგად. შეიძლება იმის დაშვებაც, რომ აღნიშნული ორგანოიდები თავის დროზე უჯრედში მოხვდნენ, როგორც საკვები ობიექტები, მაგრამ ისინი მდგრადი აღმოჩნდნენ მომწელებელი ფერმენტების ზემოქმედების მიმართ და მშთანთქმელ უჯრედში გააგრძელეს სიცოცხლე. მაგრამ რაც არ უნდა იყოს, დავა მაინც შედეგიანი აღმოჩნდა: შეიქმნა მრავალი შრომა მიტოქონდრიებისა და პლასტიდების შესახებ და ეუკარიოტულ უჯრედებში შრომის განაწილების“ პრობლემა უფრო სრულად იქნა შესწავლილი.

XI თავი

ფოტოსინთეზი

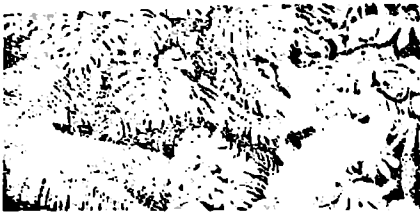
ამ თავის დამუშავების შემდეგ თქვენ უნდა შესძლოთ:

1. ახსნათ რატომ არის მზე ყოველი ცოცხალისათვის ენერჯის პირველწყარო.
2. მოგვითხროთ ATP-ის როლის შესახებ უჯრედის ენერგეტიკულ „მეურნეობაში“.
3. აღწეროთ ან დახატოთ ქლოროპლასტის აგებულება, ფოტოსინთეზის პიგმენტების, ელექტრონების გადამტანის ჯაჭვის, წყალბად იონთა რეზერვუარის და ბოლოს ATP-ის და ნახშირორჟანგის ფიქსაციის განმახორციელებელი ფერმენტების ლოკალიზაცია.
4. დაასახელოთ ფოტოსინთეზის უმთავრესი პიგმენტები.
5. დაასახელოთ სინათლისა და ნახშირბადის ფიქსაციის რეაქციების საწყისი და საბოლოო პროდუქტები.
6. ახსნათ, რატომ გამოიყენება ფოტოსინთეზში წყალი და ნახშირორჟანგი და მიუთითოთ რა არის ფოტოსინთეზის თანაპროდუქტის ე. ი. ჟანგბადის წყარო.
7. ჩამოთვალოთ სინათლის და ნახშირბადის ფიქსაციის რეაქციების ძირითადი ეტაპები.

მოლექულები მუდმივ, უწყესრიგო მოძრაობაში იმყოფებიან. მოძრაობისას ისინი ეჯახებიან ერთმანეთს, გადახტებიან და მიემართებიან სხვადასხვა მიმართულებით. ამიტომ ადრე თუ გვიან სივრცეში განაწილდებიან მეტნაკლებად თანაბრად.

ცოცხალი ორგანიზმები არათუ მისდევენ (ექვემდებარებიან) ამ საერთო მოწყესრიგებლობის გაზრდის ტენდენციას, არამედ მოქმედებენ ამის საპირისპიროდ. ისინი აღიდეგენ მოლექულათა მოწყესრიგებულობას თავის შიგნით. მე-10 თავიდან ვიცით, რომ ცოცხალი ორგანიზმი ინარჩუნებს თავისი ქიმიური შედგენილობის მუდმივობას და თუ ხდება რაღაც გადახრები, ისიც ძალიან ვიწრო ფარგლებში. გარდა ამისა ორგანიზმი მოწყესრიგებულობას აღიდეგს მარტივი მოლექულებიდან უფრო რთულის წარმოქმნის და ზრდის შედეგად. ზრდა იწყებს ნივთიერებათა რაოდენობის გადიდებას, რომელიც გადადის ორგანიზმებულ მდგომარეობაში და იგი ხდება ცოცხალი ციტოპლაზმის ნაწილი. ყველა ამ სასწაულს ორგანიზმები ახდენენ ენერჯის საშუალებით, რომელიც აიძულებს მოლექულებს მათი შემთხვევითი განაწილების ბუნებრივი ტენდენციის საწინააღმდეგოდ იმოქმედონ.

მცენარეები მზის ენერჯიას ითვისებენ და ქიმიური ენერჯის სახით ორგანულ ნივთიერებებში იმარაგებენ (სურ. 11.1). სხვა ორგანიზმები კი ცხოველქმედებისათვის საჭირო ენერჯიას ძირითადად საკვებში არსებული ნივთიერებების დაშლის შედეგად იღებენ.



სურ 11.1. ენერგია ცოცხალ სისტემებში ზედება მცენარეების მიერ საკვები ნივთიერებების სინთეზის შედეგად. მცენარეების ფოთლები იჭერენ მზის სინათლის ენერგიას და ამარაგებენ მას საკვები ნივთიერების მოლეკულებში. შემდეგ მცენარეები ამ ენერგიას სუნთქვის პროცესში იღებენ საკვები ნივთიერებიდან და იყენებენ თავისი სასიცოცხლო მოქმედებისათვის.

11.1. ენერგია და სიცოცხლე

ბუნებაში ენერგიის რამდენიმე სახე არსებობს: სითბური, ელექტრული, სინათლის სხივისა და ქიმიური, რომელიც საკვებ ნივთიერებაში და საწვავშია აკუმულირებული.

თერმოდინამიკის პირველი კანონის მიხედვით ენერგია არც ქრება და არც წარმოიქმნება, არამედ მისი ერთი ფორმა მეორეში გადადის. მაგალითად, ელექტრონათურაში ელექტრო-ენერგია სინათლისა და სითბოს ენერგიაში გადადის. ამ გარდაქმნის დროს ჩვენ ენერგიას ვერ მოვიგებთ, უფრო მეტიც, თერმოდინამიკის მეორე კანონი ამტკიცებს, რომ ენერგიის ერთი ფორმიდან მეორეში გადასვლისას მხოლოდ მისი ნაწილი გადადის სასარგებლო ენერგიაში, ნაწილი კი უსარგებლო სითბოში. სითბოში გადასულ ენერგიას არ შეუძლია სასარგებლო სამუშაოს შესრულება. უსარგებლოდ გაფანტული ენერგიის დამახასიათებელ სიდიდეს ენტროპია უწოდეს. ენერგიის ნებისმიერი გარდაქმნის დროს ენტროპია იზრდება.

თერმოდინამიკის მეორე კანონის მიხედვით ნებისმიერი სამუშაოს შესრულებისათვის საჭიროა ჭარბი ენერგია, რადგან თუ ენერგიის ნაწილი სამუშაოს შესრულებისათვის დაიხარჯება, ნაწილი ენტროპიის გაზრდას გამოიწვევს. მაგალითად, ავტომანქანებში საწვავის დაწვით მიღებული ენერგიის ნაწილი ხმარდება მათ მოძრაობას, სხვა ნაწილი კი რადიატორისა და გამონახობლქვი აირის საშუალებით იფანტება და სასარგებლო სამუშაოს ვერ ასრულებს.

ცოცხალ ორგანიზმში ენერგიას საჭიროებს ნივთიერებათა აქტიური ტრანსპორტი, ცილის ან სხვა ბიომოლეკულის სინთეზი, კუნთის შეკუმშვა, უჯრედის გაყოფა და ა.შ. თერმოდინამიკის კანონების მიხედვით ორგანიზმის ენერგიის ნაწილი ხმარდება აღნიშნულ პროცესებს, ხოლო ნაწილი – ენტროპიის გაზრდას.

ცოცხალი სისტემებისათვის ენერგიის წყაროა საკვები, ე.ი. ორგანული მოლეკულები. მათ ატომებს შორის არსებულ ბმებში აკუმულირებულია ქიმიური ენერგია. ამ ბმების დაშლისას ენერგია თავისუფლდება და დროებით ATP-ის სახით აკუმულირდება. უჯრედი ენერგიას ამ ფორმით იყენებს.

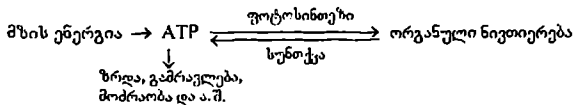
11.2. A T P

ATP სასიცოცხლო პროცესებისათვის აუცილებელი ენერგიის შემცველი ნუკლეოტიდია. ATP-ს დაშლა და მასში აკუმულირებული ენერგიის გამოთავისუფლება ფერმენტების მონაწილეობით ხდება. ამ ენერგიით უჯრედი მოძრაობს, თება, გამოყოფს არასპირო ნივთიერებებს, ახორციელებს აქტიურ ტრანსპორტს, ასინთეზებს ცილის ახალ მოლეკულას და ა.შ.

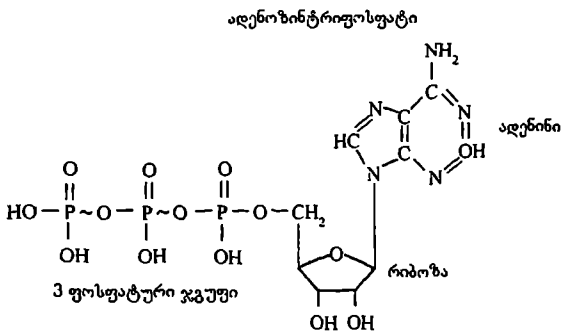
საკეები ნივთიერება ენერგიის მარაგის თავისებურ საწყობს წარმოადგენს, რომელიც საჭიროების შემთხვევაში შეიძლება გარდაიქმნას ATP-ად.

ფოტოსინთეზის მნიშვნელოვანი შუალედური ეტაპია სინათლის სხივის ენერგიის გარდაქმნა ATP-ის სახით დაგროვებულ ენერგიად. ამდენად, ATP მთავარი ენერგეტიკული ორგანული ნივთიერებაა.

ფოტოსინთეზის პროცესში შთანთქმული სინათლის ენერგია საკეები ნივთიერების მოლეკულებში გროვდება, სუნთქვის დროს კი, მათი დაშლისას გამოთავისუფლდება. საბოლოოდ ორივე პროცესის შედეგად გამოყოფილი ენერგია ATP-ს სინთეზს ხმარდება. ეს პროცესი შეიძლება შემდეგი სქემით გამოიხატოს:

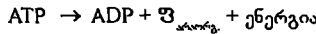


ATP-ს მოლეკულაში ენერგიით მდიდარი ორი ფოსფატური ბმა (სურ. 11.2-ზე ისინი სინუსოიდიტაა გამოხატული). მათი დაშლისას მნიშვნელოვნად მეტი ენერგია გამოთავისუფლდება, ვიდრე ნებისმიერი კოვალენტური ბმის დაშლის დროს.

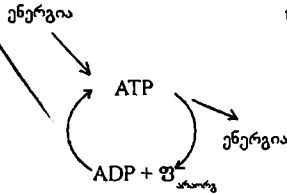


სურ.11.2. ადენოზინტრიფოსფატი (ATP). ATP ნუკლეოტიდია. ის სამ ფოსფატურ ჯგუფს, რიბოზისა და ადენინის ნარჩენებს შეიცავს. სინუსოიდიტ ადნიშნული ორი ბმის დაშლისას დიდი ენერგია გამოიყოფა.

უჯრული, ჩვეულებრივად, იყენებს ATP-ის ბოლო ფოსფატური ჯგუფის მოწყვეტისას გამოყოფილ ენერგიას. ამ რეაქციის შედეგად წარმოიქმნება ADP (ადენოზინდიფოსფატი) და არაორგანული ფოსფატი ($\text{P}_{\text{არარგ}}$).

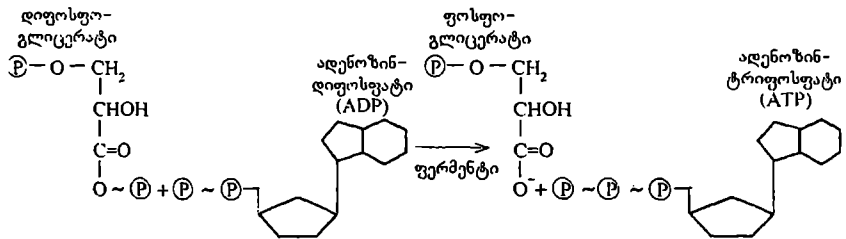


ATP-ს სინთეზისათვის ADP მიიერთებს $\text{P}_{\text{არარგ}}$ -ს. ეს რეაქცია ენერგიას საჭიროებს.



სურ.11.3. ADP-იდან და $\text{P}_{\text{არარგ}}$ -დან ATP-ს სინთეზისათვის საჭიროა ენერგია. შემდგომში, ATP-ს დაშლის შედეგად, ეს ენერგია თავისუფლდება და უჯრულის მიერ სხვადასხვა სამუშაოს შესასრულებლად გამოიყენება. მაგრამ თერმოდინამიკის მეორე კანონის თანახმად, ATP-ს წარმოქმნისათვის უფრო მეტი ენერგია არის საჭირო, ვიდრე თავისუფლდება მისი დაშლის დროს.

უჯრულში ATP-ს სინთეზის ერთ-ერთი გზაა ენერგიით მდიდარი ფოსფატური ჯგუფის გადატანა სხვა, ნებისმიერი მოლეკულიდან ADP-ზე (სურ.11.4).

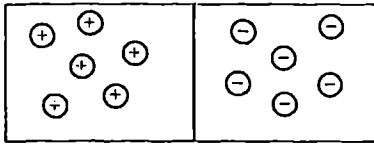


სურ.11.4. ATP-ს წარმოქმნის ერთ-ერთი გზა. ფერმენტს ADP-ზე გადააქვს ფოსფატური ჯგუფი (ფოსფორი გამოსახულია P ასოთი წრეში) რომელიმე სხვა მოლეკულიდან, რის შედეგადაც წარმოიქმნება ATP.

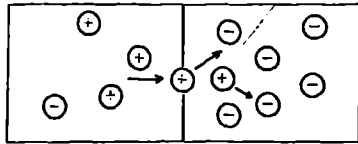
უჯრულში ATP-ს ძირითადი ნაწილი სინთეზირდება ქიმიო-ოსმოსური გზით. ქიმიო-ოსმოსის მიმდინარეობს ქლოროპლასტებში ფოტოსინთეზის დროს და მიტოქონდრიებში უჯრედული სუნთქვის პროცესში. ამ პროცესში ორ ეტაპს გამოიყოფენ:

1. ენერგიის დაგროვება.
2. ენერგიის გამოყენება ATP-ს სინთეზისათვის.

ქიმიო-ოსმოსის პროცესში გამოყენებული ენერგია ელექტროქიმიურია და იონების, ე.ი. ელექტრული მუხტის მქონე ნაწილაკების არსებობაზე დამოკიდებული. საწინააღმდეგო მუხტის მქონე ნაწილაკები ერთმანეთს იზიდავენ და ერთმანეთისაკენ მოძრაობენ. ელექტროქიმიური ენერგია იმ შემთხვევაში დაგროვდება, თუ ეს ნაწილაკები ბარიერით არის განცალკევებული.



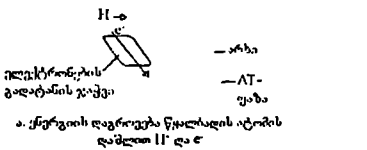
ელექტროქიმიური ენერჯის მარაგის მქონე სისტემა



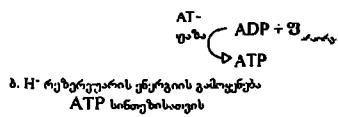
ელექტრული დენი (დამუხტული ნაწილაკების მიმართული მოძრაობა)

ეს ელექტროქიმიური ენერჯია შეასრულებს მუშაობას, თუ ნაწილაკებს ბარიერში გასვლის საშუალება მიეცემა.

ასეთია ქიმიო-ოსმოსის მიმდინარეობის ზოგადი სქემა. მიტოქონდრიებსა და პლასტიდებში ასეთ ბარიერს წარმოადგენს ამ ორგანოიდების შიგნითა მემბრანა. "საწვავის" როლს ასრულებს წყალბადი, რომელიც აქ წარმოდგენილია წყალბადის ატომით (H^+) და ელექტრონით (e^-). მემბრანაში არსებულ მოლეკულებს, რომლებიც შეადგენენ ე. წ. ელექტროტრანსპორტულ ჯაჭვს ელექტრონები გადააქვთ მემბრანის მეორე მხარეს და საშუალებას არ აძლევენ მათ ისევ წყალბადის (H^+) იონს შეუერთდნენ (სურ.11.5).



სურ.11.5. ქიმიო-ოსმოსი ქლოროპლასტებში
 ა) - H^+ -რეზერვუარი, რომელიც გამოიყენება ენერჯის უზრუნველსაყოფად ATP-ის სინთეზის დროს. ასეთ რეზერვუარად შესაძლოა არსებობდეს სურცე შემოჯერებული მემბრანით; რომელიც შეუწყვედი იქნება H^+ იონებისათვის (ნაჩვენებია ნაცრისფერად). ელექტრონები, გამოცალკეებულნი წყალბადის ატომისაგან, გადიან მემბრანას ელექტროტრანსპორტული ჯაჭვის შედეგად, ხოლო H^+ იონები რჩებიან შიგნით. H^+ იონებს შეუძლიათ გარეთ გამოსვლა მხოლოდ იმ არხის საშუალებით, რომელიც დაკავშირებულია ATP-აზასთან, ე. ი. ATP-ის მასინთეზირებულ ფერმენტთან რომელიც მდებარეობს მემბრანის გარეთა ზედაპირზე. ბ) - არხის შემდეგ H^+ იონების ნაკადი ქმნის ენერჯის ნაკადს, რომელიც აუცილებელია ფერმენტისათვის რათა ADP და P_i -დან სინთეზირდეს ATP.



ბ. H^+ რეზერვუარის ენერჯის გამოყენება ATP სინთეზისათვის

ენერჯის რეალური მარაგი განისაზღვრება მემბრანაში მოქცეული მჟავე (H^+) ხსნარის მარაგით, ან " H^+ -რეზერვუარით". მემბრანაში H^+ იონები ვერ გადიან, მაგრამ მემბრანას აქვს არხი, რომელშიც იონებს შეუძლიათ გასვლა. არხთან დაკავშირებულია ATP-ის მასინთეზირებელი ფერმენტები ადენოზინტრიფოსფატაზები (ATP-აზა). იგი ATP-ის სინთეზისათვის საჭირო ენერჯიას იღებს მემბრანის არხში H^+ -ის გაყოფის შედეგად.

მიტოქონდრიებისა და პლასტიდების ძირითადი დანიშნულებაა H^+ რეზერვუარის შევსება, წყალბადის ატომის H^+ -ად და ელექტრონად გაყოფის ხარჯზე. ამ პროცესისთვის საჭირო ენერჯიას ქლოროპლასტი სინათლის სხივისგან, მიტოქონდრია კი საკვების მოლეკულებიდან იღებს (იხ.თ.12).

11.3. ფოტოსინთეზი და სუნთქვა

სიცოცხლე ჩვენს პლანეტაზე ენერგეტიკული თვალსაზრისით მზეზე არის დამოკიდებული. ფოტოსინთეზის პროცესში მზის ენერგია საკვები ნივთიერების ქიმიურ ბმებში გროვდება.

ფოტოსინთეზის საწყისი პროდუქტია ენერგიით ღარიბი არაორგანული მოლეკულები: ნახშირორჟანგი და წყალი, რომელთაგან უფრო რთული, ენერგიით მდიდარი საკვები ნივთიერებები და მოლეკულური ჟანგბადი წარმოიქმნება.

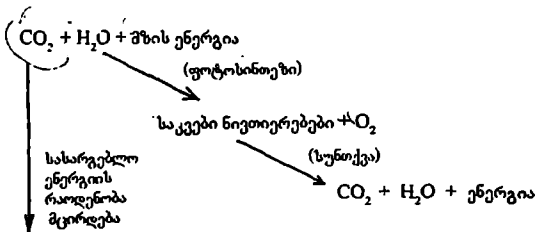
ორგანიზმებს, რომლებიც ფოტოსინთეზს ახორციელებენ, ავტოტროფები („თვით-მკვებავები“) ეწოდებათ, რადგან თვითონი ცხოველქმედებისათვის საჭირო ენერგიას თვითონ იმარაგებენ.

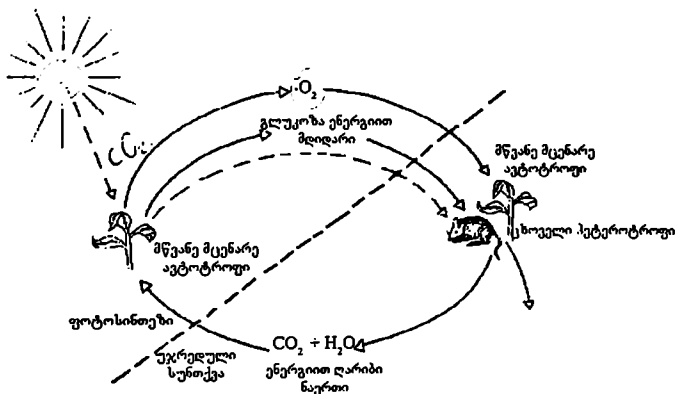
ბუნებაში არსებობს ავტოტროფი ბაქტერიების ჯგუფი, რომელთათვისაც ენერგიის წყარო ქიმიური რეაქციებია (იხ. განყ. 3.1). მათი როლი ორგანულ ნივთიერებათა დაგროვების პროცესში უმნიშვნელოა, რადგან დედამიწაზე დაცემულ მზის უზარმაზარ ენერგიასთან შედარებით ქიმიური ენერგიის რესურსები ძალიან მცირეა.

უჯრედული სუნთქვის პროცესში საკვები ნივთიერება იშლება და აკუმულირებულ ენერგიას ათავისუფლებს, რომელსაც უჯრედი სასიცოცხლო პროცესებისათვის იყენებს. ავტოტროფები სუნთქვის პროცესში იმ საკვებ ნივთიერებას შლიან, რომელიც თვითონვე დასინთეზეს.

ორგანიზმებს, რომელთაც არა აქვთ უნარი თვითონ შექმნან საკვები ნივთიერებები და მას სხვა ორგანიზმებისაგან მიიღებენ, ჰეტეროტროფები (სხვის ხარჯზე მკვებავი) ეწოდებათ (სურ. 11.6).

სუნთქვის პროცესში საკვები ნივთიერების სრული დაშლისათვის აუცილებელია ჟანგბადი. სუნთქვის საბოლოო პროდუქტია ნახშირორჟანგი, წყალი და ენერგია (ორგანიზმებისათვის არანელსაყრელი იქნება, თუ სუნთქვისას უფრო მცირე ენერგია გამოთავისუფლდება, ვიდრე დაგროვდა ფოტოსინთეზის პროცესში). სუნთქვის შედეგად გამოყოფილი საბოლოო პროდუქტები ფოტოსინთეზისათვის საწყისი მასალაა. ამიტომ შეიძლება ითქვას, რომ სუნთქვა ფოტოსინთეზის პროდუქტს მოიხმარს: სუნთქვის პროცესში გამოთავისუფლებული სასარგებლო ენერგია ფოტოსინთეზის პროცესში აკუმულირებულ მზის ენერგიაზე ბევრად მცირეა.





სურ.11.6. ნივთიერებების (შავი ისრები) და ენერჯის (წყვეტილი) ნაკადი ბიოსფეროში. მწვანე მცენარეები იჭერენ შზის სხიურ ენერჯას და იყენებენ მას იმისათვის, რომ წყლიდან და ნახშირორჟანგიდან წარმოქმნას საკვები ნივთიერებები, პირველ რიგში გლუკოზა. ფოტოსინთეზის გვერდითი პროდუქტის სახით გამოიყოფა მოლეკულური ჟანგბადი (O_2). ყველა ორგანიზმი ენერჯის მისაღებად ხლენს ორგანულ ნივთიერებებს უჯრედული სუნთქვის პროცესში. სუნთქვის დროს მოიხმარება O_2 და წარმოიქმნება CO_2 და წყალი, რომლებიც შეიძლება კვლავ იქნან გამოყენებული ფოტოსინთეზისათვის. ნივთიერებას შეუძლია შექმნას ასეთი წრებრუნვა რამდენხანსაც უნდა, ჩაერთოს რა მორიგეობით ხან ფოტოსინთეზში, ხან სუნთქვაში. ენერჯიასთან დაკავშირებით საქმე სხვაგვარადაა: შზმე უნდა განუწყვეტლად მიაწოდოს სულ ახალ-ახალი ენერჯია.

შზის სინათლე ენერჯის დიდ მარაგს შეიცავს, საკვები ნივთიერებები – უფრო ნაკლებს, ხოლო CO_2 , H_2O და O_2 – ძალიან ცოტას.

11.4. პირველი ექსპერიმენტები ფოტოსინთეზის პროცესის შესასწავლად

მე-18 საუკუნის ბოლოს მეცნიერები მივიდნენ იმ აზრამდე, რომ მცენარეები საკვებ ნივთიერებებს წყლიდან და იმ მინერალური ნივთიერებებიდან ქმნიან, რომელიც ნიადაგში არსებობს. ეს მოსაზრება აღმოცენდა პოლანდიელი მეცნიერის იან ბატისტ ვან ჰელმონტის მიერ მე-17 საუკუნეში ჩატარებული ექსპერიმენტის საფუძველზე. მან დარგო ტორფის ხე, რომელიც 2,3 კგ-ს იწონიდა. ნიადაგი 5 წლის განმავლობაში მორწყვის გარდა სხვა არაფრით მდიდრდებოდა. ამის შემდეგ ვან ჰელმონტმა კვლავ აწონა როგორც ნიადაგი, ასევე ხე და აღმოჩნდა რომ ხე იწონიდა 76,9 კგ-ს, მაშინ როდესაც ნიადაგის წონა შემცირდა მხოლოდ 0,06 კგ.

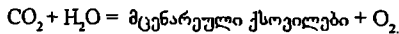
ცდის საფუძველზე ვან ჰელმონტმა გამოავლინა ქიმიური ნაერთებიდან ერთ-ერთი, რომელსაც მცენარე გამოიყენებს იმისათვის, რომ ააგოს თავისი სხეული. ეს ნივთიერება წყალი

აღმოჩნდა. თუმცა თავის მსჯელობაში ის ბოლომდე მართალი არ იყო, რადგან ხის წონა მხოლოდ წყლის ხარჯზე არ გაიზარდებოდა. მაშინ ღიად დარჩა შეკითხვა, კვების რა წყარო შეეძლო გამოეყენებინა მის ხეს?

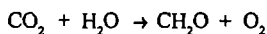
აღნიშნულ კითხვაზე პასუხი 1771 წელს თავისდაუნებურად გასცა ჟოზეფ პრისტლიმ (Joseph Priestly). მან აჩვენა, რომ ცხოველები და მცენარეები გარემომცველი ჰაერის შედგენილობას საწინააღმდეგოდ ცვლიან. ამისათვის მან შემდეგი ცდა ჩაატარა: ის ათავსებდა ანთებულ სანთელს დახურულ ჭურჭელში და რწმუნდებოდა, რომ გარკვეული დროის შემდეგ სანთელი ქრებოდა. შემდეგ თუ იგივე ჭურჭელში რამდენიმე დღის განმავლობაში ცოცხალ მცენარეს დადგამდა, სანთელი ახლიდან იწყებდა ნათებას. პრისტლიმ გააკეთა დასკვნა, რომ „მცენარეში არის რაღაც, რომელსაც შეუძლია ჰაერის გამოსწორება, რომელიც გაფუჭებული იყო სანთლის წითი“. შემდეგ პრისტლიმ დაამტკიცა, რომ ცოცხალი თავი ზუსტად ისევე ცვლის ჰაერს, როგორც ანთებული სანთელი. (სურ. 11.7). პრისტლი ვარაუდობდა, რომ ჰაერი, რომელსაც ის თვლიდა ერთიან ნივთიერებად ერთი ფორმიდან გადადის მეორე ში. ჩვენთვის ახლა კი ცნობილია, რომ ცხოველები და სანთლის ალი შთანთქმავს ჰაერში არსებულ ჟანგბადს, ხოლო მცენარეები, პირიქით, გამოყოფენ O_2 -ს ფოტოსინთეზის დროს.

1872 წელს ჟან სენებიემ (Jean Senebier) აჩვენა, რომ მცენარეები გამოყოფენ რა O_2 -ს ამავე დროს შთანთქმვენ ნახშირორჟანგს. ამ ფაქტმა იგი იმ აზრამდე მიიყვანა, რომ მცენარეში ნივთიერება გარდაიქმნება ნახშირბადად, რომელიც ნახშირორჟანგის შედგენილობაში შედის. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, ვან პელმონტის ცდაში მცენარის კვების წყაროს სწორედ ჰაერში შემავალი გაზი წარმოადგენდა.

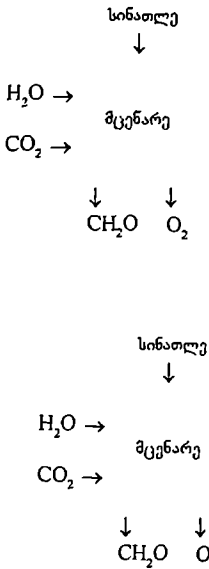
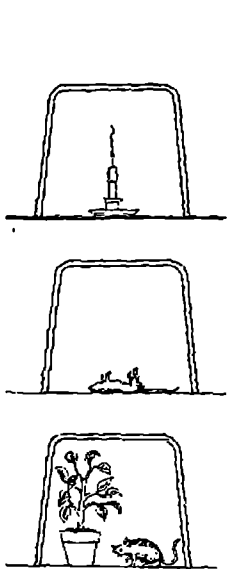
აუსტრიელმა ექიმმა იან ინგენჰაუსმა (Jan Ingenhousz) მარტივი ექსპერიმენტის საფუძველზე ნახა, რომ მცენარე გამოყოფს ჟანგბადს მხოლოდ სინათლეზე. მან ტირიფის ტოტი ჩაღო წყალში და აკვირდებოდა, რომ სინათლის სხივების გავლენით ფოთლებზე წარმოიქმნებოდა O_2 -ის ბუშტუკები. ფოტოსინთეზის ამ გვერდითი პროდუქტის წარმოქმნა იმაზე მეტყველებდა, რომ ფოტოსინთეზი მიდის. თუ ფოთლები სიბინელეში იმყოფებოდნენ ბუშტუბი არ წარმოიქმნებოდა. 1976 წელს ინგენჰაუსმა განსაზღვრა ფოტოსინთეზის ზოგადი ტოლობა



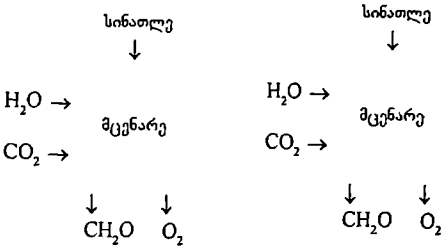
მოგვიანებით, XIX საუკუნეში, მიკროსკოპში განათებული ფოთლების დათვალიერებისას მკვლევრებმა შეამჩნიეს, რომ სახამებლის მარცვლები ფოტოსინთეზის დროს დიდდებოან. ამან მიიყვანა იმ დასკვნამდე, რომ ფოტოსინთეზის უშუალო პროდუქტს წარმოადგენენ ნახშირწყლები. ამრიგად, ფოტოსინთეზის ძირითადი სქემა ზოგადი სახით ასეთია (სურ. 11.8).



რამდენადაც ორი საწყისი ნაერთიდან, რომლებიც მონაწილეობენ ფოტოსინთეზის პროცესში, მხოლოდ ნახშირორჟანგი შეიცავს ნახშირბადს. ნათელი გახდა, რომ ნახშირწყლებსათვის ნახშირბადის წყაროს ჩვეულებრივი ნახშირორჟანგი წარმოადგენს. რაც შეეხება



სურ. 11.8. სქემა, რომელიც ასახავს, თუ რა იყო ცნობილი ფოტოსინთეზის შესახებ XIX საუკუნის ბოლოს. ამ დროისათვის გარკვეული იყო, რომ მცენარე სინათლეზე ასინთეზირებს ნახშირწყლებს (CH_2O), იგი საწყისი ნაერთის სახით გამოიყენებს ნახშირ-ორჟანგს (CO_2) და წყალს (H_2O). ნახშირორჟანგის შთანქმის შესაბამისად გამოიყოფა ჟანგბადი.



ა. მძიმე ჟანგბადი H_2O -ში ბ. მძიმე ჟანგბადი CO_2 -ში

- სურ. 11.7. პრისტლის ცდები.
- ა - სანთელი, რომელიც იწვის დახურულ ჭურჭელში
 - ბ - თავი დაიღუპება, თუ ის ღარჩება დახურულ ჭურჭელში
 - გ - თუ თავიდან ერთად ჭურჭელში მოვათავსებთ მცენარეს, მაშინ თავი არ დაიღუპება

სურ. 11.9. ექსპერიმენტები, რომლებიც ტარდებოდა იმ მიზნით, რომ გარკვეულიყო, რა წარმოადგენს ფოტოსინთეზის დროს გამოყოფილი ჟანგბადის წყაროს - ნახშირორჟანგი თუ წყალი. ჟანგბადის წყაროს გასარკვევად გამოიყენება მძიმე ჟანგბადი .

- ა - თუ მცენარე ღებულობს წყალს, რომელიც შეიცავს მძიმე ჟანგბადს, მაშინ ის აღმოჩნდება გამოყოფილი გაზისებრ ჟანგბადში. ბ - თუ მძიმე ჟანგბადი შედის ნახშირორჟანგში, რომელსაც იღებს მცენარე, მაშინ მისი ნაწილი აღმოჩნდება ნახშირწყლებში, მაგრამ გაზისებრ ჟანგბადში არ იქნება.

ჟანგბადს რომელიც შედის როგორც ნახშირორჟანგის ასევე წყლის შედგენილობაში, აქ სურათი ასეთი ნათელი არ იყო. მხოლოდ 1941 წელს იქნა გამორკვეული, რომ ფოტოსინთეზის დროს გამოყოფილი ჟანგბადი წყლიდან წარმოიქმნება. ამის დასამტკიცებლად, მკვლევარებმა გამოიყენეს „მძიმე ჟანგბადი, ე. ი. ჟანგბადი, რომლის ბირთვში უამრავი ნეიტრონია (იხ. მე-9.1 თავი). თუ მცენარეს აძლევდნენ ჩვეულებრივ ნახშირორჟანგს და წყალს, რომელიც შეიცავდა მძიმე ჟანგბადს, მაშინ ის გამოყოფდა მძიმე O_2 , თუ ელას სხვანაირად წარმართავდნენ, მაგალითად, ჩვეულებრივი წყლით, მაგრამ ნახშირორჟანგით, რომელიც შეიცავდა მძიმე O_2 -ს, მაშინ გამოიყოფოდა ჩვეულებრივი O_2 (სურ. 11.9).

11.5. ფოტოსინთეზის რეაქციის ორი ფაზა

ცნება „ფოტოსინთეზი“ ასახავს მთელ პროცესს, მცენარის მიერ სინათლის ენერჯის შთანთქმიდან ნახშირწყლის წარმოქმნამდე. ამის ქვეშ იმალება რეაქციების გრძელი და რთული თანმიმდევრობა. თითოეული მათგანი შესასწავლია და თითოეულს უნდა მოეძებნოს ადგილი ფოტოსინთეზის საერთო პროცესში.

ჯერ კიდევ 1905 წელს ფ. ბლეკმანმა (F. Blackman) მიუთითა, რომ ფოტოსინთეზში შესაძლებელია გამოიყოს ორი ძირითადი ფაზა. თუ გავანათებთ მცენარეს მზარდი ინტენსივობის სინათლით, მაშინ ფოტოსინთეზის სიჩქარე (რომლის საზომს წარმოადგენს გამოყოფილი O_2 -ის რაოდენობა) განუხრელად მოიმატებს გარკვეულ წერტილამდე, რომლის შემდეგ ეს მომატება ჩერდება. ეს ის წერტილია, რომელშიც მცენარე შთანთქავს იმდენ სინათლეს, რამდენის გამოყენების უნარიც მას გააჩნია. აღმოჩნდა, რომ ფოტოსინთეზი შეიძლება გაძლიერდეს იმის შემდეგაც თუ მოიმატებს I^2 -ა.

აღნიშნულ ფაქტებს ბლეკმანი თვლიდა როგორც მტკიცებას ფოტოსინთეზის რეაქციების ორი ფაზის არსებობისათვის. პირველი მათგანი გამოიწვევა სინათლით; ამიტომაც სუსტი სინათლის ინტენსივობის გაზრდა ფოტოსინთეზს აჩქარებს. სხვა რეაქციები იმის მსგავსი, რომლებზეც ჩვენ უკვე გვქონდა საუბარი მე-9.4 თავში, ჩქარდება ტემპერატურის მომატებით. ბლეკმანმა ივარაუდა რომ პირველი ფაზის რეაქციები ქმნიან რომელიმე ნივთიერებებს, რომლებიც აუცილებელია მეორე ფაზისათვის. ნახევარი საუკუნის შემდეგ მისი ასეთი ვარაუდი დაბტკიცდა. აღმოჩნდა, რომ პირველ ფაზაში სინათლის ენერჯის რეაქციები იხარჯება ATP-ის სინთეზზე და წყლიდან წყალბადის ატომების მოწყვეტაზე. შემდგომ ATP იძლევა ენერჯიას რეაქციების მეორე ფაზისათვის, რომელიც ცნობილია როგორც ნახშირორჟანგის ფიქსაცია. ამ რეაქციებში დაბალენერგეტიკული ნაერთი ნახშირორჟანგი ერთდება მაღალენერგეტიკულ ნაერთში – საკვები ნივთიერებების მოლეკულებში. წყალბადის ატომი აგრეთვე ერთდება საკვები ნივთიერების მოლეკულებში.

იმისათვის, რომ გავიგოთ, როგორ მიმდინარეობს რეაქციების ეს ორი ფაზა და როგორ არიან ისინი ერთმანეთთან დაკავშირებული, ჩვენ გვჭირდება გავეცნოთ ქლოროპლასტის აგებულებას.

11.6. ქლოროპლასტის აგებულება

ბიოლოგიის ძირითადი კანონის მიხედვით სტრუქტურა ყოველთვის შეესაბამება ფუნქციას. ეს კიდევ ერთხელ ნათელი ხდება ქლოროპლასტის სტრუქტურის მიკროსკოპით შესწავლისას.

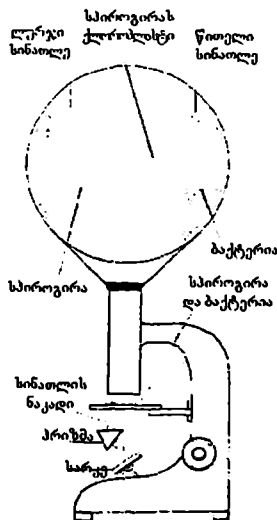
მიკროსკოპში ჩანს, რომ მცენარის მწვანე შეფერილობას ქლოროპლასტი განსაზღვრავს. უჯრედის დანარჩენი ელემენტები უფერულია. ქლოროპლასტის შედგენილობაშია მწვანე პიგმენტი ქლოროფილი. იგი მწვანეა, რადგან შთანთქავს სპექტრის წითელ და ლურჯ არეს და აირეკლავს მწვანე სხივებს, რომელსაც ჩვენი თვალი აღიქვამს.

ქლოროპლასტი ქლოროფილთან ერთად შეიცავს ყვითელ, ნარინჯისფერ, მეწაქულ პიგმენტებს, რომელთაც კაროტინოიდები ეწოდებათ. ისინი ფოტოსინთეზის დაშვარენი არიან, შთანთქვენ სხვა სიგრძის ტალღებს და თავიანთ ენერჯიას გადასცემენ ქლოროფილს. კაროტინოიდების მეშვეობით მცენარე ფოტოსინთეზისათვის წითელ და ლურჯ სპექტრთან ერთად შვანე ნაწილსაც იყენებს.

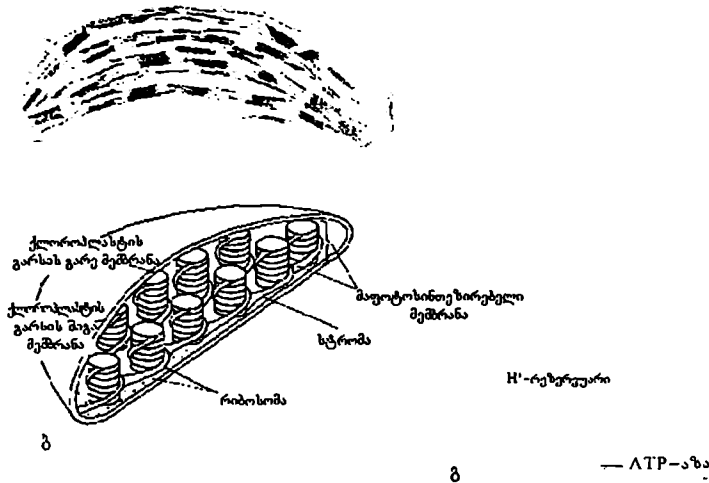
კაროტინოიდები, ჩვეულებრივ, ქლოროფილითაა შენიღბული, მაგრამ შემოდგომაზე ქლოროფილი იშლება, ეს შენიღბული პიგმენტები გამოჩნდება და ფოთლებს წითელ, ყვითელ ან ნარინჯისფერს აძლევს. ლეინისფერს იძლევა უჯრედის მსხვილ ეპიკულუმში მოთავსებული ანტოციანი (განყ.10.6).

ფოტოსინთეზის პიგმენტი და მოლეკულები, რომლებიც ელექტრონების გადატან ჯაჭვს ქმნიან, ჩაშენებულია ქლოროპლასტის მათოტოსინთეზებელ მემბრანაში. ისინი წარმოქმნიან მილაკებისა და ტომსიკების (ტილაკოიდების) სისტემას, რომელიც H^+ -ის რეზერვუარს შეიცავს (სურ.11.11).

ATP-აზური ფერმენტები, რომლებიც ATP-ის სინთეზისათვის გამოიყენებენ H^+ რეზერვუარის ენერჯიას, ლოკალიზებულია მათოტოსინთეზებელი მემბრანის გარეთა ზედაპირზე. მათოტოსინთეზებელი მემბრანები ჩაფლულია ქლოროპლასტის ძირითად ნივთიერებაში - სტრომაში, რომელიც შეიცავს დნმ-ს, რიბოსომებსა და ნახშირბადის ფიქსაციაში მონაწილე ფერმენტებს. სტრომა უჯრედის ციტოპლაზმისაგან გამოყოფილია ორმაგი მემბრანით.



სურ. 11.10. ენგელმანის ცდები, რომლებმაც უჩვენეს სპექტრის რომელი ნაწილება გამოიყენება ფოტოსინთეზისათვის. ნახატის ზედა ნაწილი (მოთავსებული წრეში) წარმო-სახავს სურათს, რომელსაც ენგელმანი მიკროსკოპში აკვირდებოდა. პრიზმა, რომელიც მიმავრებულია მიკრო-სკოპის სარკის ქვეშ შლიდა შხის სინათლას სხივის სპექტრში წითელი, ნარინჯისფერი, ყვითელი, შვანე, ცისფერი, ლურჯი, იისფერი. მიკროსკოპის მაგილაზე მოთავსებული იყო სასაგნე მონა სპიროვირის ძაფით ან ბაქტერიებით, რომლებსაც ესაჭიროებოდათ ჟანგბადი. ბაქტერიები თავს იყრიდნენ სპიროვირის ქლორო-პლასტის იმ უბნებში, რომლებიც ნათლებოდა წითელი ან ლურჯი სინათლით. ამ უბნებში, შესაბამისად, დიდი რაოდენობით არსებობდა ჟანგბადი. მამსალამე, აქ დიდი ინტენსივობით ხორციელდებოდა ფოტოსინთეზი.



სურ. II.11. ქლოროპლასტის აგებულება

ა - თამბაქოს ფოთლის ქლოროპლასტის ელექტრონული მიკროფოტო; ბ - ქლოროპლასტის სამგანზომილებიანი სტრუქტურის სქემა. H^+ იონები (H^+ რეზერუარი) გროვდებიან მაფოტოსინთეზირებელი (ნაჩვენებია ნაცრისფრად) მემბრანის შიგნით. გ - მემბრანის ტილაკოიდი განივ ჭრილში; ნაჩვენებია H^+ რეზერუარის და ATP-აზის ლოკალიზაცია. (A - Herbert W Israel, Cornell University).

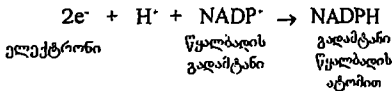
11.7. სინათლით გამოწვეული რეაქციები

ფოტოსინთეზის პირველი ეტაპის რეაქციებში მონაწილეობს მაფოტოსინთეზებელ მემბრანასთან დაკავშირებული მოლეკულები ფოტოსინთეზის პიგმენტები, ელექტრონების გადამტანი ჯაჭვი და ATP-ის სინთეზის ფერმენტები.

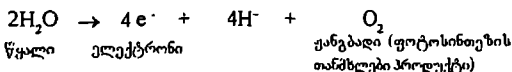
ფოტოსინთეზის პროცესის უნიკალური მომენტია ის, როცა სინათლის ენერგია გამოიყენება საბოლოოდ იმისთვის, რომ ელექტრონები ერთი გადამტანიდან გადავიდეს მეორეზე ელექტროტრანსპორტულ ჯაჭვში. სწორედ ელექტრონების ეს ნაკადი იწვევს სინათლის ენერგიის გარდაქმნას ქიმიურ ენერგიად, რომელიც აკუმულირებულია ATP-ში და წყალბადით დატვირთულ განსაკუთრებულ გადამტანებში. ეს პროცესი დეტალურად ჯერ კიდევ არაა შესწავლილი, მაგრამ მისი ზოგადი წარმოდგენა შესაძლებელია.

ქლოროფილი განსაკუთრებული თვისებებით ხასიათდება: იგი შთანთქავს სინათლის ენერგიას, მის ხარჯზე ერთ ელექტრონს იწვევს და ელექტროგადამტანი ჯაჭვის ერთ-ერთ გადამტანს გადასცემს. საბოლოოდ სხვადასხვა გადამტანებზე არსებული ელექტრონები ჯერ ერთმანეთს უერთდებიან და შემდეგ წყალბადის იონს (H^+), რომელიც წყლის დისოციაციის შედეგად წარმოიქმნება და სტრომაშია მოთავსებული (უჯრედში წყლის მოლეკულის ნაწილი

დისოცირებულია OH^- და H^+ იონებად). ორივე ელექტრონი და წყალბადის იონი უერთდებიან წყალბადის გადამტანს – NADP^- -ს (ნიკოტინამიდინუკლეოტიდფოსფატი), რომელიც აღდგენილ ფორმაში გადადის.

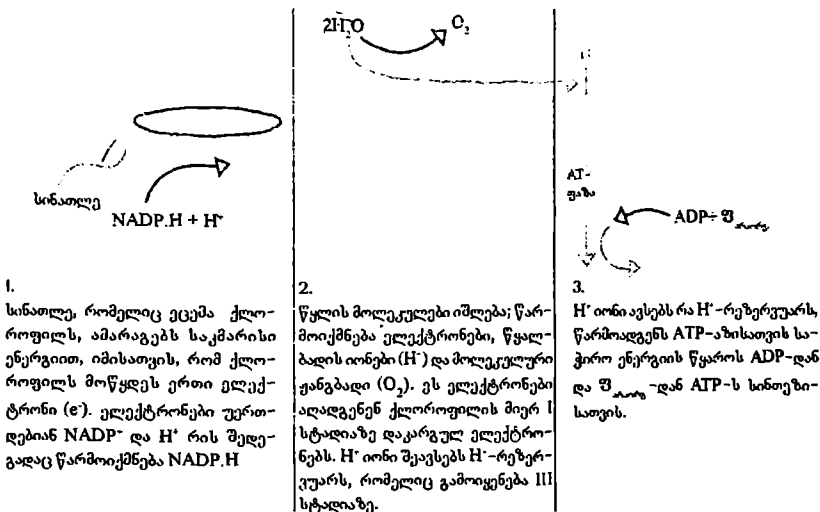


ამდენად, სინათლის ენერგიით გააქტიურებული ელექტრონები მონაწილეობენ წყალბადსა და წყალბადის გადამტანს შორის კავშირის დამყარებაში, ე.ი. NADP^- გადაჰყავთ NADPH ფორმაში. ეს პროცესი მიმდინარეობს მფოტოსინთეზზელი მემბრანების გარეთა ზედაპირზე და NADPH სტრომაში გადადის (სურ.11.12.1). ქლოროფილი დაკარგულ ელექტრონს წყლის ადამის შედეგად შეივსებს.



მფოტოსინთეზზელი მემბრანები

H^+ -რეზერვუარი

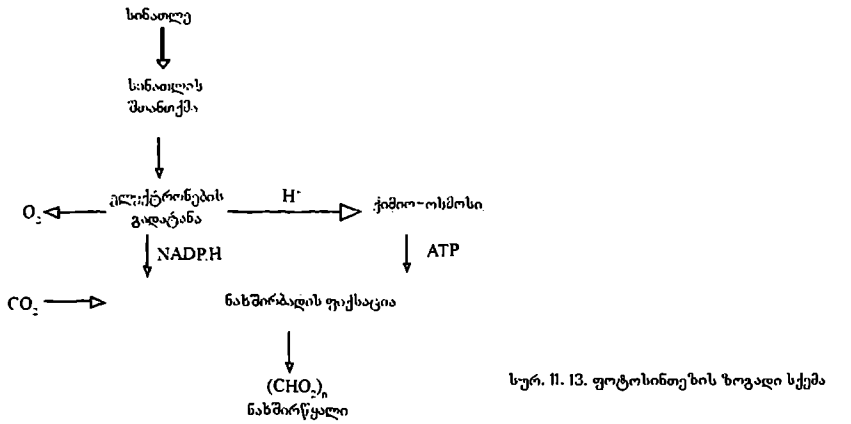


სურ.11.12. სინათლით გამოწვეული ფოტოსინთეზის რეაქციები. გაეცანით სტრომის ლოკალიზაციას, ფოტოსინთეზურ მემბრანას და H^+ რეზერვუარს (სქემის ზედა ნაწილი). განხილული რეაქციები განუწყვეტლები მიმდინარეობენ, როგორც სქემაზეა ნაჩვენები მათი შესწავლა უფრო ადვილად, თუ ისინი დაიყოფიან სამ სტადიად. წაიკითხეთ თითოეული სტადიის აღწერა და დაათვალიერეთ სქემის შესაბამისი ნაწილები მითითებული თანმიმდევრობით მარცხნიდან მარჯვნივ.

წყლის დაშლა ტილაკოიდებში ხდება. წარმოქმნილი ელექტრონები ელექტროტრანსპორტული ჯაჭვით ქლოროფილის მოლეკულებს გადაეცემა, რომლებმაც დაკარგეს თავისი ელექტრონები. H^+ იონები ტილაკოიდში რჩება და H^+ რეზერვუარს შეავსებს (სურ.11.12.2), რომლის ენერჯის ხარჯზე ATP სინთეზდება. H^+ იონები მემბრანის ფორებში გადის და გარეთა ზედაპირზე ლოკალიზდება, სადაც ფერმენტები ADP-იდან და შარარგ.-დან ATP-ს ასინთეზებენ. ATP სტრომაში გადადის (სურ.11.12.3). ყანგბადი, ფოტოსინთეზის თანმხლები პროდუქტი, გამოთავისუფლდება წყლის დაშლის შედეგად. გამოთავისუფლებული ყანგბადის ნაწილს მცენარეები სუნთქვისათვის იყენებენ, დანარჩენი კი ატმოსფეროში დიფუნდირებს.

11.8. ნახშირბადის ფიქსაცია

წინა თავებში განხილული რეაქციები ქლოროპლასტის სტრომას NADP-ით და ATP-ით ამარაგებენ. ეს ნაერთები აუცილებელია ნახშირწყლების ფორმით ნახშირორყანგის ფიქსაციისათვის (სურ.11.13 და ცხრილი 11.1).

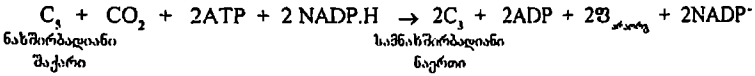


სურ. 11. 13. ფოტოსინთეზის ზოგადი სქემა

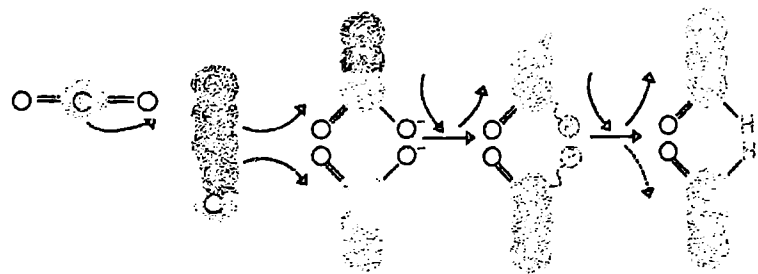
ცხრილი 11.1. ფოტოსინთეზის თანმიმდევრული სტადიები (უმეტეს შემთხვევაში ერთი რეაქციის საბოლოო პროდუქტი გამოიყენება მეორე რეაქციის საწყის ნივთიერებად და პირიქით):

რეაქციები	საწყისი ნივთიერება	საბოლოო ნივთიერება
სინათლით გამოწვეული რეაქციები	სინათლის ენერჯია } ქლოროფილი	ელექტრონები
	ელექტრონები } NADP + H ⁺	
	H ₂ O	{ O ₂ H ⁺ რეზერვუარი
	H ⁺ რეზერვუარი } ADP + შარარგ.	
	ნახშირბადის ფიქსაცია	ზუთნახშირბადიანი შაქარი } CO ₂
ATP NADP.H		ATP + შარარგ. NADP ⁺

ნახშირბადის ფიქსაციის სტადიები შეიძლება გაეარჩიოთ II.14 სურათზე. პირველ ეტაპზე ნახშირორჟანგი უერთდება ხუთნახშირბადიან შაქარს და წარმოქმნის ექვსნახშირბადიან სტრუქტურას, რომელიც არამდგრადია და მაშინვე იშლება ორ იდენტურ სამნახშირბადიან მოლეკულად. თითოეული იერთებს ფოსფატურ ჯგუფს ATP-დან. ამ რეაქციამდე ისინი შეიცავდნენ თითო ფოსფატურ ჯგუფს, ამიტომ ახალი ფოსფატური ჯგუფის შეერთება ენერჯის შთანქმით მიმდინარეობს და წარმოქმნილი მოლეკულა ენერჯით მდიდარი იქნება. პროცესი მთავრდება ახალწარმოქმნილი ენერჯეტიკული ფოსფატური ბმების დაშლით, რომლის დროსაც თავისუფლდება იქაკუმულირებული ენერჯია. ყოველი მოლეკულა NADP.H-იდან იერთებს თითო ატომ წყალბადს. ამ რეაქციის ჯამური ტოლობა ასეთია:



ქლოროპლასტში მიმდინარე რეაქციებში ერთდროულად რამდენიმე ერთბაიური მოლეკულა მონაწილეობს. გარკვეულ ეტაპზე შესაძლებელია სამნახშირბადიანმა მოლეკულებმა განსხვავებული გარდაქმნა განიცადონ: მათი ნაწილი უერთდება ერთმანეთს და ექვსნახშირბადიან შაქარს (გლუკოზას) წარმოქმნის. შემდგომში მისგან საქაროზა, ცელულოზა და სხვ.



ნახშირორჟანგი უერთდება ხუთნახშირბადიან შაქარს

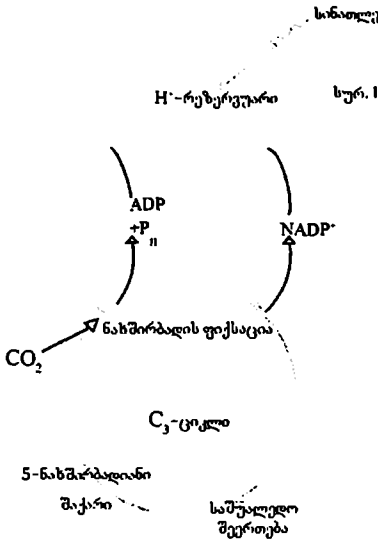
წარმოქმნილი ექვსნახშირბადიანი ნაერთი არასტაბილურია და იშლება ორ იდენტურ სამნახშირბადიან მოლეკულად (სქემაზე ურთიერთსაწინააღმდეგოდ არიან ორიენტირებული)

ამ მოლეკულების შეერთება ხდება ერთი ფოსფატური ჯგუფით ATP-ს ენერჯის გამოყენებით

თითოეულ მოლეკულას უერთდება წყალბადის ერთი ატომი NADP.H-დან იმ ენერჯის ხარჯზე, რომელიც გამოთავისუფლდება მალაქენერ-გეტციკული ფოსფატური კამბრების გახლეჩის შედეგად.

სურ. II. 14. ნახშირბადის ფიქსაცია – ნახშირორჟანგის ჩართვა ნახშირწყლების მოლეკულაში.

სამნახშირბადიანი მოლეკულების მეორე ნაწილი აზოტის შემცველ ჯგუფს იერთებს და ამინომჟავების სინთეზისათვის გამოიყენება. მესამე ნაწილი ერთდება რეაქციების გრძელ ჯაჭვში და ხუთი სამნახშირბადიანი მოლეკულიდან სამი ხუთნახშირბადიანი შაქარი მიიღება. ამ ხუთნახშირბადიან შაქარს შეუძლია კიდევ მიიერთოს ნახშირორჟანგი, ე.ი. გაზარდოს მცენარეებში ფიქსირებული ნახშირბადის რაოდენობა.



სურ. II.15. ფოტოსინთეზის სქემა. ნაცროსფერი ისრებით ნაჩვენებია ენერჯის გარდაქმნის გზა სინთოლის ენერჯიდან შუალედური პროდუქტების მეშვეობით (H₂AO.H და ATP) ნაერთებად, რომლებშიც ენერჯია მარაგდება უფრო ხანგრძლივი დროით - შაქრებად, სახამსებლად, ცხიმებად და ა. შ. ამასთან ერთად გამოიყენება ATP და H₂AO.H, რომლებიც სინთეზირდებიან მაფოტოსინთეზირებელ მემბრანაზე (ნაჩვენებია ნაცროსფერით). ნახშირწყლების პროდუქტების ფიქსაციის ნაწილი გამოიყენება შაქრების, უჯრულის და ა. შ. მაშინ როცა მისი სხვა ნაწილი მთელი რიგი შუამდებარე ნაერთების გავლის შემდეგ კვლავ გარდაიქმნება ზუთნახშირბადიან შაქრის მოლეკულად, რომელიც აუცილებელია CO₂-ს ფიქსაციისათვის.

ნახშირბადის ფიქსაცია ციკლურ პროცესს წარმოადგენს, ვინაიდან სამნახშირბადიანი მოლეკულების ნაწილისაგან კვლავ წარმოიქმნება საწყისი ზუთნახშირბადიანი ნაერთი. ექვსნახშირბადიანი გლუკოზის მოლეკულის ან მისი ექვივალენტის სინთეზისათვის ციკლი ექვსჯერ უნდა განმეორდეს და ფიქსირებული ნახშირბადის მარაგს ნახშირორჟანგიდან ყოველთვის ერთი მოლეკულა ნახშირბადი ემატება.

აღსანიშნავია, რომ ნახშირბადის ფიქსაციის პროცესში გათავისუფლებული ADP, შარარგ და NADP⁺ ბრუნდებიან მაფოტოსინთეზებელი მემბრანის გარეთა ზედაპირზე, სადაც ისევ ATP-ად და NADP.H-ად გარდაიქმნებიან. დღისით, სანამ მზე ანათებს, ისინი ქლოროპლასტების მემბრანებში აქტიურად მოძრაობენ და უზრუნველყოფენ ორი, დამოუკიდებელი ტიპის რეაქციის შეერთებას. ქლოროპლასტებში ამ მოლეკულების რაოდენობა დიდი არ არის. ამიტომ დღისით წარმოქმნილი ATP მზის ჩასვლის შემდეგ სწრაფად იხარჯება და ფოტოსინთეზი შეწყდება. მზის ამოსვლის შემდეგ განახლებება ATP-სა და NADP⁺-ის სინთეზი და ისევ ნახშირბადის ფიქსაცია იწყება.

11.9. ფოტოსინთეზის პირველი პროდუქტის შემდგომი გარდაქმნა

მცენარეები მათთვის საჭირო ორგანულ ნივთიერებას გარემოდან შეთვისებული არაორგანული ნივთიერებებისაგან ქმნიან. CO₂-ს ისინი ჰაერიდან ითვისებენ, წყალს და მინერალურ ნივთიერებებს - ძირითადად ნიადაგიდან ფესვების საშუალებით. ასე შთანთქმება ნიტრატები, ფოსფატები, სულფატები. ამ ნივთიერებებს კულტურული მცენარეები სასუქებიდანაც იღებენ დამატებითი კვების დროს. მცენარის მინერალური საკვების ზოგიერთი ელემენტი კოფაქტორია და ფერმენტების გააქტიურებას იწვევს, ზოგი კი ცილის, ქლოროფილის, ჰორმონების და სხვათა შედგენილობაში შედის.

ნახშირწყლები მცენარისათვის საჭირო ყველა ორგანული ნივთიერების მონომერებია. მათგან სინთეზირდება უჯრედის კედლის ცელულოზა, პოლისაქარიდი სახამებელი, რომლის სახითაც ქიმიური პროცესებისათვის საჭირო ენერგია მარაგდება. შაქრებისაგან სინთეზირდება ცხიმი. ფესვებით შეთვისებულ ნიტრატსა და სულფატს მცენარე ამინომჟავების სინთეზისათვის იყენებს, რაც ფერმენტების წარმოქმნისათვის აუცილებელია.

XI თავის მოკლე შინაარსი

ცოცხალ ორგანიზმებს ენერგია ქიმიური შედგენილობის შენარჩუნების, ზღაპიანების ლიკვიდაციის, ჰრდისა და ჯამრავლებისათვის სჭირდებათ. ყველა ცოცხალ ორგანიზმში ენერგეტიკული პროცესების უზურნველყოფა პირდაპირ ან არაპირდაპირ მზის ენერგიაზე არის დამოკიდებული.

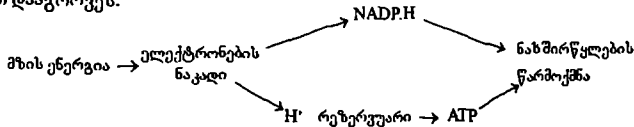
ცოცხალი სისტემებისათვის ენერგიის უშუალო წყაროს ATP წარმოადგენს. ATP-ის თითქმის ყველა მოლეკულა სინთეზირდება ფერმენტების მონაწილეობით მეფარანაში ჩართული H^+ რეზერვუარის ენერგის ხარჯზე, ADP-ს ფოსფორილირების გზით.

ფოტოსინთეზი რეაქციათა ორ ტიპს მოიცავს:

1. მზის სხივის ენერგია გამოიყენება ქლოროპლასტის მათოტომასინთეზებელ მეფარანაზე რეაქციების წარმართვისათვის. მას ელექტრონები მაღალ ენერგეტიკულ დონეზე გადაჰყავს და მეფარანების ელექტრონტრანსპორტულ ჯაჭვში ელექტრონების ნაკადის ინდუცირებას ახდენს. წყალბადის გადამტანი $NADP^+$ იერთებს ელექტრონებს (სტრომიდან კი H^+ იონებს) და $NADP.H$ -ად გადაიქცევა. წყლის დაშლა ელექტრონების ნაკადით ხდება (რის ხარჯზეც ქლოროფილი დაკარგულ ელექტრონს აღიდგენს). H^+ - რეზერვუარში H^+ იონები გროვდება. H^+ რეზერვუარი ATP-ის სინთეზისათვის საჭირო ენერგიით ამარაგებს ATP-აზას და ამ დროს გამოიყოფა უანგბადი, როგორც ფოტოსინთეზის თანმხლები პროდუქტი.

2. ნახშირბადის ფიქსაციის რეაქციებში ATP-ის ენერგია და $NADP.H$ -იდან გამოყოფილი წყალბადი გამოიყენება ნახშირორჟანგის ჩასართავად ნახშირწყლის მილეკულაში. ფოტოსინთეზის პროცესში ენერგიის ნაკადი შეიძლება ასე წარმოვიდგინოთ:

საბოლოოდ შეიძლება ითქვას, რომ ფოტოსინთეზის უნარის მქონე მცენარე ითვისებს სინათლის ენერგიას და აგროვებს მას ქიმიური ბმების სახით, რომელთა შენახვა განუსაზღვრელად დიდი ხნით შეიძლება. ნათი და ქვანახშირი, რომელსაც დღეს ვიყენებთ, "მზის სხივის ნამარზ" ენერგიას შეიცავენ, რომელიც ფოტოსინთეტიკოსებმა ასეული მილიონობით წლის წინათ დააგროვეს.



შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა

- პრისტლიმ შეამჩნია, რომ თავი არ კედება ჭურჭელში, რომელშიც მწვანე მცენარეა მოთავსებული. კიდევ რა ფაქტორია აუცილებელი თავის სიცოცხლისათვის?
 - ქლოროფილი
 - მზის სხივი
 - წყალბადის იონი
 - ქიმიური ნაერთი, რომელიც დაშლისას CO_2 -ს გამოიყოფს
- $NADP.H$

2. ენგელმანმა საბროვირაზე ჩატარებული ექსპერიმენტით გვიჩვენა, რომ:
- მტენარე ფოტოსინთეზისათვის იყენებს მზის მთელ სპექტრს.
 - ეფექტურია მხოლოდ სპექტრის წითელი არის ტალღა.
 - ეფექტურია მხოლოდ სპექტრის ლურჯის არის ტალღა.
 - ეფექტურია მხოლოდ სპექტრის მწვანე არის ტალღა.
 - ეფექტურია სპექტრის წითელი და ლურჯი არეების ტალღა.
3. უჯრედის რომელ კომპარტმენტშია (მარჯვნივ არის ჩამოთვლილი) ლოკალიზებული მარცხნივ აღნიშნული პროცესები ან ნივთიერებები?
- | | |
|---|----------------------------------|
| 1. ქლოროფილი. | ა) სტრომა. |
| 2. ფერმენტები, რომლებიც აკატალიზებენ ნახშირბადის ფიქსაციას. | ბ) ფოტომასინთეზებელი მემბრანები. |
| 3. ATP-ის სინთეზი. | გ) ტილაკოიდის შიგა სივრცე |
| 4. H^+ – რეზერვუარი. | |
4. დაასახელეთ რა როლს ასრულებს (მარჯვნივ მითითებულიდან) თითოეული ქვემოთ ჩამოთვლილი ნივთიერება (მოიტანეთ ყველა შესაძლო სწორი პასუხი).
- | | |
|----------------------------|---|
| 1. ხუთნახშირბადიანი შაქარი | ა) სინათლით გამოწვეული რეაქციების საწყისი ნაერთი. |
| 2. NADP.H | |
| 3. ნახშირწყალი | |
| 4. O_2 . | ბ) სინათლით გამოწვეული რეაქციების საბოლოო პროდუქტი. |
| 5. CO_2 . | გ) ნახშირბადის ფიქსაციის საწყისი პროდუქტი. |
| 6. $ADP + \text{ფოსფორი}$ | დ) ნახშირბადის ფიქსაციის საბოლოო პროდუქტი |
5. მიუთითეთ ქვემოთ ჩამოთვლილი ნივთიერებებიდან რომლებიც წარმოიქმნენ სინათლით გამოწვეული რეაქციის შედეგად რომელია აუცილებელი ნახშირბადის ფიქსაციისათვის?
- CO_2 და H_2O .
 - ATP და NADP.H.
 - ATP და H_2O .
 - O_2 და NADP.H.
6. ფოტოსინთეზის პროცესში ATP-ს სინთეზისათვის ენერჯის წყაროა:
- NADP.H.
 - ADP.
 - წყალი.
 - H^+ – იონი, ჩართული მემბრანებით შემოსაზღვრულ კომპარტმენტში.
 - ქლოროფილის აგზნებული ელექტრონები.

კითხვები განსილვისათვის

- რატომია, რომ ფოტოსინთეზის დროს ორგანულ ნაერთში გროვდება ფოთოლზე დაცემული მზის სხივის ენერჯის დაახლოებით 1%? რა ემართება დანარჩენ ენერჯიას?
- თუ ქლოროფილს დავამუშავებთ რომელიმე დეტერჯენტით, რომელიც იონებისათვის მემბრანის განვლადობას ზრდის, მაშინ ქლოროფილი წყვეტს ATP-ის სინთეზს. ახსენით ამ მოვლენის მიზეზი.

XII თავი

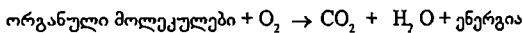
უჯრედის სუნთქვა

ამ თავის დამუშავების შემდეგ თქვენ უნდა შესძლოთ:

1. ჩამოთვალეთ გლიკოლიზის, ლიმონმჟავას ციკლის და ელექტრონების გადატანის საწყისი ნაერთები და მთავარი საბოლოო პროდუქტები.
2. აღწერეთ მოკლედ უჯრედის სუნთქვის სქემა, სადაც ნათელი იქნება, თუ რა როლს თამაშობს მასში ზემოთ ხსენებული სამი პროცესი.
3. ახსნათ, თუ რატომ საჭიროებს ჟანგბადს ორგანიზმა უმრავლესობა და როგორ წარმოიქმნება უჯრედის სუნთქვის თანაპროდუქტები – წყალი და ნახშირორჟანგი.
4. მიუთითოთ ეუკარიოტულ და პროკარიოტულ უჯრედებში გლიკოლიზის, ლიმონმჟავას ციკლის და ელექტრონების გადატანის ლოკალიზაცია.
5. მიუთითოთ განსხვავებაზე და მსგავსებაზე ორ პროცესს შორის: საფუარით გამოწვეული სპირტული დუღილი და კუნთოვან ქსოვილში რძემჟავას წარმოქმნა.
6. შეადარეთ სუნთქვა და დუღილი ATP-ის წარმოქმნის რაოდენობის მიხედვით.
7. ახსნათ, რატომ იწვევს სიმსუქნეს ჭარბი საკვების მიღება.

მე-11 თავში ნაჩვენებია იყო, რომ უჯრედს განუწყვეტლივ ესაჭიროება ენერგია ცილის სინთეზისათვის, ნივთიერებების აქტიური ტრანსპორტისთვის, კუნთის შეკუმშვისთვის, უჯრედის სუნთქვისთვის და ა.შ. უფრო ხშირად ამ ენერგიის წყარო არის ATP – ენერგიით მდიდარი შენაერთი (ადენოზინტრიფოსფატი). ATP-ს ყველა ორგანიზმი წარმოქმნის. ორგანული ნივთიერებების დაშლისას თავისუფლდება ენერგია, რომელსაც ეს ნივთიერებები შეიცავენ. ამ ენერგიის ხარჯზე მიმდინარეობს არაორგანული ფოსფატის (Pi) ADP-თან შეერთება, ე.ი. წარმოიქმნება ATP.

უჯრედული სუნთქვის დროს, რომელშიც გამოიყენება მოლეკულური ჟანგბადი (O_2) (მრავალი ბაქტერია სუნთქვისთვის იყენებს არა ჟანგბადს, არამედ სხვა არაორგანულ ნივთიერებებს), საკვები ნივთიერებები იშლება და თავისუფლდება ენერგია. სუნთქვის საწყისი პროდუქტებია ენერგიით მდიდარი ორგანული მოლეკულები და ჟანგბადი, ხოლო თანაპროდუქტები – ნახშირორჟანგი და წყალი – ენერგიით ღარიბი შენაერთები. სუნთქვის პროცესის ჯამურ განტოლებას ასეთი სახე აქვს:



ზუსტად ასეთივე განტოლებით აისახება წვის პროცესი. წვის დროს ორგანული ნივთიერებების დაშლაზე (მაგალითად, ხის ან ქვანახშირის) იზარეობა ჟანგბადი და საბოლოო პროდუქტები ასევე ნახშირორჟანგი და წყალია. გარდა ამისა, წვის დროს თავისუფლდება დიდი

რაოდენობით ენერგია სითბოს და სინათლის სახით. წვის დროს ენერგია თავისუფლდება ერთბაშად, სუნთქვისას კი ეტაპურად. ამიტომ უჯრედი ასწრებს ამ ენერგიის შენახვას ATP-ის სახით.

ზოგიერთი უჯრედი ისეთ პირობებში იმყოფება, სადაც ყანგბადი არაა ან ცოტაა. ასეთი უჯრედები ATP-ს დუღილის გზით ასინთეზებენ, ე.ი. საკვები ნივთიერებების ისეთი დაშლით, რომლის საბოლოო პროდუქტები ორგანული ნივთიერებებია.

ამ თავში გავეცნობით, თუ როგორ მიდის გლუკოზის სრული დაშლა უჯრედის სუნთქვის დროს. ამის შემდეგ გავეცნობით დუღილის ორ სახეს და ბოლოს გავიგებთ, თუ როგორ იყენებენ ორგანიზმები სუნთქვისათვის გლუკოზის ნაცვლად სხვა სუბსტრატებს და როგორაა დაკავშირებული სუნთქვა უჯრედის სხვა ბიოქიმიურ პროცესებთან.

12.1. ზოგადი მონაცემები სუნთქვაზე

სუნთქვის პროცესის შესწავლას დავიწყებთ ექვსნახშირბადიანი შაქრის – გლუკოზის მოლეკულიდან. სუნთქვისას გლუკოზა იშლება და მის ქიმიურ ბმებში არსებული ენერგია ATP-ის სინთეზისათვის გამოიყენება.

ATP-ის დიდი ნაწილი სუნთქვის დროს სინთეზირდება წყალბად-იონების რეზერვის ენერგიით (H რეზერვუარი) (იხ. თ. II.2), H⁺ იონის წყაროდ ითვლება წყალბადის ატომი, რომელიც გამოთავისუფლდება საკვები ნივთიერებების დაშლისას სხვადასხვა ეტაპზე.

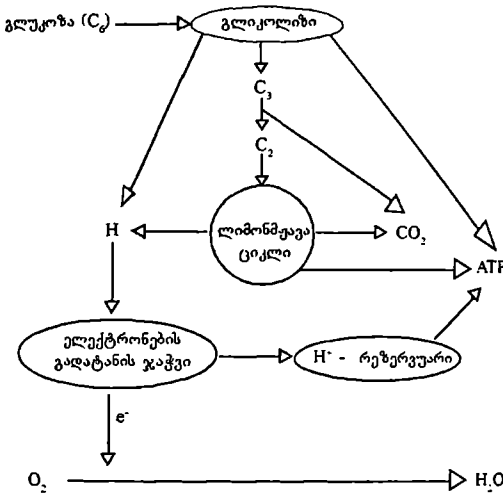
სუნთქვისა და დუღილის რეაქციები კატალიზდება ფერმენტებით. მრავალ ფერმენტს სუბსტრატის (ე.ი. რეაქტივის საწყისი პროდუქტის) გარდა ესაჭიროება განსაკუთრებული მოლეკულები – ე.წ. კოფერმენტები. კოფერმენტები ძირითადად საკვებში არსებული ვიტამინებიდან სინთეზირდება. კოფერმენტებს გადამტანებს უწოდებენ, რადგან მათ ატომები ან ატომთა ჯგუფები ერთი რეაქტივიდან მეორეში გადააქვთ. კოფერმენტების “სიცოცხლის ხანგრძლივობა” დიდია და მათი დიდხანს გამოყენება შეიძლება. ამიტომ, რომ ორგანიზმს ისინი ძალიან მცირე დროს იტანს ესაჭიროება. ამავე მიზეზით ჩვენს ორგანიზმს ვიტამინების უმნიშვნელო რაოდენობა სჭირდება.

ამ თავში აღწერილი სუნთქვის პროცესი დამახასიათებელია ეუკარიოტებისათვის და მრავალი პროკარიოტისათვის (ბაქტერიები).

უჯრედის სუნთქვის მთელი პროცესი შეიძლება დავყოთ სამ ძირითად თანმიმდევრულ რეაქციად.

1. გლიკოლიზი

გლიკოლიზის დროს ექვსნახშირბადიანი გლუკოზის მოლეკულა (C₆) ორ მოლეკულა სამნახშირბადიან ნაერთად – (C₃) – პირუეტად იშლება. ამ დროს გამოიყოფა ATP და წყალბად-ატომები (სურ. 12.1). წყალბად-ატომები უერთდება კოფერმენტს, რომელიც წყალბადის გადამტანს წარმოადგენს, კერძოდ – NAD-ს (ნიკოტინამიდადენინდინუკლეოტიდს). ამის შედეგად ის გადადის აღდგენილ ფორმაში NAD.H (NAD ძალიან ჰგავს NADP-ს – ფოტოსინთეზის დროს წყალბადის გადამტან კოფერმენტს) (თავი II.7 და II.8).



სურ. 12.1. გლუკოზის დაშლა სუნთქვის პროცესში. ამითვის აუცილებელი ნივთიერებები გლუკოზა და ყანგბადი ნაჩვენებია მუქ ფონზე. საბოლოო პროდუქტები მოცემულია მუქ ჩარჩოებში. წრეებში აღნიშნულია გლიკოლიზის, ლიმონმჟავა ციკლის და ელექტრონების გადატანის ჯაჭვის დამაკავშირებელი შუალედელი პროდუქტები. გლიკოლიზი და ლიმონმჟავას ციკლი გამოიმუშავებს ATP-ის რაღაც რაოდენობას, აგრეთვე აგზავნის წყალბადს ელექტრონების გადატანის ჯაჭვში, რომელიც შეაფხვებს H⁺ - რეზერვუარს და ATP-ის სინთეზის ღიღ ნაწილს ენერჯითი უზრუნველყოფს.

2. ლიმონმჟავას ციკლი

ლიმონმჟავას ციკლში პირუცატიდან გამოყოფილი ორნახშირბადიანი ჯგუფები შემდგომში ნახშირორჟანგად იშლება. ეს ციკლი იძლევა ATP-ის დამატებით რაოდენობას და წყალბადის გამატანებს - ძირითადად NAD.H-ს და ასევე FAD.H₂ -ს (ასე აღინიშნება წყალბადის გამატანი კოფერმენტი, კერძოდ ფლავინადენინდინუკლეოტილის - FAD-ის - ალდგენილი ფორმა).

3. ელექტრონების გადატანის ჯაჭვი

ადრე წარმოქმნილი NAD.H და FAD.H₂ თავის წყალბად-ატომებს გადასცემენ იმ ჯაჭვის გამატანებს, რომელიც წყალბად-ატომს ელექტრონებად და წყალბად-იონებად ყოფს და წყალბად-იონები H⁺ რეზერვუარში გადააქვს. H⁺ რეზერვუარი იძლევა ენერჯიას ATP-ის სინთეზისათვის. ელექტრონები, რომლებიც ტოვებენ ელექტრონსატრანსპორტო ჯაჭვს, უერთდებიან ყანგბადს და წყალბად-იონებს, რის შედეგადაც წარმოიქმნება წყალი.

12.2. გლიკოლიზი

გლიკოლიზი არის სუნთქვის და დუღილის დროს მიმდინარე რეაქციების თანმიმდევრობა. გლიკოლიზის დროს ATP-ის მცირე რაოდენობა სინთეზირდება. ბაქტერიების, სოკოების და

წერილი უხერხემლოების ბევრ სახეობას შეუძლია გლიკოლიზის დროს გამოუმუშავეული ATP-ის ამ მცირე რაოდენობით არსებობა. მაგრამ ამ სახეობების უმრავლესობას, ისევე როგორც ყველა ე.წ. უმაღლეს ორგანიზმს, გლიკოლიზის გარდა ლიმონმჟავას და ელექტრონების გადატანის ციკლი გააჩნიათ, რომელიც უჯრედს ATP-ის გაცილებით ბევრ რაოდენობას აწვდის. ამ ორი უკანასკნელი თანმიმდევრული რეაქციისათვის აუცილებელია ჟანგბადი.

იმ ორგანიზმებში, სადაც არის ლიმონმჟავას და ელექტრონების გადატანის ციკლი, გლიკოლიზის ძირითადი დანიშნულებაა ლიმონმჟავას ციკლისათვის პირუეატის გამოუმუშაება. ჟანგბადის არარსებობისას ATP-ის ერთადერთ წყაროდ გლიკოლიზი ითვლება.

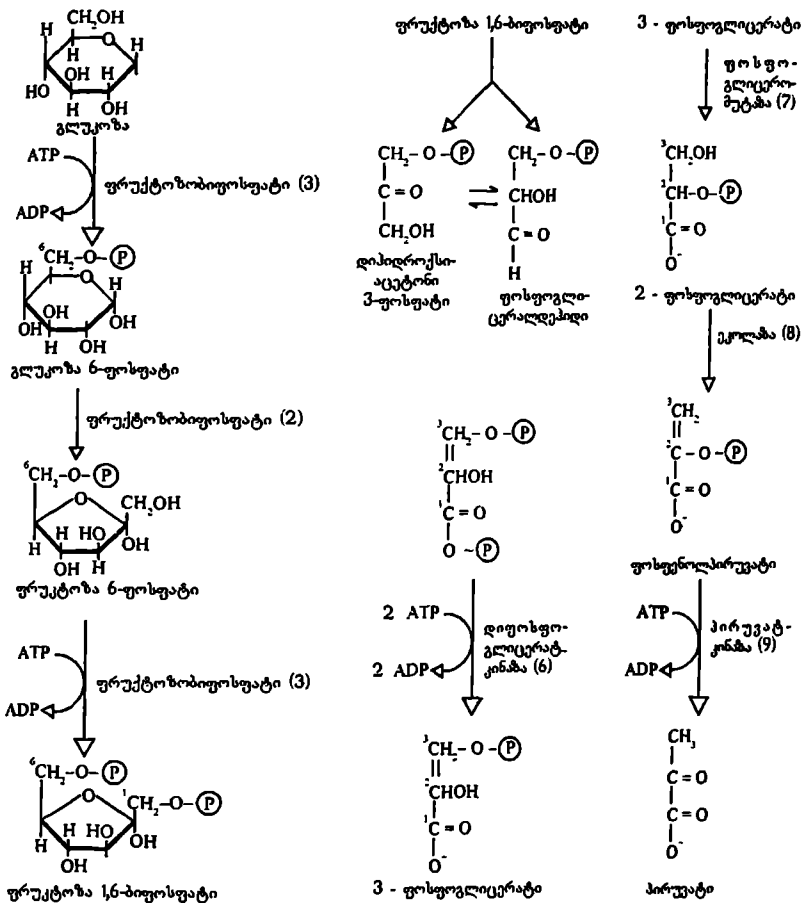
გლიკოლიზის რეაქციების მაკატალიზებელი ფერმენტები ციტოპლაზმაში გახსნილ მდგომარეობაში იმყოფებიან (სურ.12.2).

ამრიგად, გლიკოლიზის დროს ექვსნახშირბადიანი მოლეკულა გარდაიქმნება პირუეატის ორ სამნახშირბადიან მოლეკულად, რის შედეგადაც წარმოიქმნება ATP-ის ოთხი მოლეკულა და ორი მოლეკულა NAD.H და H^+ -ის ორი მოლეკულა. რამდენადაც გლიკოლიზის პროცესის დროს ATP-ის ორი მოლეკულა იხარჯება, სუფთა გამოსავალი არის ATP-ის ორი მოლეკულა და $2(NAD.H+H)$. როგორც ქვემოთ ვნახავთ, NAD.H + H თავის წყალბადს ელექტრონ-სატრანსპორტო ჯაჭვს გადასცემს. საბოლოო ჯამში, გლიკოლიზის დროს გლუკოზა გადადის პირუეატში (რომელიც შემდგომში შეიძლება დაიშალოს) და ამასთან NAD.H და ATP-ის მცირე რაოდენობას იძლევა.

სურ. 12.2. გლიკოლიზის ეტაპები.

მთავარი ნივთიერებები, რომლებიც შედიან მოცემულ ბიოქიმიურ გზაში, აღნიშნულია მუქ ფონზე, ხოლო მთავარი პროდუქტები მუქ ჩარჩოებში. ფერმენტების სახელწოდება გაკეთებულია ისრების გვერდით, რომელიც უჩვენებს რეაქციის მიმართულებას.

1. ATP-დან ფოსფატური ჯგუფი გადაიტანება გლუკოზის მე-1 ნახშირბადის ატომზე და წარმოიქმნება გლუკოზო-1-ფოსფატი. უარყოფითად დამუხტული ფოსფატური ჯგუფის არსებობის გამო გლუკოზის მოლეკულა ვერ დიფუნდირებს უჯრედიდან მემბრანაში. იგივე ჯგუფი მოლეკულაზე ქმნის გამოცნობის განსაკუთრებულ უბანს, რომლითაც იგი მომდევნო გარდაქმნის ფერმენტს უერთდება. გლიკოლიზის ამ პირველ ეტაპზე ATP არა მხოლოდ არ წარმოიქმნება, არამედ პირიქით - იხარჯება კიდევ ATP-ის მცირე რაოდენობა იხარჯება იმაზე, რომ გამოწვეული იქნას ენერჯის გამოყოფით მიმდინარე რიგი პროცესები, რომლებიც შემდგომ ითვლება „მოგებას“ ATP-ის სახით. გლიკოლიზის ამ ეტაპზე სხვა შატებზე შეთოლება ჩაერთოს, მაგრამ ამისათვის ისინი წინასწარ უნდა გარდაიქმნან გლუკოზო-1-ფოსფატად.
2. მოლეკულა გარდაიქმნება სხვა ექვსნახშირბადიან შატად - ფრუქტოზო-1,6-ფოსფატად. მაიქციეთ ფურადლება, რომ ამითი გარდაქმნის შედეგად მოლეკულის პირველი ნახშირბად-ატომი რგოლის გარეთ აღმოჩნდება.
3. მეორე საწყის რეაქციაში ATP-ის კიდევ ერთი მოლეკულა გასცემს თავის ფოსფატურ ჯგუფს. ეს ჯგუფი უერთდება ნახშირბადის პირველ ატომს, რომელიც წინა ეტაპზე რგოლის გარეთ აღმოჩნდა. წარმოიქმნება ფრუქტოზო-1,6-ბიფოსფატი.
4. ფრუქტოზობიფოსფატი იშლება ორ სამნახშირბადიან მოლეკულად, რომელთა ერთ-ერთ ბოლოზე არის ფოსფატური ჯგუფი - დიჰიდროქსიაცეტონ-3-ფოსფატი და ფოსფოგლიცერალდეჰიდი. დიჰიდროქსიაცეტონი შემდგომ გარდაიქმნება ფოსფოგლიცერალდეჰიდად.
5. თითოეული სამნახშირბადიანი მოლეკულა იერთებს თითო ფოსფატურ ჯგუფს ციტოპლაზმის არაორგანული ფოსფორის ფონიდან. ერთდროულად თითოეული მათგანი გასცემს ენერჯიას ორი ატომი წყალბადის ფორმით. ეს ატომები იერთებენ წყალბადის დაუნეგულ გადატანის NAD^+ , მაგრამ, ამასთან წყალბადის ერთი ობიი (H^+) სწრაფად გადადის გარემომცველ ხსნარში. გადატანა კი აკავებს ერთ H^+ და ორ ელექტრონს, ე.ი. მიღება $NAD.H + H^+$. ამ ეტაპზე წარმოქმნილი სამნახშირბადიანი მოლეკულები არის $1/2$ დიფოსფოგლიცერატის მოლეკულები, ხოლო ტალღოვანი ხაზით აღნიშნული ბმა (-) მიუკუთვნება მაღალენერგეტიკული ბმების რიცხვს. მისი გაწვევებისას გამოიყოფა საკმარისი რაოდენობის ენერჯია იმისათვის, რომ ADP და არაორგანული ფოსფორიდან ATP წარმოიქმნას.
6. ამ ეტაპზე თითოეული მაღალენერგეტიკული ბმა წყდება და ამ დროს გამოთავისუფლებული ენერჯიის

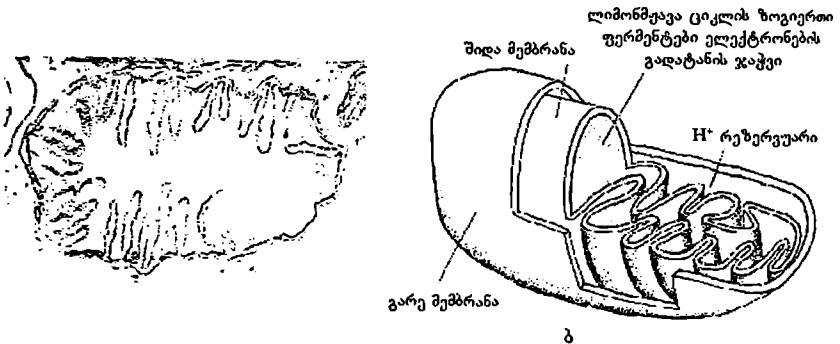


7. ფოსფოგლიცერატის თითოეულ მოლეკულაში დარჩენილი ფოსფატური ჯგუფი გადაიტანება ამ მოლეკულის ნახშირბადის ცენტრალურ ატომთან.
8. ფოსფოგლიცერატის თითოეული მოლეკულიდან წყდება წყლის მოლეკულა და წარმოიქმნება ფოსფონოლიპირუვატი. ის გარდაქმნა ცელის ბზის ბუნებას, რომლითაც შეერთებულია ფოსფატური ჯგუფი: ბმა ახლა ხდება მაღალენერგეტიკული.
9. დარჩენილი ფოსფატური ჯგუფი გადაიტანება ფოსფონოლიპირუვატიდან ADP-ზე. ამ შემთხვევაში მაღალენერგეტიკული ფოსფატური ბზის გაწვევა ითვლება ენერჯის ATP-ს სინთეზისთვის ADP-დან და P-არარგანულიდან. ამასთან ფოსფონოლიპირუვატი გარდაქმნება პირუვატად.

12.3. პირუვატის შემდგომი გარდაქმნა. ლიმონმჟავას ციკლი

გლიკოლიზი მიმდინარეობს ციტოპლაზმაში. ეუკარიოტულ უჯრედში პირუვატი და გლიკოლიზის შედეგად წარმოქმნილი $NAD.H + H$ მიტოქონდრებში გადადის, სადაც მთავრდება სუნთქვის ციკლი. პროკარიოტებში, რომლებსაც მიტოქონდრები არ გააჩნიათ, სუნთქვის ციკლი ციტოპლაზმაში და უჯრედის მემბრანაზე მიმდინარეობს.

ვიდრე სუნთქვის ციკლის ეტაპებს განვიხილავდეთ, განვიხილოთ მიტოქონდრიის აგებულება. მიტოქონდრია ციტოპლაზმიდან გამოყოფილია გარეთა მემბრანით. ეს მემბრანა კარგი განვლადობით ხასიათდება და მასში ბევრი ნივთიერება აღვილად გადის. შიდა მემბრანა ნაკლებ განვლადია. შიდა მემბრანა შემოსაზღვრავს კომპარტმენტს, რომელიც შეიცავს ლიმონმჟავას ციკლის ზოგიერთ ფერმენტს. ამ ციკლის დანარჩენი ფერმენტები ისევე, როგორც ელექტრონების გადატანის კომპონენტები, მოთავსებულია შიდა მემბრანაზე ან მასშია ჩაშენებული. ელექტრონების გადატანები H^+ იონებს გადატემავენ გარე და შიდა მემბრანებს შორის არსებულ სივრცეში, რომელიც H^+ იონების რეზერვუარია (სურ.12.3).

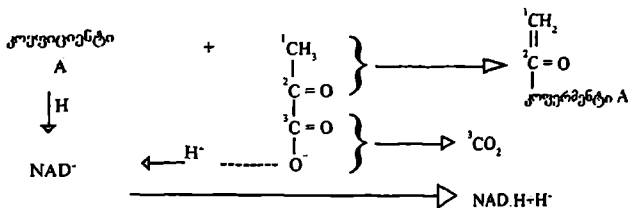


სურ.12.3. მიტოქონდრიის აგებულება. ელექტრონული მიკროფოტოგრაფია, რომელზეც მიტოქონდრია განივ ჭრით ჩანს. ბ) სქემა, რომელიც წარმოადგენს მიტოქონდრიის ჭრით, ამასთან მიუთითებს ზოგიერთი ფერმენტის და გადატანის ლეკალიზაციას (A - Biophoto Associates).

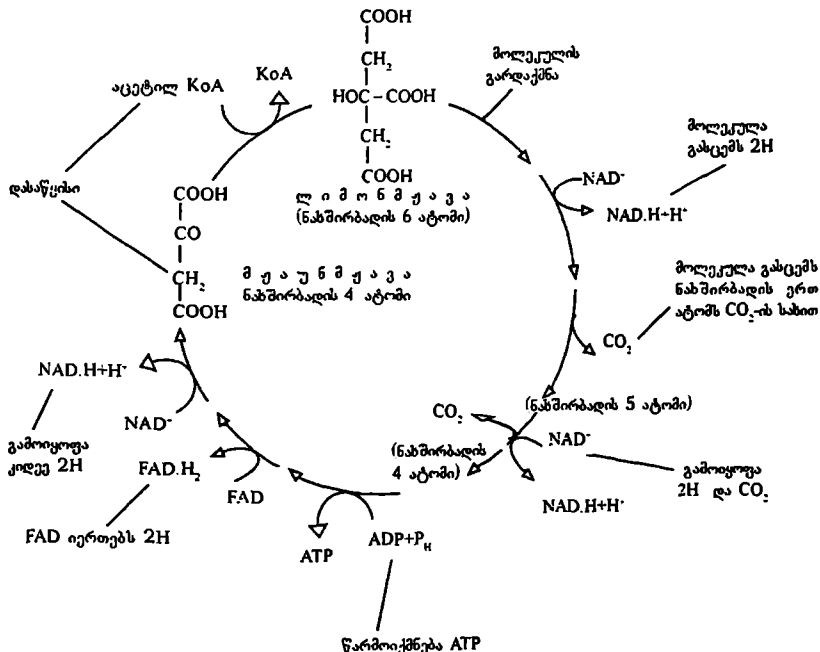
მოხვდება რა მიტოქონდრიაში, პირუვატი შედის რეაქციაში კოფერმენტ A-სთან და NAD^+ -თან. ამ დროს პირუვატს შორდება ნახშირბადის ერთი ატომი და ჟანგბადის ორი ატომი (CO_2 -ის მოლეკულის სახით), ასე რომ, კოფერმენტი დაკავშირებული რჩება ორნახშირბადიანი აცეტილის ჯგუფთან. ამ შენაერთს ჰქვია აცეტილკოფერმენტი A, ანუ აცეტილ- CoA . ერთდროულად NAD^+ იერთებს $2H-$ ს (სურ.12.4). აცეტილ- CoA უშუალოდ ლიმონმჟავას ციკლში მიემართება.

ლიმონმჟავას ციკლი ცნობილია ასევე ტრიკარბონმჟავათა ციკლის (ლიმონმჟავა შეიცავს კარბოქსილის სამ ჯგუფს) ან კრებსის ციკლის სახელწოდებით.

ლიმონმჟავას ციკლის რეაქციები ნაჩვენებია 12.5 სურათზე. აცეტილკოფერმენტი A თავის ორნახშირბადიან აცეტილის ჯგუფს გადასცემს ოთხნახშირბადიან შენაერთს - მეთუ-



სურ. 12.4. ლიმონმჟავა ციკლისთვის მზადება. პირუეტი კარგავს თავის სამი ნახშირბადის ატომიდან ერთს (C-3) ნახშირორჟანგის სახით. კოფერმენტი A იერთებს დარჩენილ ორნახშირბადიან აცეტილურ ჯგუფს და გადასცემს მას ლიმონმჟავა ციკლში. NAD⁻ იღებს 2H, ერთს პირუეტიდან, მეორეს - კოფერმენტ A-დან და გარდაიქმნება NAD.H-H⁺



სურ. 12.5. ლიმონმჟავა ციკლი (გამარტივებული სახით). დაიწყეთ ხიტყვა „დასაწყისიდან“ და დააყვირდით ცელილებს საათის ისრის მიმართულებით.

ძმარმჟავას, რის შედეგადაც წარმოიქმნება ექვსნახშირბადიანი შენაერთი - ლიმონმჟავა. თვითონ კოფერმენტი ამ დროს გამოთავისუფლდება და შეიძლება შეიერთოს ახალი აცეტილის ჯგუფი. რიგი ფერმენტების გავლენით ლიმონმჟავას შორდება ორი ატომი ნახშირბადი ნახშირმჟავას სახით, ხოლო დარჩენილი ოთხნახშირბადიანი შენაერთი საბოლოო ჯამში

გარდაიქმნება მჟაუნმჟავას ახალ მოლეკულად, რომელიც მზადა მიიღოს ორნაზშირბადიანი აცეტილის ახალი ჯგუფი აცეტილკოფერმენტ A-დან.

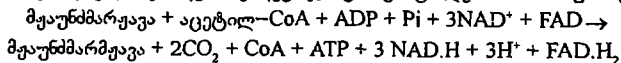
ჩვენ არ გვარჩევთ დაწერილებით ლიმონმჟავას ციკლს, მაგრამ აუცილებელია დავიმახსოვროთ, რომ:

1. ჩვენს მიერ ამოსუნთქული CO_2 არის თანაპროდუქტი. პირუვატის თითოეული მოლეკულის გარდაქმნისას იგი გასცემს ნახშირბადის სამივე ატომს ნახშირორჟანგის სახით. CO_2 -ის ერთი მოლეკულა პირუვატის აცეტილის ჯგუფად გარდაქმნისას მიიღება, ხოლო ორი – ლიმონმჟავას ციკლში.

2. წყალბადის ატომები თავისუფლდება ლიმონმჟავას ციკლის სხვადასხვა ეტაპზე და გადაეცემა ელექტრონების აქცეპტორებს – NAD^+ -ს და FAD -ს, რომლებიც ამ დროს გარდაიქმნიან $\text{NAD.H} + \text{H}^+$ და FAD.H_2 -ებად.

3. ATP -ს ერთი მოლეკულა უშუალოდ ლიმონმჟავას ციკლში წარმოიქმნება.

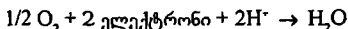
4. ლიმონმჟავას ციკლი შეიძლება შემდეგი ჯამური განტოლების სახით გამოვსახოთ:



12.4. H^+ რეზერვუარის შევსება. ელექტრონების გადატანის ჯაჭვი

გლუკოზის მოლეკულის სრული დაშლისას გამოთავისუფლებული ენერჯის ნაწილი ხმარდება ATP -ის სინთეზს, ძირითადი ნაწილი კი თავმოყრილია ელექტრონებით დატვირთულ გადამტანებში: $\text{NAD.H} + \text{H}^+$ (გლიკოლიზის და ლიმონმჟავა ციკლის პროდუქტები) და FAD.H_2 (ლიმონმჟავას ციკლის პროდუქტი) იმყოფება. ამ გადამტანებიდან თითოეული ორ ატომ წყალბადს ელექტრონების სატრანსპორტო ჯაჭვს აწვდის, შემდეგ გადამტანები უკან ბრუნდება და წყალბადის ახალ ატომებს იკავშირებს.

მოლეკულა, რომელიც წყალბადის ამ ორ ატომს იერთებს, მიტოქონდრიის შიდა მემბრანის შიდა ზედაპირზე იმყოფება. ამ მოლეკულას წყალბადის ატომები მემბრანის გავლით გადააქვს მის გარეთა ზედაპირზე, სადაც წყალბადატომები უკავშირდება ახალ გადამტანებს, რომლებსაც მხოლოდ ელექტრონების გადატანა შეუძლიათ. ისინი ელექტრონებს იკავშირებენ, ხოლო გამოთავისუფლებული H^+ -იონები H^+ -რეზერვუარში გადადიან. მეორე გადამტანი ორ ელექტრონს აწვდის მემბრანის გავლით, ოღონდ საპირისპირო მიმართულებით. ამიტომ ელექტრონები H^+ ონებს ევლარ უერთდებიან. აქ, მემბრანის შიდა ზედაპირზე, მათ ღებულობს კიდევ ერთი ახალი გადამტანი, რომელსაც გადააქვს წყალბადატომები. ეს გადამტანი იერთებს მთლიან ატომებს ორ ელექტრონთან წყალბადის ორი იონის შეკავშირების შედეგად (ეს H^+ იონები წარმოიქმნება წყლის H^+ -დ და OH^- -დ დისოციაციისას). შემდგომ ელექტრონები მოძრაობენ ორივე მემბრანის მიმართულებით, მხოლოდ შიგნიდან გარეთ მოძრაობა ხდება H^+ -თანხლებით. ყველა ეს გადასვლა H^+ რეზერვუარში იძლევა 64 H^+ იონს გლუკოზის ყოველი მოლეკულიდან. ელექტრონების საბოლოო აქცეპტორი არის ჟანგბადი, რომელიც ღებულობს ელექტრონებს და შესაბამისი რაოდენობით H^+ იონებს (ამჯერადაც წყლის დისოციაციის ხარჯზე) და წარმოიქმნება წყლის ახალი მოლეკულა:



ელექტრონტრანსპორტული ჯაჭვი ამყოფება მიტოქონდრიის შიდა მემბრანაში, ხოლო H^+ -რეზერვუარი შიდა და გარე მემბრანებს შორის (სურ.12.6). ენერგია მარაგდება ამ რეზერვუარის H^+ -ის იონებით შესვლის შედეგად. ეს ენერგია შემდგომში შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ATP-ის სინთეზისათვის. H^+ - იონები, გადაინაცვლებენ მემბრანის არხით გარედან შიგნით, ATP-აზებს აწვდიან ენერგიას ADP-დან და P_i -დან ATP-ს სინთეზისათვის.

ყოველთვის, როცა ამ გზით წარმოიქმნება ATP, H^+ -რეზერვუარი კარგავს მასში დაგროვილი ენერგიის ნაწილს.

რეზერვუარი H^+ იონებით ივსება ელექტრონების განუწყვეტელი ნაკადის ხარჯზე, რომლებსაც $NAD.H$, $FAD.H_2$ აწვდის ელექტრონტრანსპორტული ჯაჭვით.

გლიკოლიზისა და ლიმონმჟავას ციკლის ქიმიური რეაქციები ამჟამად კარგადაა ცნობილი. რაც შეეხება ელექტრონების გადატანის ჯაჭვში არსებულ მოვლენებს, ისინი კვლავ ინტენსიურ შესწავლას საჭიროებს. ამოცანას ართულებს ის, რომ ელექტრონების სრული გადატანა მხოლოდ ინტაქტურ მიტოქონდრიულ მემბრანაზე შესაძლებელი, ხოლო დაუზიანებელი მემბრანების გამოყოფა უჯრედის სხვა კომპონენტებიდან ექსპერიმენტული შესწავლის მიზნით ძეულია. ამ მეთოდის დამუშავებას მრავალი წელი დასჭირდა.

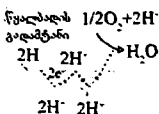
მედიკოსებს განსაკუთრებით აინტერესებთ ისეთი ნივთიერებები, რომლებიც ზრდიან მემბრანის განვლადობას, თითქოს ზერეტენ მას. თუ მემბრანა პერფორირებულია, სუნთქვის პროცესის დროს კვლავინდებურად წარმოიქმნება H^+ იონები, მაგრამ H^+ -იონების ნაწილი იპარება H^+ რეზერვუარიდან არხების გაულის გარეშე. ამ დროს ATP-აზის ენერგია ATP-ს სინთეზისათვის ვერ გამოიყენება. ასეთი უჯრედი, მიუხედავად იმისა, რომ ყველა საკვებ ნივთიერებას იღებს, მოკვდება, რადგან მასში არ იქნება ATP-ს საკმარისი რაოდენობა მისი აქტივობის უზრუნველსაყოფად. მიტოქონდრიის ასეთ პერფორაციას იწვევს, მაგალითად, დინიტროფენოლები - ყვეთელი ფერის ნივთიერებები, რომლებსაც ერთ დროს ფუნთუშეულს უმატებდნენ, რათა ფუნთუშისათვის უფრო უკეთესი სახე მიეცათ. იყო ცდა ეს ნივთიერებები სიმუსუნის თაიდან ასაცილებლად გამოეყენებინათ. ასეთი ცდები ტრაგიკულად დამთავრდა - რამდენიმე ადამიანი "მკურნალობის" შედეგად დაიღუპა, რადგან მათმა ორგანიზმმა შეწყვიტა ATP-ის საკმარისი რაოდენობით გამოშვება. ელექტრონების გადატანის და ATP-ის სინთეზის გათიშვა ზოგ ცხოველს ნორმაშიც ახასიათებს. კერძოდ, იმ ცხოველების ცხიმოვან უჯრედებში, რომლებიც ზამთრის ძილს ეძლევიან, ელექტრონების გადატანისა და გამოთავისუფლებული ენერგია არა ATP -ს, არამედ სითბოს წარმოსაქმნელად იხარჯება.

რამდენი ATP სინთეზირდება სუნთქვის პროცესში გლუკოზის ყოველი მოლეკულის დაშლისას? ჩვენ უკვე ვნახეთ, რომ გლუკოზის დაშლის დროს ერთი მოლეკულა გლუკოზიდან მიიღება ATP-ის ორი მოლეკულა. ATP-ის კიდევ ორ მოლეკულას იძლევა ლიმონმჟავას ციკლი. მიტოქონდრიებში ქიმიო-ოსმოსი 32 ATP-ს გვაძლევს. ამ ენერგიის ნაწილი ხმარდება ATP-ის გადატანას მიტოქონდრიიდან ციტოპლაზმაში. ე.ი. იქ, სადაც ის გამოიყენება. ამ გადატანის ენერგიას იძლევიან H^+ რეზერვუარის H^+ იონები და ბუნებრივია ისინი ATP-ის სინთეზში აღარ მონაწილეობენ. გარდა ამისა, აღინიშნება H^+ რეზერვუარიდან ზოგიერთი H^+ იონის დანაკარგიც.

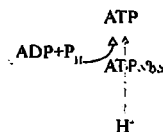
ამიტომ ჯამში ქიმიო-ოსმოსის შედეგად მიტოქონდრიებში სინთეზდება და ციტოპლაზმას გადაეცემა ATP-ის მხოლოდ 21 მოლეკულა. ეს ნიშნავს, რომ გლუკოზის თითოეული მოლეკულიდან წარმოქმნილი მთელი ATP-ის დაახლოებით 84% H^+ რეზერვუარიდან მოწოდებული ენერგიის ხარჯზე სინთეზდება.

გარეთა მემბრანა

შიგნითა მემბრანა



ჰიპოქსონიუმის გზა



ჰიპოქსონიუმის გზა

ა. H⁺-ის რეზერვუარის შევსებაბ. H⁺-ის რეზერვუარის ენერჯიის გამოყენება ATP-ის სინთეზისათვის

სურ. 12. 6. ელექტრონების გადატანა და ATP-ის სინთეზი მიტოქონდრიაში.

- ა - წყალბადის ატომები შიდა მემბრანის გავლით იყოფიან მის გარეთა ზედაპირზე ელექტრონებად და H⁺ იონებად. H⁺ რჩებიან აქ და აესებენ H⁺-რეზერვუარს, ხოლო ელექტრონები (e⁻) ბრუნდებიან უკან, რომ თან გაყვნიან H⁺-რეზერვუარისკენ მიმავალ H⁺ ახალ იონებს. საბოლოო ეტაპში ელექტრონები უერთდებიან წყნებადს და H⁺ სხვა იონებს. ამის შედეგად წარმოიქმნება წყალი.
- ბ - H⁺ იონები მოძრაობენ მემბრანის არხებით. მათი ენერჯია გამოიყენება ATP-ის სინთეზისათვის, რომელსაც ATP-ები ახორციელებენ.

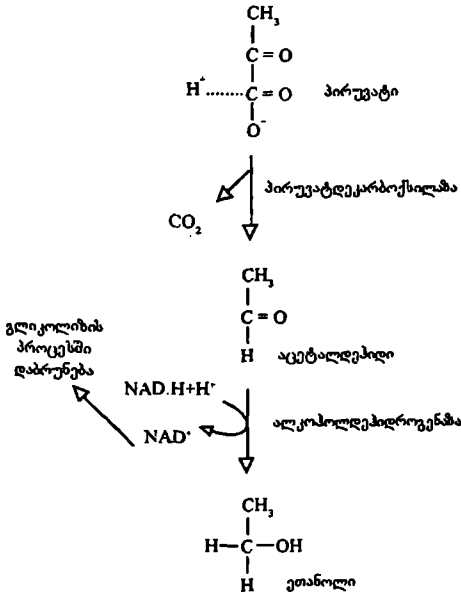
12.5. დულილი

ჟანგბადის - ელექტრონების საბოლოო აქცეპტორის - ნაკლებობის ან არარსებობისას ელექტრონტრანსპორტული ჯაჭვი არ ფუნქციონირებს. ეს ნიშნავს, რომ არ არსებობს H⁺ რეზერვუარი, რომელიც ATP-ის სინთეზისათვის ენერჯიას იძლევა. ამ შემთხვევაში მრავალი უჯრული ATP-ს საკვები ნივთიერებების დულილით დაშლის გზით ასინთეზებს. ფართოდ გავრცელებულ დულილის პროცესებში გამოიყენება გლიკოლიზის გზა, რომლის დროსაც გლუკოზა პირუვატამდე იშლება.

გლიკოლიზის დროს ATP-ის სინთეზისათვის საჭიროა, რომ წყალბადის აქცეპტორმა NAD-მა მიიერთოს წყალბად-ატომი და გარდაიქმნას NAD.H-ად (სურ.12.8). NAD-ის რაოდენობა უჯრულში ძალიან მცირეა. ჟანგბადის არსებობისას NAD.H სწრაფად მიაწვდის მიერთებულ წყალბად-ატომებს ელექტრონების გადაცემამდე, გამოთავისუფლებული NAD ბრუნდება უკან გლიკოლიზის სტადიაში და მზადაა მიიერთოს წყალბად-ატომების ახალი რაოდენობა, რომელიც გლუკოზის დაშლისას თავისუფლდება. თუ ჟანგბადი არასაკმარისია იმისათვის, რომ დაიკავშიროს ყველა გადაცემული ელექტრონი, მაშინ ელექტრონების გადატანა ბლოკირდება და NAD.H წყალბად-ატომების მიღებას წყვეტს. რამდენადაც NAD.H-ს არ შეუძლია გარდაიქმნას NAD-ად, წყვეტენ ფუნქციონირებას ის ბიოქიმიური გზებიც, რომელთათვისაც NAD აუცილებელია - ე.ი. გლიკოლიზი და ლიმონმჟევის ციკლი. ამ შემთხვევაში დულილის განმარტოვებული უჯრედები ელექტრონების გადატანის ჯაჭვის ნაცვლად სხვა გზას იყენებენ, რათა NAD.H წყალბად-ატომისაგან გაათავისუფლონ. ამის შედეგად მიიღწევა სასურველი შედეგი: NAD ხელახლა თავისუფლდება და მზადაა მიიერთოს გლიკოლიზის დროს

წარმოქმნილი წყალბად-ატომები, ე.ი. გლიკოლიზი კვლავ გაგრძელდება და შეიძლება ATP-ის გარკვეული რაოდენობის კვლავწარმოქმნა.

სხვადასხვა ორგანიზმებს დუღილის სხვადასხვა გზა აქვთ. ლუი პასტერმა სპირტული დუღილი შეისწავლა, როდესაც ის მეღვინეობის ქიმიურ პრობლემებს განიხილავდა. ღვინოს ამზადებენ ყურძნის წვენიდან, რომელსაც უმატებენ საფუარს - ერთუჯრედიან სოკოს. საფუარი გარდაქმნის ყურძნის წვენის შაქარს და შლის მას პირუტყამდე. პირუტყის ყოველი მოლეკულა შემდგომში ნახშირორჟანგად და ორნახშირბადიან შენაერთად - აცეტალდეჰიდად იშლება (სურ.12.7). აცეტალდეჰიდი $NAD.H + H^+$ -დან იერთებს წყალბადის ორ ატომს და გარდაიქმნება ორნახშირბადიან სპირტად - ეთანოლად, ანუ ეთილის სპირტად - ალკოჰოლური სასმელების აქტიური ინგრედიენტად. წყალბადის ამ გადატანის შედეგად თავისუფლდება NAD, რომელიც უბრუნდება გლიკოლიზის პროცესს და იერთებს წყალბადის ახალ ატომებს, რაც საფუარის სოკოს საშუალებას აძლევს განაგრძოს ATP-ის სინთეზი.



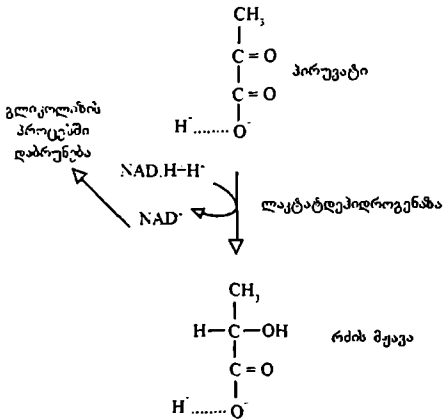
სურ. 12.7. საფუარებს მიერ გამოწვეული სპირტული დუღილი. გლიკოლიზის პროდუქტის - პირუტყისაგან გამოიყოფა ნახშირორჟანგის მოლეკულა, რაც შედეგად წარმოიქმნება აცეტალდეჰიდი. აცეტალდეჰიდი იერთებს წყალბადის ორ ატომს $NAD.H + H^+$, რომელიც ამ დროს ისევ ვარდაიქმნება NAD^+ . ეს აუცილებელია იმიტომ, რომ განგბადის არარსებობის დროს გაგრძელდეს გლიკოლიზი და მოხდეს ATP-ის სინთეზი.

დუღილი გრძელდება მანამ, სანამ საფუარის სოკო მთლიანად არ მოიხმარს გარემოში არსებულ შაქარს. თუ ღვინოს ბოთლს თავს დაუტკობთ მანამ, სანამ დუღილი მორჩებოდეს, მივიღებთ გაზიან ღვინოს, რადგან მასში ისევ გაგრძელდება ნახშირორჟანგის წარმოქმნა. ასეთი ღვინოს, მაგალითად შამპანურის, დაზზადებისას ღვინოს სქელკედლიან ბოთლებში ასხამენ და თავს უტკობენ მანამ, სანამ დუღილი დამთავრდებოდეს. სანამ ბოთლი თავდაცობილია, ნახშირორჟანგი ღვინოშია გახსნილი. როცა საცობს მოხსნიან, გაზი გამოიყოფა წერილი ბუშტუკების სახით. საფუარი სპირტს მხოლოდ ჟანგბადის უკმარისობისას წარმოქმნის. სხვა

შემთხვევაში შაქარს საფუარის სოკოები ბოლომდე – ნახშირორჟანგამდე და წყლამდე შლიან. როდესაც ღვინის ჭურჭელში დუღილი ინტენსიურად მიმდინარეობს, სწრაფად გამოყოფილი ნახშირორჟანგი კუმშავს ღვინის ზედაპირზე არსებულ აირს და ყანგბადს ღვინოში გახსნის საშუალებას არ აძლევს. როდესაც დუღილი ნელდება, ჭურჭელი მაშინვე უნდა დავხუროთ, რათა ღვინოში ყანგბადმა არ შეაღწიოს. თუკი ამას არ გააკეთებთ, ბაქტერიები ჰაერიდან ღვინოში შეაღწევენ და ყანგბადის მეშვეობით სპირტს ძმარმჟავად გარდაქმნიან. ამ ხერხით ღებულობენ ღვინის ძმარს (ძმარმჟავა ძმრის შედგენლობაში არსებული მჟავაა).

სპირტულ დუღილს იყენებენ საწვავად გამოსაყენებელი ეთილის სპირტის მისაღებადაც. მრავალი მეცნიერი ამჟამად საფუარის ისეთი სახეობის გამოყვანაზე მუშაობს, რომელსაც შეეძლება ეთილის სპირტად აქციოს სიმინდში და სხვა მცენარეულ მასალაში არსებული შაქრის უფრო მეტი რაოდენობა.

დუღილის სხვა სახეა ადამიანის ორგანიზმში ზედმეტი კუნთური დატვირთვისას მიმდინარე პროცესი. ჩვეულებრივ პირობებში ჩვენი უჯრედები ყანგბადით კარგად მარაგდება, ე.ი. მათში მიმდინარეობს სუნთქვის პროცესი. დიდი ფიზიკური დაბაძვისას კუნთები ყანგბადს მოიხმარენ უფრო სწრაფად, ვიდრე სისხლი ასწრებს მის მიწოდებას. ამიტომ კუნთები ამ დროს მათი მუშაობისათვის აუცილებელ ATP-ის დუღილის გზით ასინთეზირებენ. კუნთებში პირუვატი გარდაიქმნება არა ნახშირორჟანგად და სპირტად (როგორც საფუარის უჯრედებში), არამედ სანახშირბადიან შენაერთად – რძის მჟავად, NAD.H + H₂ –დან ორი წყალბად-ატომის პირუვატთან შეერთების გზით (სურ.12.8). ამ დროს გამოთავისუფლებული NAD წყალბადის ახალ ატომებს იერთებს. ასე რომ, გლიკოლიზი შეიძლება შეუწერებლად გაგრძელდეს.



სურ. 12.8. პირუვატის გარდაქმნა რძის მჟავად, რომელიც კუნთში მიმდინარეობს. თუ უჯრედი ყანგბადს არ იღებს, მაშინ მასში გროვდება NAD.H+H⁺ გლიკოლიზში წარმოქმნილი პირუვატი იერთებს NAD.H+H⁺-დან წყალბადის ატომებს და გარდაიქმნება რძის მჟავად. ამასთან თავისუფლდება NAD⁺, რომელიც ბრუნდება გლიკოლიზში და იღებს წყალბადის ორ ატომს.

კუნთებში წარმოქმნილი რძის მჟავა სისხლში გადადის. დიდი რაოდენობით რძის მჟავას დაგროვება ორგანიზმისათვის მავნებელია. დიდი ფიზიკური დატვირთვის შემდეგ ღრმად ესუნთქეთ – “ყანგბადის დავალიანებას” ვიხდით. ამ დროს რძემჟავა ღვიძლში ხვდება, სადაც მას წყალბადი სცილდება და კვლავ პირუვატად გარდაიქმნება. ეხლა კი, როცა ყანგბადი საკმარისია, პირუვატის დაშლა ლიმონმჟავას და ელექტრონების გადატანის ჯგუფის გავლით ხდება. ეს ენერგია ხმარდება ასევე პირუვატის გლუკოზად ხელახალ გარდაქმნას. გლუკოზა კვლავ ხვდება სისხლში და უბრუნდება კუნთებს, სადაც გლიკოგენის სახით ინახება.

12.6. სხვა საკვები ნივთიერებები

უჯრედთა უმრავლესობა ყველა საკვები ნივთიერების მოლეკულას შეიცავს. შეიძლება ითქვას, რომ ეს ნამდვილი “შვედური მაგიდაა”. მაგრამ, მიუხედავად ამისა, ეს უჯრედები სუნთქვის პროცესში მანც შლიან გლუკოზას და ATP-ს ამ გზით ასინთეზირებენ. რამდენადაც ენერჯის მარაგი ყველა ორგანულ ნივთიერებაში ინახება, ამ ნივთიერებების დაშლისას გამოთავისუფლებული ენერჯით ATP-ის სინთეზა შესაძლებელია.

გლიკოლიზის პროცესში გლუკოზის გარდა სხვა ნახშირწყლებიც შეიძლება ჩაერთოს. პოლისაქარიდები იშლება მონომერებად – მარტივ შაქრებად, ხოლო 6-ნახშირბადიანი შაქრები გლუკოზად ან ფრუქტოზად გარდაიქმნება, რომლებიც გლიკოლიზის პროცესის ჩვეულებრივი მონაწილეებია.

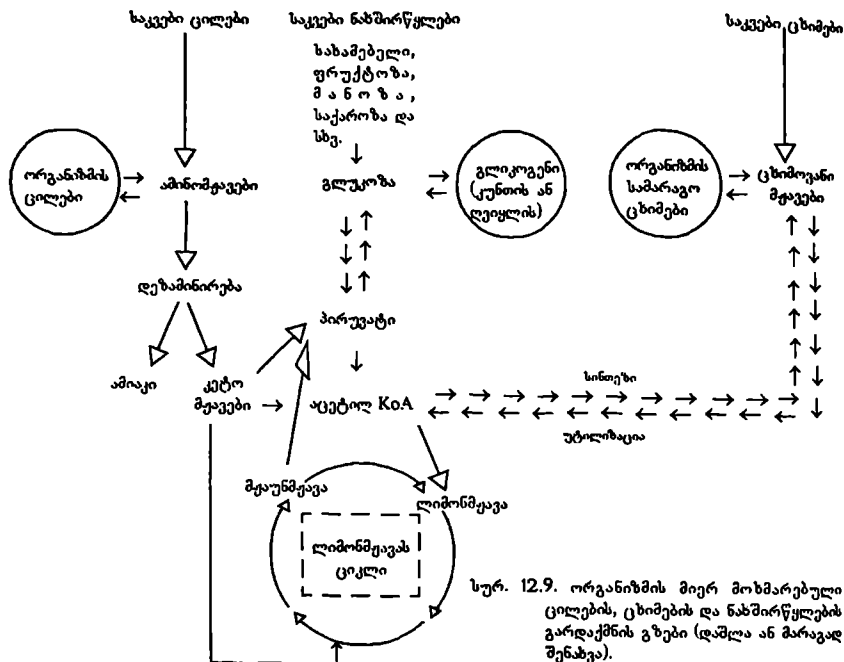
ცხიმოვანი მჟავები, რომლებიც ორგანიზმში საკვებიდან ხვდებიან, გლიკოლიზში არ მონაწილეობენ. გლიკოლიზის გზა მხოლოდ ნახშირწყლებს ახასიათებთ. ცხიმოვანი მჟავების დაშლა სუნთქვის პროცესში იმ ეტაპზე ერთდება, როცა აცეტილ-CoA წარმოიქმნება. ცხიმოვანი მჟავები ორნახშირბადიან ფრაგმენტებად იშლება, ხოლო ეს უკანასკნელნი, უერთდებიან რა CoA-ს, აცეტილ-CoA-ს გვაძლევენ. აცეტილ-CoA შემდგომ გარდაქმნას ლიმონმჟავას ციკლში განიცდის. ამ დროს წარმოქმნილი NAD.H და FAD.H₂ ელექტრონების გადატანის ჯაჭვში მიემართებიან (სურ. 12.9).

თუ საკვებთან ერთად ამინომჟავების ჭარბ რაოდენობას მივიღებთ, ეს ჭარბი რაოდენობა ენერჯის წყაროდ გამოიყენება. ორგანიზმის ცილები მხოლოდ ხანგრძლივი შიმშილის დროს მოიხმარება მას შემდეგ, რაც დაიხარჯება ნახშირწყლების და ცხიმების მარაგი. ამინომჟავები, რომლებიც ცილის სინთეზისთვის არ გამოიყენება, განიცდიან ლეზამინირებას – მათ სცილდებათ ამინო – ჯგუფები. ლეზამინირების შემდეგ დარჩენილი მოლეკულა შედგება ნახშირბადის, წყალბადისა და ჟანგბადისაგან, ე.ი. იმავე ელემენტებისაგან, რომლებიც შედიან ნახშირწყლებშია და ცხიმების შემადგენლობაში. ამ დარჩენილი ნაწილის აგებულება ამინომჟავებს ძლიერ განსხვავებული აქვთ. ზოგიერთში იგი ახლოსაა პირუვატთან და შეიძლება ჩაერთოს სუნთქვის პროცესში შესაბამის ეტაპზე. ზოგი ამინომჟავას დაშლის შედეგად რჩება აცეტილური ჯგუფები, რომლებიც CoA-ს უერთდებიან ან ლიმონმჟავას ციკლის რომელიმე კომპონენტს წარმოქმნიან.

ყოველივე აქ აღნიშნული ამტკიცებს, რომ ლიმონმჟავას ციკლი და ელექტრონების გადატანის ჯაჭვი ქმნიან საკვები ნივთიერებების დაშლის საერთო საბოლოო გზას, რის შედეგადაც თავისუფლდება საკვებ ნივთიერებებში დაგროვილი ენერჯია.

ლიმონმჟავას ციკლის ბევრი კომპონენტი შუალედურ პროდუქტად გვევლინება სხვა ბიოქიმიური გარდაქმნების დროსაც. თუ სუნთქვის დროს პროცესი შეიძლება როგორმე მათ გარეშეც წარიმართოს, მაშინ ისინი ციკლიდან ვარდებიან და ბიოსინთეზის პროცესში ერთვებიან. როგორც ნახშირწყლებიდან, ასევე ცილებიდან ხდება ცხიმების წარმოქმნა. ნებისმიერი საკვების სიჭარბე საბოლოო ჯამში ორგანიზმში ცხიმის მარაგის (ტრი-აცილგლიცეროლების) დაგროვებამდე მიგვიყვანს. ვერც ერთი დიეტა, თუ ის მიღებული საკვების რაოდენობის შემცირებას არ ითვალისწინებს, ვერ გვიშველის წონის დაკლებაში. ვახდობთ თუ გვინდა, ან ნაკლები უნდა ვჭამოთ, ან მეტი ენერჯია დაეხარჯოთ.

ციმები არაპოლარული ნაერთებია. ამიტომ ისინი უკუაგდებენ წყალს და ცხიმოვანი



სურ. 12.9. ორგანიზმის მიერ მოხმარებული ცილების, ცხიმების და ნახშირწყლების გარდაქმნის გზები (დაშლა ან მარაგად შენახვა).

წვეთების სახით კონცენტრირდებიან. მათი დაშლის შედეგად ორჯერ მეტი ენერგია მიიღება, ვიდრე ექვივალენტური რაოდენობის ცილებისა და ნახშირწყლების დაშლისას (წონის მიხედვით). ეს იმით აიხსნება, რომ ცხიმის მოლეკულაში უფრო მეტია ნახშირბად-წყალბადოვანი ბმები, რომლებიც შეიცავენ მეტ ენერგიას, ვიდრე ნახშირბად-ჟანგბადოვანი ბმები. ცხიმების არაპოლარულობისა და მათში ენერგიის დიდი რაოდენობით შემცველობის გამო, ცოცხალი ორგანიზმისათვის უფრო ხელსაყრელია ენერგიის მარაგის ცხიმების სახით დაგროვება. ამასთან ლეივლში და კუნთებშიც ინახება ნახშირწყლების მარაგი გლიკოგენის სახით. ეს არის ორგანიზმის ენერგიის სწრაფი მობილიზაციის შემთხვევაში გამოსაყენებელი რეზერვი.

მცენარეებში ენერგეტიკული რეზერვები ძირითადად სახამებლის სახით არის წარმოდგენილი. OH ჯგუფის შემცველობის გამო ნახშირწყლების მოლეკულები პოლარულია და ბევრ წყალს იკავშირებენ. ამის გამო, ისინი მარაგის შექმნის დროს დიდ ადგილს იკავებენ. მაგრამ რადგანაც მცენარეები, ცხოველებისაგან განსხვავებით, არ მოძრაობენ, ზედმეტი წონის ტარებაც არ უწევთ. ამიტომ წონა მათ ხელს არ უშლის. ნახშირწყლების მობილიზება ენერგიის მისაღებად გაცილებით სწრაფად შეიძლება, ვიდრე ცხიმებისა. როგორც ჩანს, ამით აიხსნება ის ფაქტი, რომ მცენარეები ევოლუციის პროცესში შეეგუენ ენერგიის ნახშირწყლების სახით დაგროვებას.

XII თავის მოკლე შინაარსი

ორგანიზმები ძირითადად იმარაგებენ და იყენებენ ენერგიას ATP-ის სახით. ამიტომ სიცოცხლის გაგრძელება შეიძლება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ დახარჯული ATP ისევ წარმოიქმნება. ATP-ის სინთეზისათვის გამოიყენება ენერგია, რომელიც საკვები ნივთიერებების (ძირითადად გლუკოზის) დაშლის დროს თავისუფლდება.

გლიკოლიზი, რომელიც გლუკოზის დაშლის პირველი სტადიაა, ციტოპლაზმაში ხორციელდება. გლიკოლიზის სუფთა გამოსავალი ტოლია ერთი მოლეკულა გლუკოზის დაშლის დროს ორი მოლეკულა ATP და ორი (NAD.H + H⁺). გლუკოზის საწყისი 6-ნახშირბადიანი მოლეკულა ამ დროს გარდაიქმნება ორ მოლეკულა 3-ნახშირბადიან შენაერთად – პირუეტად.

პირუეტის ყოველი მოლეკულა, ხდება რა მიტოქონდრიაში, გარდაიქმნება ნახშირორჟანგის ერთ მოლეკულად და აცეტილის ერთ ჯგუფად, რომელიც უერთდება CoA-ს და აცეტილ-CoA-ს წარმოქმნის. აცეტილის ჯგუფი ერთვება ლიმონმჟავას ციკლში, უერთდება ოთხნახშირბადიან მჟაუნმპარმჟავას, რის შედეგადაც წარმოიქმნება ექვსნახშირბადიანი ლიმონმჟავა. ორი აცეტილური ჯგუფის დაშლისათვის საჭიროა ლიმონმჟავას ციკლის ორჯერ განმეორება. თითოეულ ციკლში თავისუფლდება ორი ატომი ნახშირბადი ნახშირორჟანგის სახით და წყალბადის რამდენიმე ატომი იკავშირებს წყალბადის წვეთ ატომს. გარდა ამისა, ყოველ ციკლში წარმოიქმნება ATP-ის ერთი მოლეკულა. ციკლის შუალედური პროდუქტები საბოლოო ჯამში ისევ მჟაუნმპარმჟავად გარდაიქმნება, რომელსაც შეუძლია ხელახლა შევიდეს რეაქციაში აცეტილ-CoA-თან და ახალი აცეტილური ჯგუფები შეიერთოს.

გლიკოლიზის და ლიმონმჟავას ციკლში მონაწილე გადატანები წყალბადის ატომებს გადასცემენ ელექტრონების გადატან ჯაჭვს, რომელიც მიტოქონდრიის შიდა მემბრანაზე იმყოფება. ელექტრონები რამდენიმეჯერ გადიან მემბრანის ორივე მიმართულებით. ამასთან ყოველთვის, როდესაც ისინი H⁺ რეზერვუარის მიმართულებით მიემართებიან, მათთან H⁺ იონები ახლავთ. ელექტრონების საბოლოო აქცეპტორი არის მოლეკულური ფანგბადი, რომელიც ელექტრონების გარდა H⁺ იონებსაც იკავშირებს, რის შედეგადაც წარმოიქმნება წყალი. H⁺ იონების რეზერვუარი იძლევა ენერგიას ADP-დან ATP-ის სინთეზისათვის.

თუ ფანგბადი არასაკმარისია ელექტრონტრანსპორტული ჯაჭვიდან გადაცემული ელექტრონების მისაერთებლად, მაშინ უჯრედში სუნთქვის მაგივრად დუღილი მიმდინარეობს. ამ დროს უჯრედი ენერგიის წყაროს ისეთი უმნიშვნელო რაოდენობით კმაყოფილდება, რასაც გლიკოლიზი იძლევა. ასეთ პირობებში საფუარი გლიკოლიზის შედეგად წარმოქმნილ პირუეტს ნახშირორჟანგად და სპირტად გარდაქმნის, ხოლო კუნთებში ეს ნაერთი რძის მჟავად გარდაიქმნება. ორივე შემთხვევაში NAD, განთავისუფლდება რა წყალბადისაგან, გლიკოლიზის პროცესს უბრუნდება, სადაც ხელახლა იერთებს წყალბადის ატომს. ამის შემწეობით გრძელდება როგორც გლიკოლიზის, ასევე ATP-ის სინთეზის პროცესი.

გლუკოზა ძირითადი ნივთიერებაა, რომელიც სუნთქვის პროცესში იშლება, მაგრამ ATP-ის სინთეზისათვის ორგანიზმი ნებისმიერ ორგანულ ნივთიერებას იყენებს. საკვები ნივთიერებების დაშლის ურთიერთდაკავშირებული გზები სინთეზისათვისაც გამოიყენება. საკვებთან ერთად მიღებული ჭარბი რაოდენობის ცილები და ნახშირწყლები ცხიმად გარდაიქმნება და ორგანიზმში ჭარბ ცხიმებთან ერთად ინახება.

შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა

1. ლიმონმყავას ციკლის ძირითადი საბოლოო პროდუქტებია:
 - ა) ნახშირორჟანგი და ჟანგბადი.
 - ბ) ნახშირორჟანგი და $FAD \cdot H_2$.
 - გ) მჟაუნმმარმყავა და პირუვატი.
 - დ) მჟაუნმმარმყავა და ADP.
 - ე) მჟაუნმმარმყავა, NAD.H და ADP.
2. ჟანგბადის არსებობისას $NAD.H + H^+$ გლიკოლიზიდან მიემართება:
 - ა) ელექტრონების გადამტან ჯაჭვში.
 - ბ) წყლისკენ.
 - გ) ლიმონმყავას ციკლში.
 - დ) ცხიმოვანი მარაგისაკენ.
 - ე) პირუვატისაკენ.
3. უჯრედის სუნთქვაში ჟანგბადის ფუნქციაა:
 - ა) ნახშირორჟანგის წარმოქმნა.
 - ბ) H^+ რეზერვუარიდან ენერჯის გათავისუფლება.
 - გ) პირუვატიდან აცეტილ CoA-ს წარმოქმნა.
 - დ) წყალბადის შეკავშირება და წყლის წარმოქმნა.
 - ე) $NAD.H + H^+$ -თან დაკავშირება.
4. ელექტრონების გადამტანი ჯაჭვი იმყოფება:
 - ა) ეუკარიოტების მიტოქონდრიის შიდა მემბრანაზე და პროკარიოტების უჯრედის მემბრანაზე.
 - ბ) ეუკარიოტებში მიტოქონდრიის შიდა მემბრანაზე და პროკარიოტების ციტოპლაზმაში.
 - გ) ეუკარიოტების გარე მიტოქონდრიულ მემბრანაზე და პროკარიოტების ციტოპლაზმაში.
 - დ) პროკარიოტების და ეუკარიოტების ციტოპლაზმაში.
5. საფურა სოკოებში და კუნთებში მიმდინარე დუღილის არსი მდგომარეობს შემდეგი ნივთიერებების წარმოქმნაში:
 - ა) ნახშირორჟანგის.
 - ბ) სპირტის.
 - გ) NAD-ის $NAD.H + H^+$ -იდან.
 - დ) აცეტილ CoA-სი.
 - ე) რძის მჟავის.
6. სუნთქვის დროს ერთი მოლეკულა გლუკოზა სრული დაშლისას 25 მოლეკულა ATP-ს იძლევა. დუღილის დროს ერთი მოლეკულა გლუკოზიდან მიიღება ————— მოლეკულა ATP. ჟანგბადის უქმარისობისას კუნთის დროებით აკლდება ენერჯის ——— %, რომელიც მას გლუკოზის მოლეკულის სრული დაშლისას შეიძლებოდა მიეღო.

კითხვები განხილვისათვის

1. შეადარეთ ფოტოსინთეზი უჯრედის სუნთქვას. მიუთითეთ მათში მიმდინარე პროცესების მსგავსებაზე და განსხვავებაზე საწყისი შენაერთების და საბოლოო, შუალედური პროდუქტების და სხვა აუცილებელი ნივთიერებების, ენერჯის წყაროს და სხვათა მიხედვით.

2. რატომ, რომ მაფოტოსინთეზებელი მცენარეები საჭიროებენ უჯრედულ სუნთქვას? სუნთქვას თუ არა მათი ყველა უჯრედი?

3. ერთ დროს სიმსივნის საწინააღმდეგოდ ფართოდ გამოიყენებოდა პრეპარატი ამიგდალონი (ლეტრილი). საჭმლის მომწელებელი ფერმენტების ზემოქმედებით ამიგდალონი იშლებოდა ციანიდის გამოყოფით. ავადმყოფები, რომლებიც ღებულობდნენ ამიგდალონის დიდ დოზას, იღუპებოდნენ ციანიდებით მოწამვლისაგან. ციანიდი იწვევს ელექტრონების გადაამტანი ჯაჭვის ზოგიერთი კომპონენტის ინაქტივაციას. როგორ ახსნით მის ამ ტოქსიკურ მოქმედებას?
4. რატომაა, რომ საკვები პროდუქტები, რომლებიც ბევრ ცხიმს შეიცავს, უფრო ძვირად ღირებულია, ვიდრე ნახშირწყლებისაგან შემდგარი საკვები?
5. ამტკიცებენ, რომ ზოგი “ნატურალური” შაქარი, მაგალითად, ფრუქტოზა, იმდენად არ იწვევს სიმსუქნეს, როგორც, ვთქვათ, გლუკოზა ან საქაროზა. რა შეგიძლიათ თქვათ ამის შესახებ?

ნარკვევი. პასტერი და საფუარი

სიტყვა “ენზიმი“ (ფერმენტის სინონიმი) ბერძნულად ნიშნავს “საფურში“. ფერმენტების ადრეული გამოკვლევების მცდელობები იმისაკენ იყო მიმართული, რომ შეესწავლათ სპირტული დუღილის პროცესი, რომელიც ღვინის დამზადებას ეღო საფუძვლად. ჯერ კიდევ 1785 წელს ფლორენციის მეცნიერებმა აკადემიამ დააწესა ჯილდო დუღილის თეორიისათვის. დუღილის პროცესების გარკვევით შესაძლებელი იქნებოდა ღვინის შენახვის მეთოდების შემუშავება და გაღატანისას მისი გაფუჭების თავიდან აცილება. მაგრამ არაფერი რეალური ამ სფეროში არ გაკეთდა, ვიდრე მეღვინეებმა თხოვნით არ მიმართეს ლუი პასტერს – შეესწავლა ე.წ. l'amer (ღამჭავება), მოვლენა, რომელიც ყოველწლიურად საუკეთესო ბურგუნდიული ღვინის დიდ რაოდენობას აფუჭებდა. გამოკვლევების შედეგად პასტერი მივიდა იმ დასკვნამდე, რომ დუღილი ხდება მხოლოდ ცოცხალი საფუარის არსებობისას. ცნობილი გერმანელი ქიმიკოსი ლიბიხი დუღილს სუფთა ქიმიურ პროცესად თვლიდა. იგი საფუარის უჯრედებს დუღილით კლავდა, ხოლო შემდეგ ამოწმებდა, გარდაქმნიდნენ თუ არა ისინი შაქარს. რადგან ამ დროს დუღილი არ აღინიშნებოდა, გაკეთდა დასკვნა, რომ ფერმენტები – ეს კატალიზატორებია, რომლებსაც არ შეუძლიათ უჯრედის გარეთ ფუნქციონირება. ახლა ვიცით, რომ ფერმენტები შეიძლება უჯრედის გარეშეც არსებობდნენ და ლიბიხი, დუღილით კლავდა რა უჯრედებს, ერთდროულად ფერმენტების რთულ სტრუქტურას არღვევდა და მათ აქტიურობას უკარგავდა.

პასტერმა დაადგინა, რომ ღვინის გაფუჭება ბაქტერიებით იყო გამოწვეული. მიკროსკოპულმა გამოკვლევებმა გვიჩვენა, რომ ღვინო იმ შემთხვევაში ფუჭდება, თუ მასში აღმოჩნდება უფრო მეტი ბაქტერია, ვიდრე საფუარი. ღვინის გაფუჭება შეიძლება თავიდან ავიცილოთ, თუ სისუფთავეს დავიცავთ – მოვახდენთ სტერილიზაციას გოგირდოვანი ანაზღორით, რაც ფართოდ გამოიყენება თანამედროვე ტექნიკაში. პასტერმა ასევე დაადგინა, თუ რატომ უნდა იქნეს გამორიცხული დუღილის დროს ღვინოში ჰაერის შეღწევა. ღვინის საფუარი ჟანგბადის არარსებობისას სპირტს წარმოქმნის, ჟანგბადის არსებობისას კი სხვა რაისი საფუარი სოკოები და ბაქტერიები სპირტს ძმარმჟავად გარდაამქნიან ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH}$). ამის გამო ღვინო ძმარდება და სასმელად უუარგისი ხდება.

პასტერის შრომამ “Etudes sur le Vin“, რომელიც 1866 წელს გამოქვეყნდა, ღვინის წარმოებაში რევოლუცია მოახდინა და ღვინის დამზადება მეცნიერულ გზაზე დააყენა.

XIII თავი

სიცოცხლის წარმოშობა

ამ თავის დამუშავების შემდეგ თქვენ უნდა შესძლოთ:

1. დაასახელოთ ორი მიზეზი, რომელთა გამოც ამჟამად დედამიწაზე სიცოცხლის თვითჩასახვა შეუძლებელია.
2. მიუთითოთ, თუ რით განსხვავდება ძირითადად დედამიწის ამჟამინდელი და პირველადი ატმოსფეროს შედგენილობა.
3. ახსნათ, თუ რატომ აქვს ღიდი მნიშვნელობა დროის ფაქტორს სიცოცხლის წარმოშობის თეორიისთვის?
4. დედამიწაზე ორგანული ნივთიერებების წარმოშობიდან სუნთქვითი პროცესის წარმოშობამდე არსებული შესაძლო ეტაპების განხილვა. რა საბუთები გაგვანჩია ამ ეტაპების რეალურად არსებობის დასადასტურებლად?
5. ფოტოსინთეზისა და სუნთქვის მნიშვნელობის დახასიათება სიცოცხლის ევოლუციაში.
6. გარემომცველ გარემოში ცოცხალი ორგანიზმთა მიერ გამოწვეული ცვლილებების ჩამოთვლა და ახსნა, თუ რა გავლენას ახდენს გარემოს ცვლილებები ამჟამად არსებულ ცოცხალ ორგანიზმთა ევოლუციაზე.

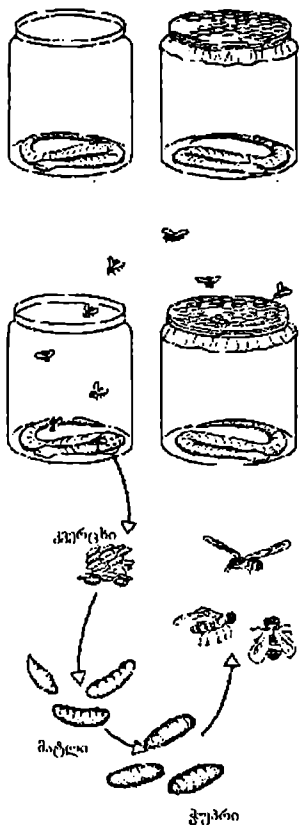
საშუალება რომ გვექონდეს თვალი მივაღვენოთ ცოცხალი ორგანიზმების წარმოშობას მათი სათავედან, თვალწინ გადაგვეშლებოდა უჯრედების გრძელი რიგი, რომელიც საუკუნეთა სიღრმეს წვდება. თითოეული ასეთი უჯრედი თავის დროზე სხვა უჯრედის გაყოფის გზით წარმოიშვა... მაგრამ საიდან გაჩნდა ის პირველი უჯრედი?

13.1. თვითჩასახვა

ათასეული წლების მანძილზე ადამიანებს სჯეროდათ თვითჩასახვისა და მას უსულო მატერიიდან სიცოცხლის წარმოქმნის ჩველებრივ გზად თვლიდნენ. არისტოტელე წერდა, რომ ბაყაყი და მწერები ნესტიან ნიადაგში თავისთავად ჩნდებიან. სხვები თვლიდნენ, რომ დამდგარ წყალში წარმოიქმნებიან ჭიები და წყალმცენარეები, ხოლო დამალ ხორცში – ბუზის მატლები.

1668 წელს იტალიელმა მეცნიერმა ფრანჩესკო რედემ მკვდარი გველები მინის ქილებში მოათავსა. ქილების ნაწილი მან მარმამით დაფარა, მეორე ნაწილი კი ღიად დატოვა. მალე მოფრინდნენ ბუზები და ღიად დატოვებულ ქილებში მოთავსებულ მკვდარ გველებზე კვერცხები დადეს, საიდანაც მატლები გამოიჩვენეს. დახურულ ქილებში მატლები არ აღმოჩნდნენ, რადგანაც იქ ბუზები ვერ აღწევდნენ (სურ.13.1).

ამ და სხვა მსგავსმა ცდებმა თითქმის ყველა დაარწმუნა, რომ მცენარეები და ცხოველები მშობლიური ორგანიზმების თესლებისა და კვერცხებისგან ჩნდებიან და არა უსულო მატერიისაგან.



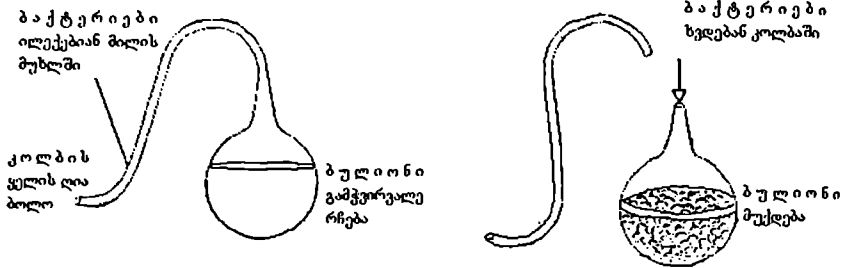
სურ.13.1. ფრანჩესკო რედის (1668 წ.) ცდა. ზოგიერთი ქილა, რომლებშიც მკვდარი გველები იყო მოთავსებული, დახურეს მარმამით, სხვა ქილები კი ღიად იყო დატოვილი. ბუზების მატლები მხოლოდ ღია ქილებში აღმოჩნდა. დახურულში ისინი არ იყვნენ. რედის ეს იმით ახსნა, რომ ბუზებმა ღია ქილებში შეაღწიეს და კვერცხები დადეს, საიდანაც ბუზების მატლები გამოიჩვენენ (ბუზების განვითარების ციკლი სურათის ქვემო ნაწილში არის მოყვანილი). დახურულ ქილებში ბუზებმა ვერ შეაღწიეს და ამიტომაც აქ არც მატლები და არც ბუზები არ აღმოჩნდნენ.



სურ.13.2. ლუი პასტერი (1822-1895), რომელსაც მიკრობიოლოგიის მამას უწოდებენ ბაქტერიების, საფურების და სხვა მიკროორგანიზმების შესასწავლად ჩატარებული მნიშვნელოვანი შრომების გამო.

მე-17 საუკუნეში ანტონ ვან ლევენჰუკმა, რომელიც ოპტიკურ მიწებს ხეხავდა, შექმნა მიკროსკოპი. მიკროსკოპის დახმარებით მან აღმოაჩინა, რომ გუბურებსა და თხრილებში, ნიადაგსა და ბევრ სხვა ადგილას, შესაძლოა საკუთარ სხეულშიც, ბინადრობენ ნამცეცა ორგანიზმები, რომელთა დანახვა შეუიარაღებელი თვალით შეუძლებელია. ლევენჰუკმა გამოთქვა მოსაზრება, რომ ეს მიკროორგანიზმები ან "ანიმალკულები", როგორც მან უწოდა, თავისივე მსგავსი ორგანიზმებიდან წარმოიშეებიან.

მე-18 საუკუნეში მცხოვრები ლანძარო სპალანცანი ამ აზრს იზარებდა. მან გადაწყვიტა ცდების საშუალებით დაემტკიცებინა, რომ მიკროორგანიზმები (ბაქტერიები, ობის სოკოები და ა.შ.) ძალიან ხშირად აღმოჩნდებიან ზოლმე ზორცის ბულიონში, მაგრამ ეს თვითნასახვით არ ხდება. ამ მიზნით მან კოლებები ბულიონით გაავსო, დადგა ცეცხლზე და წამოაღწია. ამის შედეგად კოლებების ღიდ ნაწილში მიკროორგანიზმები აღარ იყო. თავის ცდებზე დაყრდნობით



სურ.13.3. პასტერის ცდებში გამოყენებული მოღუნულყელიანი კოლბები. მილაკის ღია ბოლოდან ჰაერი თავისუფლად შედის, მაგრამ მის მოღუნულ ნაწილში იგი სწრაფად ვერ გადის და ჰაერში არსებულ ბაქტერიებს თან ვერ გაიყოლებს. ამიტომაც ბაქტერიები და ჰაერში მყოფი სხვა უჯრედები მილის მოღუნულ ნაწილში ილექებიან მაშინ, როცა ჰაერი გზას აგრძელებს და კოლბაში ზვდება. კოლბაში შეღწევა და აქ მოთავსებული ბულიონის გახრწნა ბაქტერიებს მხოლოდ მაშინ შეეძლოთ, თუ კოლბას ყელს მოატეხდნენ.

სპალანცანი ამტკიცებდა, რომ მიკროორგანიზმებს თვითჩასახვა არ შეუძლიათ. ამ თვალსაზრისის მოწინააღმდეგეები ამტკიცებდნენ, რომ სპალანცანის ცდებში დაზურულ ქილებში ჰაერი სიცოცხლისთვის უუარგისი გახდა ან აღუღებამ დაშალა რომელიმე სიცოცხლისთვის მნიშვნელოვანი მოლეკულები, რომლებიც აუცილებელი იყო არაცოცხალი მატერიის ცოცხლად გარდასაქმნელად.

მე-19 საუკუნის შუა წლებში თვითჩასახვის თეორია გამანადგურებელი დარტყმა მიაყენეს ფრანგმა ლუი პასტერმა და ინგლისელმა ჯონ ტინდალმა. მათ აჩვენეს, რომ ბაქტერიები ჰაერში ვრცელდება და თუ კოლბაში მოხვედრილ ჰაერში ისინი არ იმყოფებიან, ბულიონში ვეღარ გამრავლდებიან. პასტერი თავის ცდებში იყენებდა S-ის ფორმის მოღუნულყელიანი კოლბას. ეს ყელი აკავებდა ბაქტერიებს, ჰაერი კი კოლბაში თავისუფლად შედიოდა და გამოდიოდა (სურ.13.3). ტინდალი კოლბაში შემავალ ჰაერს ბამბის ფენებში ანდა ალში გატარებით ასტერილებდა. გასული საუკუნის 70-იანი წლების ბოლოს პრაქტიკულად ყველა მეცნიერმა, ყველაზე ვიეტების გარდა, აღიარა, რომ ნებისმიერი ზომის ცოცხალი ორგანიზმი მხოლოდ სხვა ცოცხალი ორგანიზმისგან წარმოიშობა. ამას კი კვლავ მივყავით იმავე კითხვისკენ: საიდან გაჩნდნენ პირველი ცოცხალი ორგანიზმები?

13.2. სიცოცხლის წარმოშობისთვის აუცილებელი პირობები

ზმირად ამტკიცებენ, რომ პასტერმა უარყო თვითჩასახვის თეორია. სინამდვილეში კი, როგორც თვით პასტერი აღნიშნავდა, მან მხოლოდ დაამტკიცა, რომ მის კოლბებში ცდებისთვის

შერჩეულ პირობებში (სტერილური საკვები გარემო, სუფთა ჰაერი) ჩასახვა ნამდვილად არ ხდებოდა. თუმცა მან სრულებითაც ვერ დაამტკიცა, რომ სიცოცხლის წარმოშობა არაცოცხალი მატერიიდან შეუძლებელი იყო.

თანამედროვე მეცნიერები ვარაუდობენ, რომ სიცოცხლე არაცოცხალი მატერიისგან წარმოიქმნა ისეთ პირობებში, რომელიც მკვეთრად განსხვავდებოდა ამჟამინდელისაგან. ეს პროცესი მილიონობით წელს გრძელდებოდა. ბევრი ავტორი სიცოცხლის წარმოშობას მატერიის ევოლუციის აუცილებელ ეტაპად თვლის და უშვებს, რომ სიცოცხლე სამყაროში არაერთხელ და მრავალ ადგილზე წარმოიშვა.

როგორ პირობებში არის შესაძლებელი სიცოცხლის წარმოშობა? ალბათ, არსებობს ოთხი მთავარი პირობა, სახელდობრ: გარკვეული ქიმიური ნივთიერებებისა და ენერჯის წყაროს არსებობა, პიროვანი ფანგბადის (O-ის) უქონლობა და განუსაზღვრელად დიდი დრო. აუცილებელი ქიმიური ნივთიერებებისგან დედამიწაზე ყველაზე დიდი რაოდენობით წყალი მიიპოვება, სხვა არაორგანული ნაერთები კი – მთის ქანებში, ეულკანების ამოფრქვევის შედეგად გამოყოფილ აიროვან მასებში და ატმოსფეროშია. სანამ განვიხილავდეთ, თუ როგორ შეიძლებოდა ამ მარტივი ნივთიერებებისგან ენერჯის სხვადასხვა წყაროს დახმარებით ორგანული ნივთიერებების მოლეკულების წარმოშობა (იმ ცოცხალი ორგანიზმების გარეშე, რომლებიც ახლა მათ აწარმოებენ), გავაანალიზოთ მესამე და მეოთხე პირობები.

დრო. ფერმენტების დახმარებით ნივთიერების ქიმიური გარდაქმნა 1-2 წაშში მთავრდება, ხოლო ფერმენტის გარეშე ამ რეაქციას მილიონობით წელი დასჭირდებოდა. სავარაუდოა, რომ ფერმენტების გაჩენამდე რეაქციების დაჩქარება ენერჯის წყაროების და სხვა კატალიზატორების საშუალებით ხდებოდა, მაგრამ მაინც ძალიან ნელი ტემპით მიმდინარეობდა. მარტივი ორგანული მოლეკულების წარმოქმნის შემდეგ ისინი, ალბათ, უფრო მსხვილ და რთულ სტრუქტურებად გაერთიანდნენ. იმის ალბათობა კი, რომ იმ პირობებში ეს მოხდებოდა, ძალიან მცირეა.

თუმცა, თუ დრო ძალიან დიდია, თუნდაც ყველაზე ნაკლებად სარწმუნო მოვლენა როდესმე აუცილებლად მოხდება. მაგალითად, დავეუშვათ, რომ ესა თუ ის მოვლენა ერთ წლის განმავლობაში მოხდება 0,001-ის ალბათობით მაშინ იგი არ მოხდება 0,999-ის ალბათობით. იმის ალბათობა, რომ იგი არ მოხდება ორი წლის განმავლობაში იქნება (0,999)², ხოლო სამი წლის განმავლობაში – (0,999)³. 13.1 ცხრილიდან ჩანს, თუ რამდენად მცირეა იმის ალბათობა, რომ ეს მოვლენა არ მოხდება 8 128 წლის განმავლობაში და პირიქით, ძალიან დიდია იმის ალბათობა (0,9997), რომ ეს მოხდება ამ პერიოდში ერთხელ მაინც და ეს შეიძლებოდა საკმარისი ყოფილიყო იმისთვის, რომ დედამიწაზე სიცოცხლე აღმოცენებულიყო. იმ მოვლენის ალბათობა, რომელზედაც დამოკიდებული იყო სიცოცხლის წარმოშობა 0,001-ზე გაცილებით ნაკლები იყო, მაგრამ სამაგვიეროდ, მისთვის საჭირო დრო განუზომლად დიდი აღმოჩნდა. დედამიწა, როგორც ვარაუდობენ, 4,6 მილიარდი წლის წინათ წარმოიქმნა და პირველი ჩვენთვის ცნობილი პროკარიოტული უჯვრედების ნაშთები აღმოჩენილი იყო მთის ქანებში, რომელთა ფორმირება 1,1 მილიარდი წლით გვიან მოხდა. ამრიგად, არც ისე ნაკლებ სარწმუნოდ გვეჩვენება ცოცხალი სისტემების გაჩენა. ამისთვის საჭირო დრო იმდენად დიდი იყო, რომ ეს უკვე გარდაუვალი გახდა.

ცხრილი 13.1. ალბათობა იმისა, რომ მოცემული მოვლენა არ მოხდება

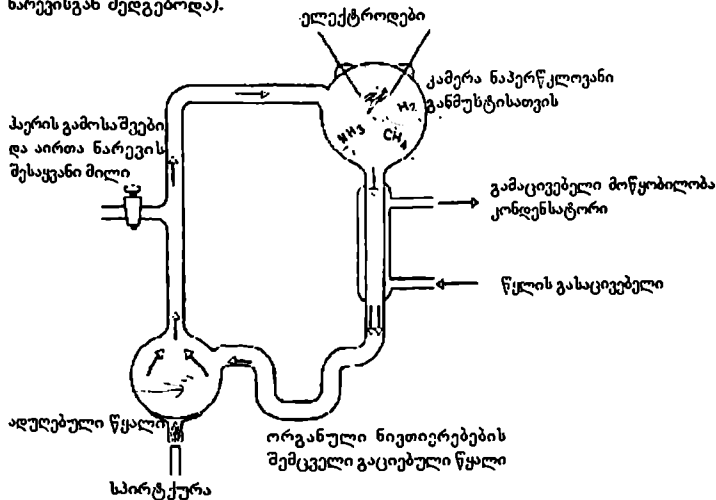
თუ იმის ალბათობა, რომ მოცემული მოვლენა არ მოხდება ერთი წლის განმავლობაში, ტოლია 0,999	
მაშინ 2 წლისთვის ის უტოლდება	0,998
" 3 " " "	0,997
" 4 " "	0,996
1024	0,359
2048	0,129
" 4096	0,017
" 8128	0,000276

აიროვანი ჟანგბადის არარსებობა. სიცოცხლის წარმოქმნა მხოლოდ ისეთ პირობებში იყო შესაძლებელი, როცა დედამიწის ატმოსფეროში არ იყო ან თითქმის არ იყო მოლეკულური ჟანგბადი. ჟანგბადი ურთიერთმოქმედებს ორგანულ ნივთიერებებთან და შლის მათ, ანდა უკარგავს იმ თვისებებს, რომელთა გამოც ისინი ჯერ კიდევ არაცოცხალი სისტემებისთვის სარგებლობის მომტანი იქნებოდა. ეს პროცესი ნელა მიმდინარეობს, მაგრამ მაინც უფრო სწრაფი იქნებოდა იმ რეაქციებზე, რომლებსაც შესაძლოა პირველყოფილ დედამიწაზე სიცოცხლის გაჩენამდე ჰქონდათ ადგილი და რომელთა შედეგადაც უნდა წარმოშობილიყო პირველი ორგანული მოლეკულები. ამიტომაც, თუ პირველყოფილ დედამიწაზე ორგანული ნივთიერებები შეეხებოდნენ მოლეკულურ ჟანგბადს, დიდხანს ვერ იარსებებდნენ და უფრო რთული სტრუქტურების წარმოქმნას ვერ მოასწრებდნენ. ეს არის სწორედ ერთ-ერთი მიზეზი, რომლის გამოც დღეს ორგანული ნივთიერებებიდან სიცოცხლის თვითნასახვა შეუძლებელია (გორე მიზეზი ის არის, რომ ჩვენს დროში თავისუფალი ორგანული ნივთიერებები ბაქტერიების და სოკოების მიერ უკვე მანამდე შთანთქმება, ვიდრე მათ დაშლას ჟანგბადი მოასწრებდეს).

დედამიწის უძველესი ქანების წარმოქმნა ხდებოდა მაშინ, როდესაც ატმოსფერული ჰაერი მოლეკულურ ჟანგბადს არ შეიცავდა. მზის სისტემის ყველაზე დიდი პლანეტების — იუპიტერის და სატურნის ატმოსფეროები ძირითადად აიროვანი წყალბადისგან, წყლისა და ამიაკისგან შედგება. შესაძლოა, რომ დედამიწის პირველად ატმოსფეროსაც ასეთი შედგენილობა ჰქონდა. მაგრამ სიმსუბუქის გამო წყალბადი მოწყდა დედამიწის მიზიდულობის სფეროდან და კოსმოსურ სივრცეში გაიფანტა. მზის გამოსხივება, რომელიც გაცილებით უფრო ინტენსიური იყო დედამიწაზე, ვიდრე სხვა პლანეტებზე, ალბათ იწვევდა ამიაკის დაშლას წყალბადად (რომელიც ასევე იფანტებოდა კოსმოსურ სივრცეში) და მოლეკულურ აზოტად. იმ დროისთვის, როცა დედამიწაზე სიცოცხლის ჩასახვა მოხდა, მისი ატმოსფერო, ალბათ, ძირითადად შედგებოდა წყლის ორთქლისგან, ნახშირბადის და აზოტის ორჟანგისგან, ზოგიერთი სხვა აირის მცირე მინარევებისგან და არ შეიცავდა მოლეკულურ ჟანგბადს. დედამიწის ატმოსფეროში დღეს არსებული მოლეკულური ჟანგბადი პრაქტიკულად მთლიანად ცოცხალი ორგანიზმების მიერ წარმოებული ფოტოსინთეზის შედეგია.

13.3. სიცოცხლის საწყისის ძიება

ჩვენ, რა თქმა უნდა, არ შეგვიძლია სრულად წარმოვიდგინოთ, თუ როგორი იყო სინამდვილეში პირველყოფილი დედამიწა, მაგრამ ამ საკითხზე გარკვეული მოსაზრებების გამოთქმა შეიძლება. 1924 წელს ალექსანდრე ოპარინმა გამოთქვა ჰიპოთეზა სიცოცხლის წარმოშობის თაობაზე. ოპარინის მოსაზრება განაუთარა ინგლისელმა მეცნიერმა ჯ. ჰოლდენმა. 1953 წელს სტენლი მილერმა ამ ჰიპოთეზის ექსპერიმენტული შემოწმება დაიწყო. მილერმა შექმნა ხელსაწყო, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელი გახდა პირველყოფილ დედამიწაზე არსებული პირობების, მათ შორის მისი "ოკეანის" და "ატმოსფეროს" მოდელირება. (სურ.13.4). (ამ მოდელში "ატმოსფეროს" წარმოადგენდა აიროვანი წყალბადის, ამიაკისა და მეთანის ნარევი, რადგანაც მამინდელი წარმოდგენით დედამიწის პირველადი ატმოსფერო სწორედ ამ აირების ნარევისგან შედგებოდა).



სურ.13.4. მილერის მიერ გამოყენებული ხელსაწყო, რომელიც აღადგენდა პირველყოფილ დედამიწაზე არსებულ პირობებს. ფეხბურთის პურთის სიდიდის მინის სფერო შეიცავს „ატმოსფეროს“ – ამიაკი, მეთანი და აიროვანი წყალბადი. ელექტროდების მიერ შექმნილი ნაპერწყლების მუხტი აკეთებს ელვის, როგორც ენერჯის წყაროს იმიტაციას. წყალი წარმოადგენს „ოკეანეს“. მას აცხელებენ და „ატმოსფეროში“ ერევა წყლის ორთქლი, რომელიც შემდეგ წვიმის იმიტირებისთვის კონდენსატორით ცივდება. ეს ცდა იმდენად მარტივია, რომ მისი გამეორება სკოლის მოწყობებსაც კი შეუძლიათ.

მილერის კამერაში დამონტაჟებული იყო ელექტროდები ელექტრული მუხტის მისაღებად, რაც ელვის იმიტაციას ახდენდა. სავარაუდოა, რომ ელვა იყო ენერჯის ის წყარო, რომლის საშუალებითაც პირველყოფილ დედამიწაზე ქიმიური რეაქციები მიმდინარეობდა. მხოლოდ ერთი კვირა აღმოჩნდა საკმარისი, რომ „ოკეანეში“ მრავალი სხვადასხვა სახის ორგანული ნივთიერება აღმოჩენილიყო. მკვლევარები განსაკუთრებით აღელვა ამ ნარევი ისეთი

ნივთიერებების აღმოჩენამ, როგორც ამინომჟავებია. ამინომჟავები ზომ ცილების მოლეკულების სამშენებლო ბლოკებია. მილერის შემდეგ ჩატარებულ ანალოგიურ ცდებშიც მოხერხდა სხვადასხვა ორგანული ნივთიერებების მიღება. მათ შორის ისეთისაც, რომელიც მილერს არ მიუღია.

ცხრილი 13.2. ცოცხალი ორგანიზმების მონაწილეობის გარეშე ორგანული ნივთიერებების წარმოქმნისათვის საჭირო ენერჯის წყაროები

ელვა

ულტრაიისფერი გამოსხივება

კოსმოსური სხივები

რადიაქტიური ნაწილაკები

დედამიწის ატმოსფეროში მოხვედრილი მეტეორიტების დარტყმითი ტალღა

სითბო (ვულკანური წარმოშობის, ცხელი ლავის, ცხელი წყლების, გეიზერების)

ამ შენაერთების წარმოქმნა ამჟამადაც ხდება, როდესაც ვულკანების ამოფრქვევის შედეგად გამოყოფილი აიროვანი პროდუქტები და ლავა წყალთან შედის რეაქციაში. გარდა ამისა, სხვადასხვა ორგანული ნივთიერება აღმოჩენილია მეტეორიტებისა და სხვა პლანეტების ატმოსფეროს შემადგენლობაში. ყველაფერი ეს ამტკიცებს, რომ პირველყოფილ დედამიწაზე ორგანული ნივთიერებები შეიძლებოდა წარმოშობილიყო ცოცხალი ორგანიზმების მონაწილეობის გარეშე. რადგანაც იმ დროს არ იყო ჟანგბადი, რომელიც ამ ნივთიერებებს დაშლიდა და არ იყვნენ ცოცხალი ორგანიზმები, რომელთაც მათი საკვებად გამოყენება შეეძლოთ, ეს ნივთიერებები გროვდებოდა პირველყოფილ ოკეანეში მანამ, სანამ, ეს უკანასკნელი პოლდინის გამოთქმით, „თბილ, გაზაგებულ ბულიონად“ არ იქცა.

შემდეგ ნაბიჯს წარმოადგენდა მცირე ორგანული მონომერებისგან უფრო მსხვილი პოლიმერების წარმოქმნა. პოლიმერების წარმოქმნასაც ენერჯია სჭირდებოდა. ამ დროს წყალი დიდი რაოდენობით არ უნდა ყოფილიყო, რადგანაც იგი პოლიმერების მონომერებად დაშლისთვის ამოსავალ ნივთიერებას წარმოადგენს.

სიღნეი ფოქსმა ამინომჟავების მშრალი ნარევი გაასურა და სითბური ენერჯის დახმარებით მიიღო ამინომჟავების ჯაჭვები, რომელთაც პროტეინოიდები (ე.ი. ცილის მავგარი ნივთიერება) უწოდა. პირველყოფილ დედამიწაზე ასეთი პროტეინოიდები შეიძლება წარმოქმნილიყო მოქცევის შემდეგ დარჩენილ გუბებში, როდესაც ცხელ მზიან დღეებში მათში წყალი აორთქლდებოდა. ფერმენტების მსგავსად, პროტეინოიდს ქიმიური რეაქციის კატალიზიც შეეძლო. სწორედ ამ თავისებურებამ განსაზღვრა მათი შემდგომი ევოლუცია, თვით თანამედროვე ფერმენტების წარმოქმნამდე.

13.4. აგრეგატების წარმოქმნა

მოკლევჯკვიანი პოლიმერები უადრესად არასტაბილურებია და წყლის დამატებით ხელახლა მონომერებად იშლებიან. შედარებით გრძელი ჯაჭვები ცდილობენ შეკვრას და მოლეკულის

ცალკეულ ნაწილებს შორის მიზიდვის წყალობით სტაბილურები ხდებიან. წვიმას და მოქცევას შეეხოთ ასეთი მოლეკულების ზღვაში ჩატანა, მაგრამ მათი დაშლა ალბათ უკვე ძნელი იყო.

თუ წყალში აუვრეთ სხვადასხვა სახის პოლიმერს, ისინი გაერთიანდებიან და უფრო მსხვილ მოლეკულებს შექმნიან (სურ.13.5). როგორი თვისებები უნდა ჰქონოდა ასეთ აგრეგატს, რომ უკრედად ჩამოყალიბებულიყო? ჩვენთვის ცნობილია თანამედროვე უჯრედების სამი მთავარი თვისება და ცხადია, რომ მათ წინაპრებს ეს თვისებები ჩანასახის სახით მაინც უნდა ჰქონოდათ. კერძოდ, მათ უნდა ჰქონოდათ:

1. ლიპიდურ-ცილოვანი მეშრანა, რომელიც უჯრედს გარემოსგან გამოიჯნავს და უჯრედსა და გარემოს შორის სხვადასხვა ნივთიერებათა მიმოცვლას აწარმოებს.

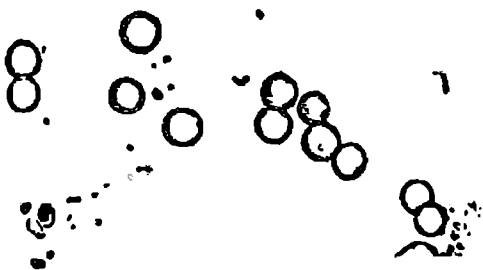
2. ცილები, რომლებიც გარემოსთან ნივთიერებათა ცვლას აწარმოებენ, ასრულებენ სტრუქტურული კომპონენტების როლს და (რაც ყველაზე მთავარია) აკატალიზებენ უჯრედის უამრავ ბიოქიმიურ რეაქციას.

3. ნუკლეინის მჟავები, რომლებიც გარკვეული ცილის შესახებ ინფორმაციას შეიცავენ.

აგრეგატებში შეგვიძლია დავინახოთ ამ ნიშნების გარკვეული კვალი. განსაკუთრებული ქიმიური თვისებებს გამო, ლიპიდები აგრეგატების ზედაპირზე გარსს ქმნიან (იხ. განყ.10.3). აგრეგატები, რომელთაც ლიპიდური გარსი არ გააჩნიათ, გარემომცველი წყლიდან ნივთიერებებს შერჩევით შთანთქავენ, რის გამოც ბევრი ზომის მოლეკულა მათში საკმაო კონცენტრაციით გროვდება. ზოგიერთი აგრეგატი ადვილად შთანთქმის ნუკლეოტიდებისგან შემდგარ პოლიმერებს (ნუკლეინის მჟავების წინამორბედებს, რომლებიც თანამედროვე უჯრედების გენეტიკური ინფორმაციის მატარებლები არიან). გარდა ამისა, აგრეგატებს ზოგიერთი ქიმიური რეაქციის კატალიზის უნარიც გააჩნიათ. მათ შეუძლიათ, მავალითად, მცირე მოლეკულების პოლიმერებად გაერთიანება. მათი შემადგენელი პოლიმერები სტაბილურება, რადგანაც მონომერებად დაშლის უნარი შემცირებული აქვთ. აგრეგატები იგროვებენ მრავალ სხვადასხვა ნივთიერებას, საბოლოო ჯამში ძალიან დიდ ზომებს აღწევენ და ცალკეულ ფრაგმენტებად იშლებიან.

რა თქმა უნდა, ყველა ეს თვისება ძალიან მნიშვნელოვანია, მაგრამ არ უნდა დავივიწყოთ, თუ რა დიდი უფსკრულია ამ მოლეკულურ აგრეგატებსა და თანამედროვე ცოცხალ უჯრედებს შორის. როგორც ოპარინი წერდა, ამ საწყისი პროტობიონტებიდან თანამედროვე პრიმიტიულ ბაქტერიებამდე გავლილი გზა არ არის უფრო მოკლე და მარტივი, ვიდრე გზა აშუბიდან აღმინამდე.

სურ.13.5. ეს 1-2 მკმ-ს დიამეტრის მქონე მიკროსფეროები წარმოადგენენ აგრეგატებს, რომლებიც პროტეინოიდებისთვის წყლის დამატების შედეგად წარმოიქმნიან. პროტეინოიდები მიღებული იყო ამინომჟავების შშრალი ნარევის გათბობის შედეგად. მიკროსფეროები ცილის ორმაგი შრით არის დაფარული. ისინი გარემომცველი არეღან შერჩევით შთანთქავენ სხვადასხვა ნივთიერებას, მათ შორის მოკლე ნუკლეოტიდურ პოლიმერებს. გარდა ამისა, მათში ხდება სხვადასხვა ქიმიური რეაქციის კატალიზი.



13.5. მეტაბოლიზმის წარმოშობა

ცოცხალ უჯრედებში რთული ქიმიური გარდაქმნები მიმდინარეობს. ყველა რეაქციას „მეტაბოლიზმის“ სახელწოდებით აერთიანებენ. აქ შედის სუნთქვა, რომლის შედეგადაც საკვები ნივთიერებებიდან ენერჯის გათავისუფლება ხდება. ენერჯის გამოყენება მოძრაობისთვის, პოლიმერების სინთეზისთვის და გარემოდან უჯრედში შემოსული ნივთიერებების დაგროვებისთვის. და ბოლოს, ერთი ნივთიერების მეორედ გარდასაქმნელად, რის შემდეგაც ის ან გამოიყენება, ან გროვდება, ან უჯრედიდან გამოიყოფა.

აგრეგატების შესწავლა საშუალებას გვაძლევს წარმოვიდგინოთ, თუ როგორ შეიძლებოდა წარმოქმნილიყო მეტაბოლიზმის რთული ბიოქიმიური გზები. იმისთვის, რომ ასეთი აგრეგატები ცოცხალ ორგანიზმებად გადაქცეულიყვნენ, ქიმიური ევოლუციის მილიონობით წლები იყო საჭირო, რომლის განმავლობაშიც გადაიჩრქოდა ისეთი ქიმიური კომბინაციები, რომლებსაც ყველაზე მეტ ხანს შეეძლოთ დაუმუშელად არსებობა. აგრეგატში ისეთი მოლეკულების არსებობა, რომლებიც სტაბილურ რეაქციებს აკატალიზებდნენ, მათ უფრო ხანგრძლივად არსებობას განაპირობებდა.

თავდაპირველად ასეთი რეაქციებისთვის საჭირო საწყისი ნივთიერებები ჭარბად იყო, რადგანაც მათი მოშხმარებელი აგრეგატები მცირე რაოდენობით არსებობდა. მაგრამ სტაბილური აგრეგატები იზრდებოდნენ და ფრაგმენტებად იყოფოდნენ. მათ ემატებოდა ახალი, სპონტანურად წარმოშობილი აგრეგატები. ბოლოს და ბოლოს, აუცილებელი ნედლეული უფრო სწრაფად იხარჯებოდა, ვიდრე წარმოიქმნებოდა. ამ პირობებში უნდა დაწყებულიყო გადარჩევა, რომელიც უპირატესობას მისცემდა იმ სისტემებს, რომლებიც ნედლეულისთვის კონკურენციაში უკეთეს შედეგებს მიაღწევდნენ, ანდა შეძლებდნენ სხვა, საკმაო რაოდენობის მქონე ნივთიერების, ნედლეულად გარდაქმნას. საბოლოოდ ნედლეულის ეს მეორე წყაროც დაილეოდა. ახლა უპირატესობა მიენიჭებოდა იმ სისტემებს, რომლებიც შეძლებდნენ რომელიღაც მესამე ნივთიერების მეორედ გადაქცევას, მეორისას კი – პირველად. ამ თანმიმდევრობის გამეორებისას მეტაბოლიზმის პროცესი გაგრძელდებოდა. გადარჩევის დროს უპირატესობა მიენიჭებოდა იმ სისტემებს, რომელთა კატალიზატორები სხვებისაზე სწრაფად იმოქმედებდნენ. ეს სისტემები სხვებზე სწრაფად დააგროვებდნენ საჭირო ნედლეულს, ამიტომაც სწრაფად გაიზრდებოდნენ და გამრავლდებოდნენ.

ჩვენ ვიცით, თუ როგორ იჭერენ და იყენებენ ენერჯიას თანამედროვე ეუკარიოტული უჯრედები. ახლა წარმოვიდგინოთ, როგორ მოხერხდა ამის მიღწევა ევოლუციის პროცესში.

ცნობილია, რომ ენერჯით უჯრედს ადენოზინტრიფოსფორმეა (ATP) ამარაგებს (გან. 11.2). ყველა უჯრედს აქვს წყალბადის იონების მეტრანის ერთი მხრიდან მეორეზე გადატანის გზით ენერჯის დაგროვების უნარი. ეს ენერჯია შემდეგ ATP-ის რეისინთეზს ხმარდება. შესაძლებელია, რომ პირველ აგრეგატებს ან პრიმიტიულ უჯრედებს ჰქონდათ ისეთი ტუშოები, რომლებიც მზის სინათლის ენერჯიას იყენებდნენ. ცნობილია, რომ ენერჯის ამ წყაროს დღესაც იყენებს ზოგიერთი ბაქტერია თავისი მარტივი წყალბად-იონური ტუშოებისათვის. ალბათ, ეს ტუშოები დიდი რაოდენობით ენერჯიას იძლეოდნენ და ერთი და იმავე ATP-ის ენერჯის მრავალჯერადი გამოყენების საშუალებას ქმნიდნენ. ასეთი ტუშოების ევოლუციის შედეგად

შესაძლებელი იყო ელექტრონების გადატანის უფრო გრძელი და უფრო რთული ჯაჭვის წარმოქმნა, რომელთა მსგავსი ახლა ფოტოსინთეზის და სუნთქვის პროცესში გვხვდება.

ამჟამად მცხოვრები ორგანიზმებისთვის დუღილის პროცესის შემადგენელი ნაწილია გლიკოლიზის პროცესი, რომლის დროსაც გლუკოზა პირუეტატამდე იშლება. ამიტომაც ბიოქიმიკოსები ვარაუდობენ, რომ ეს ზე ევოლუციის ადრინდელ ეტაპზე წარმოიქმნა, როგორც ATP-ის რეგენერაციის საშუალება. ლიმონმჟავას ციკლი და ელექტრონების გადატანის რთული ჯაჭვი დუღილის პროდუქტებიდან ენერჯის შემდგომი მიღების ეფექტური მექანიზმებია. ამჟამად ეს პროცესები ყველა ცოცხალი არსებისთვის არის დამახასიათებელი ზოგიერთი პრიმიტიული ბაქტერიის გარდა. თვლიან, რომ ATP-ის სინთეზის განმარტოვებული მექანიზმების ევოლუციის პროცესში აღნიშნული პროცესები ყველაზე გვიან წარმოიშვა.

13.6. გამრავლების წარმოშობა

თვითწარმოქმნის უნარის მქონე აგრეგატებს თანამედროვე უჯრედებთან ბევრი რამ აქვთ საერთო, მაგრამ მათ ვერ ჩავთვლით „ცოცხლებად“, რადგანაც ისინი არ ფლობენ გენეტიკურ ინფორმაციას, რომელიც მათ თვითწარმოქმნის შესაძლებლობას მისცემდა. გენეტიკური ინფორმაცია სპეციფიკური ცილოვანი მოლეკულების სინთეზის ზუსტ ინსტრუქციას შეიცავს. ეს ცილოვანი მოლეკულები მონაწილეობენ უჯრედის სტრუქტურების აგებაში, უჯრედში მიმდინარე მრავალი რეაქციის კატალიზში და ა. შ. გარდა ამისა, გენეტიკური ინფორმაცია თავის თავის თვითწარმოქმნის ინსტრუქციებსაც შეიცავს. გენეტიკური ინფორმაციის ეს თვისებები იმაზე მიუთითებს, რომ უჯრედს თავისივე მსგავსი უჯრედის შექმნის უნარი გააჩნია.

თანამედროვე ორგანიზმებში გენეტიკური ინფორმაციის დიდი ნაწილი დნმ-ის ნუკლეოტიდული მონომერების თანმიმდევრულ შეერთებაში არის კოდირებული. დნმ თავისივე მსგავსის შექმნის ზუსტ ინსტრუქციას შეიცავს. ამიტომაც უჯრედის გაყოფის შემდეგ წარმოქმნილი შვილეული უჯრედები ზუსტად იდენტურ გენეტიკურ ინფორმაციას ღებულობენ (მე-14 თავი). გარდა ამისა, დნმ განსაზღვრავს რნმ-ის მოლეკულის წარმოქმნას, რნმ კი, თავის მხრივ, განსაზღვრავს ამინომჟავების თანმიმდევრობას ცილის ამა თუ იმ მოლეკულის სინთეზის დროს (იხ. მე-15 თავი). ცილის სინთეზში მრავალი მოლეკულა მონაწილეობს და რეაქციის განხორციელებისთვის მათი ზუსტი თანმიმდევრობით მიწოდებაა საჭირო.

როგორ შეძლო ევოლუციამ ამ რთული სისტემის შექმნა? საქმე ის არის, რომ დნმ-ის და ცილის სინთეზის ყველა ეტაპს ფერმენტები აწარმოებდნენ. ე.ი. ჯერ ამ ფერმენტების წარმოქმნა იყო საჭირო. მათ შესახებ ინსტრუქციას კი თვით ნუკლეინის მჟავები შეიცვენ. ფაქტობრივად, ეს გეგონებს ქათმისა და კვერცხის პრობლემას: რა უფრო ადრე შეიქმნა – ფერმენტები თუ ნუკლეინის მჟავები?

არსებობს მოსაზრება, რომ გენეტიკური ინფორმაცია გაორმაგების უნარის მქონე რნმ-პოლიმერების სახით წარმოიქმნა. დროთა განმავლობაში ამ რნმ-პოლიმერებმა ცილების აწყობის უნარი შეიძინეს, ცილებმა კი რნმ-ის ახალი ასლების დიდი სისწრაფით კატალიზი დაიწყეს. ამ ორი კლასის ნივთიერებას შორის „შრომის განაწილება“ დაიწყო. ცილებმა

უშუალოდ დაიწყეს ახალი რნმ-ის და ახალი ცილების აწყობა, რნმ-მა კი ეს პროცესი საჭირო ინფორმაციით უზრუნველყო. დნმ უფრო სტაბილურია რნმ-თან შედარებით და თავისი ასლის შექმნა დიდი სიზუსტით შეუძლია. ამის შედეგად რნმ-მა შუამავლის როლი იკისრა და ამჟამად მას ინფორმაცია გადააქვს დნმ-იდან ცილასთან.

სხვა სურათიც შეიძლება წარმოვიდგინოთ. პროტეინოიდებში გაერთიანებული ზოგიერთი ამინომჟავა იზიდავდა გარკვეულ ნუკლეოტიდებს და პირიქით. თუ ეს ნუკლეოტიდები გაერთიანდებოდნენ და რნმ-ის მოლეკულას შექმნიდნენ, ეს მოლეკულა იქნებოდა ინფორმაციის მატარებელი იმ ვაკუბით, რომ მისი ნუკლეოტიდების შეერთების თანმიმდევრობა ქაოსური კი არ იქნებოდა, არამედ განისაზღვრებოდა პროტეინოიდის ამინომჟავეების თანმიმდევრობით. ასეთი რნმ კი, თავის მხრივ, თავდაპირველი პროტეინოიდის მსგავს ამინომჟავეებს მიიზიდავდა და ამინომჟავეები ბოლოს და ბოლოს ახალ პროტეინოიდს შექმნიდნენ. ამ სისტემაში დნმ მოგვიანებით უნდა იყოს ჩართული.

ევოლუციის პროცესში უპირატესობა უნდა ჰქონოდათ იმ მოლეკულების აგრეგატებს, რომლებშიც პროტეინოიდებსა და ნუკლეინის მჟავეებს შორის კავშირი უფრო ზუსტი იყო. აქ კომინაციები უფრო წარმატებით განხორციელდებოდა და კარგი შთამომავლობა მიიღებოდა, რაც რიცხობრიობის გაზრდას გამოიწვევდა. საბოლოო ჯამში ჩამოყალიბდა ამჟამად არსებული სისტემა, რომელშიც ყოველი სახის მოლეკულას სპეციფიკური ფუნქცია გააჩნია. ამ სისტემაში ზუსტად ხდება იმ მოლეკულების გამოცნობა, რომლებიც უნდა დაკავშირდნენ ერთმანეთთან, რათა განხორციელდეს დნმ-ის თვითგაორმაგება და ცილის სინთეზი იმ პროგრამით, რომელიც გენეტიკურ ინსტრუქციაში არის ჩადებული.

უნდა ვივარაუდოთ, რომ გამრავლების და მეტაბოლიზმის ევოლუცია ერთდროულად მიმდინარეობდა. რნმ-ის მოლეკულას ცილის გარეშე შეუძლია გაორმაგება, მაგრამ გენეტიკური ინფორმაციის გადაცემის თანამედროვე რთულ სისტემაში ამოსავალ ნაერთებს მეტაბოლური რეაქციების მრავალგვარობა უნდა იძლეოდეს. ამასთან ძნელი წარმოსადგენია რთული მეტაბოლური პროცესების მიმდინარეობა იმ სისტემის გარეშე, რომელიც უზრუნველყოფს ცილოვანი კატალიზატორების, ე.ი. ფერმენტების თუნდაც უხეში ასლების წარმოქმნას.

13.7. სიცოცხლის შემდგომი განვითარება

გენეტიკური ინფორმაციის კვლავწარმოების საიმედო მექანიზმის გაჩენის შემდეგ სიცოცხლის წარმოშობის პროცესი დამთავრდა (ცხრილი 13.3). ქიმიური ევოლუციის ერა დამთავრდა და ბუნებრივი გადარჩევის ერა დაიწყო. ახლა უჯრედების გადარჩევა ხდებოდა ენერჯის უფრო ეფექტური გზით მიღების მიმართულებით და მის გამოსაყენებლად ახალი თაობის შექმნაზე.

ზანგრძლივი დროის განმავლობაში ყველა ორგანიზმი ჰეტეროტროფული იყო. მათ საკვებს შეადგენდა ან გარემომცველი ორგანული მოლეკულები, ან ნაკლებ „ილბლიანი“ თანამომქმედი. ენერჯიაზე მთხოვნილებას ისინი მეჭურანასთან დაკავშირებული წყალბად-იონების ტუმბოებით და დუღილით იკმაყოფილებდნენ.

ეოლუციის შემდგომ მნიშვნელოვან მოვლენას ავტოტროფულობის განვითარება წარმოადგენდა. ორგანიზმებმა არაორგანული ნაერთებიდან საკვები ნივთიერებების სინთეზი დაიწყეს. ცოცხალი სამყარო აღარ იყო მთლიანად დამოკიდებული ორგანულ ნივთიერებებზე, რომლებიც გარემოში ნელი ტემპით წარმოიქმნებოდა. ახლა დედამიწას გაცილებით დიდი რაოდენობის ცოცხალი ორგანიზმების გამოკვება შეეძლო.

ამჟამად ჩვეულებრივი ავტოტროფები მწვანე მცენარეებია. მათი მაფოტოსინთეზებელი გზები ავტოტროფულობის საკმაოდ სრულყოფილი ფორმაა. თავის გამოკვებისათვის ეოლუციას სხვა, უფრო ნაკლებად ეფექტური „ექსპერიმენტები“ გააჩნდა. ზოგიერთი მათგანი ამჟამადაც შემორჩენილია თანამედროვე ბაქტერიების სახით. არსებობენ ქემოსინთეზის გზით მკვებები ბაქტერიები. სინათლის გარეშე ორგანული ნივთიერების წარმოსაქმნელად ნახორრფანგის ფიქსაციისთვის ისინი სხვადასხვა არაორგანული ნივთიერების დაქანგვის შედეგად გამოყოფილ ენერგიას იყენებენ. არსებობს ისეთი ბაქტერიებიც, რომლებსაც სინათლის სხივების დაჭერა შეუძლიათ. ორგანული ნივთიერებების შესაქმნელად საჭირო წყალბადის ატომებს მაფოტოსინთეზებელი ბაქტერიები იღებენ არა წყლის, არამედ ზოგიერთი სხვა ნივთიერების დაშლის შედეგად¹. ამ დროს მოლეკულური ჟანგბადის გამოყოფა არ ხდება. ამ ბაქტერიების შესწავლის შემდეგ ჩვენ ნათელი წარმოდგენა გვექმნება იმ ეტაპებზე, რომელიც უნდა გაეგო ფოტოსინთეზის ეოლუციას უძველესი დროიდან დღევანდელ მწვანე მცენარეებამდე.

დღევანდელ ატმოსფეროში არსებული მოლეკულური ჟანგბადი ძირითადად ფოტოსინთეზის შედეგად დაგროვდა. მოლეკულური ჟანგბადის ატმოსფეროში გამარჯნამ სერიოზული კრიზისი გამოიწვია, რამაც ძირფესვიანად შეცვალა გარემო არე: ჟანგბადი შლის ფლაუნებს, ფლაუნები კი მრავალი ბიოქიმიური პროცესისთვის აუცილებელი კოფერენტებია. ამიტომაც მათ გარეშე ცოცხალ ორგანიზმებს არსებობა არ შეუძლიათ. სავარაუდოა, რომ ჟანგბადის ამ დამზღველმა მოქმედებამ გამოიწვია გადარჩევის ზეგავლენა, რის შედეგადაც ეოლუციამ კიდევ ერთი მნიშვნელოვანი ნაბიჯი გადაიდგა და წარმოიშვა სუნთქვა.

როგორც ყველა სხვა მეტაბოლური პროცესი, სუნთქვაც თანდათანობით ეოლუციას განიცდიდა. თანამედროვე ბაქტერიების მაგალითზე ამ ეოლუციისათვის თვალის მიდევნებაც შეიძლება. შესაძლებელია, სუნთქვა იმით დაიწყო, რომ უჯრედის ცხოველქმედების ზოგიერთი პროდუქტი, მაგალითად, გლიკოლიზის პროცესში წარმოშობილი პირუვატი, შეუერთდა ჟანგბადს, რითაც უჯრედს შესაძლებლობა მიეცა ერთაშად ორი მომშხამეელი ნივთიერებისგან გათავისუფლებულიყო. (სწორედ ასეთ პროცესს იყენებენ ნათების წარმოსაქმნელად ციცი-ნათელები და ზოგიერთი სახეობის ბაქტერია). დროთა განმავლობაში სუნთქვის პროცესში სულ ახალ-ახალი ეტაპები ერთდებოდა. ეს უჯრედს საშუალებას აძლევდა, რომ დაერევეულიერბინა გლიკოლიზის პროდუქტებიდან ენერგიის მიღება, რაც ენერგიის დიდ გამოხავალს უზრუნველყოფდა. ლიმონმჟავას ციკლი და ელექტრონების გადატანის ჯაჭვი, რომელსაც დღევანდელი ორგანიზმები იყენებენ, მათ მეტი რაოდენობის (დახარჯულ ენერგიასთან შეფარდებით) ATP-ის მიღების საშუალებას აძლევს. სუნთქვის პროცესში გლუკოზის ერთი

¹ არ უნდა ავუროთო წყლის დაშლა, რომლის შედეგადაც მიიღება წყალბადის ატომები და მოლეკულური ჟანგბადი, წყლის დისოციაციასთან. ამ უკანასკნელის დროს მიიღება წყალბადის და კარბოქსიდის იონები. წყლის დისოციაცია თავისთავად ხდება და ამ დროს წარმოშობილ წყალბადის იონებს წყალბადის ტუმბო იყენებს. წყლის დაშლა კი ძალიან ძნელი პროცესია და ენერგიის დიდი რაოდენობით დახარჯვას მოითხოვს.

მოლეკულის დაშლის შედეგად ATP-ის დიდი რაოდენობით სინთეზმა (გლიკოლიზი ATP-ის ორ მოლეკულას იძლევა, სუნთქვა კი დაახლოებით 10-ჯერ მეტს) ორგანიზმებს უკეთესად ზრდის და გამრავლების შესაძლებლობა მისცა და ისინი ახალი ფერმენტებით და სტრუქტურებით აღჭურვა. მართალია, ეს ახალი სტრუქტურები მეტ ენერგიას საჭიროებდნენ, მაგრამ სამაგიეროდ მათი წყალობით აერობული (ჟანგბადის მომხმარებელი) ორგანიზმები კონკურენციას უკეთ უძლებდნენ და ანაერობულ (უჟანგბადო არეში მცხოვრებ) ორგანიზმებთან დიდი უპირატესობა ჰქონდათ. დღეისათვის ანაერობული ორგანიზმები მხოლოდ ისეთ გარემოში ცხოვრობენ, სადაც აერობული ცხოვრებისთვის საჭირო ჟანგბადის ნაკლებობა შეინიშნება.

ცხრილი 13.3. სიცოცხლის წარმოშობის ისტორიის მთავარი მოვლენები

დრო, მლრდ. წლის წინათ	მოვლენა
4,6	წარმოიქმნა პლანეტა დედამიწა
4,3	დედამიწაზე არსებული პირობები სტაბილურდება
3,8	ოკეანის მარილთა შემადგენლობა ასლოდა თანამედროვესთან. ატმოსფეროც ჰგავს თანამედროვეს, მაგრამ არ შეიცავს მოლეკულურ ჟანგბადს. ნახშირბადი ნახშირორჟანგის სახით არის წარმოდგენილი (ისუას ფორმაციები და ისლანდიაში).
3,5	პირველი ცნობილი სტრომატოლიტიები (პროკარიოტული უჯრედების გაქვავებული ნარჩენები)(ავსტრალია)
2,3	ფოტოსინთეზი ჟანგბადის გამოყოფით
2,0	ბაქტერიების დიდი მრავალფეროვნება (განფლინტის ფორმაცია, ონტარიო). ატმოსფეროში ჟანგბადის შემცველობამ თანამედროვე ატმოსფეროში 1% შეადგინა („პასტერის წერტილი“). სუნთქვის წარმოშობა
1,45	ეუკარიოტული უჯრედები. სქესობრივი პროცესი ეეოლუციას აჩქარებს
0,7	რბილტვიანი ცხოველები (მელუზები, ჭიები)
0,6	მაგარი ჩონჩხის მქონე ცხოველები (იწყება კემბრიული პერიოდი)

13.8. ორგანიზმი და გარემო

ორგანიზმები გარემოს გავლენის ქვეშ იმყოფებიან, მაგრამ თვითონაც მოქმედებენ გარემოზე. ისინი ცვლიან მას როგორც თავისი ზანმოკლე არსებობის მანძილზე, ისე ეეოლუციის ზანგრძლივი პერიოდის განმავლობაში. ჩვენ უკვე აღვნიშნეთ, რომ პეტეროტროფები საკვებ ნივთიერებებს გარემო "ბულიონიდან" იღებდნენ. ავტოტროფებმა ატმოსფეროს მოლეკულური ჟანგბადი დაუმატეს და ამით შეიქმნა პირობები სუნთქვითი პროცესის წარმოშობისა და ეეოლუციისათვის.

ატმოსფეროში მოლეკულური ჟანგბადის წარმოქმნასთან ერთად მასში შეიქმნა ოზონის შრე ("დედამიწის ოზონური ეკრანი"). ოზონი მოლეკულური ჟანგბადისგან წარმოიქმნება მასზე მზის ულტრაიისფერი სხივების მოქმედების შედეგად. ოზონის ეკრანი ფილტრია, რომელიც მზის

ულტრაიისფერ გამოსხივებას აკავებს და დედამიწის ზედაპირამდე არ უშვებს. ულტრაიისფერი სხივები ცილებზე და ნუკლეინის მჟავებზე დამლუპველად მოქმედებენ. პირველი ორგანიზმები წყალში ცხოვრობდნენ და წყალი მათ იცავდა, რადგან შიანთქადა ულტრაიისფერ სხივებს. ოზონის ეკრანის წარმოშობამდე ულტრაიისფერი სხივების მოქმედება ერთ-ერთ მთავარ ფაქტორს წარმოადგენდა, რომელიც ხელს უშლიდა პირველი ცოცხალი ორგანიზმების წყლის გარემოდან ხმელეთზე გამოსვლას.

ხმელეთის პირველ მცხოვრებლებს მზის სინათლის და მინერალური ნივთიერებების სიუხვე ღაცვდათ. ასე რომ, თავდაპირველად კონკურენციას ადგილი არ ჰქონია. დედამიწის უმეტესი ნაწილი მაღე ზეებით და ბალახებით დაიფარა, რამაც ატმოსფეროს ჟანგბადით შევსება გამოიწვია. გარდა ამისა, მათ შეცვალეს დედამიწის წყლის ბალანსი და დააჩქარეს ქანებისგან ნიადაგის წარმოქმნის პროცესი. ამგვარად, ორგანიზმები და გარემო ჩვენი პლანეტის სიცოცხლის მთელი ისტორიის მანძილზე ერთმანეთის ფორმირებას ახდენენ.

XIII თავის მოკლე შინაარსი

მე-19 საუკუნემდე ადამიანებს სწამდათ “თვითჩასახვისა“, ე.ი. მათ სჯეროდათ, რომ ხელსაყრელ პირობებში დრო და დრო ცოცხალი ორგანიზმები თავისით წარმოიქმნებოდნენ არაცოცხალი მატერიისგან. პასტერმა და ტინდალმა ექსპერიმენტებით დაამტკიცეს, რომ ამჟამად ასეთი თვითჩასახვა შეუძლებელია. მაგრამ მეცნიერთა უმეტესი ნაწილი თვლის, რომ დედამიწაზე სიცოცხლის ჩასახვა პირველად სწორედ ასეთი გზით მოხდა. უფრო მეტიც, სიცოცხლის წარმოშობა არაცოცხალი მატერიისაგან გარდაუვალი იყო.

ის პირობები, რომელშიც სიცოცხლე წარმოიშვა პირველყოფილ დედამიწაზე, მკვეთრად განსხვავდება ამჟამად არსებულისაგან. პირველყოფილი დედამიწის ატმოსფეროში პრაქტიკულად არ იყო მოლეკულური ჟანგბადი. ამ გარემოებამ ხელი შეუწყო იმ ორგანული ნივთიერებების წარმოქმნას და სტაბილიზაციას, რომლებიც თანდათანობით პოლიმერებად, შემდეგ კი აგრეგატებად გაერთიანდნენ. ნელა, უსასრულოდ დიდი ხნის განმავლობაში, ამ აგრეგატების ნაწილმა განიცადა ევოლუცია და შეიძინა გარკვეული ქიმიური რეაქციების თანმიმდევრულად განხორციელების უნარი, რეაქციებისა, რომელთა გარეშე ცოცხალი ნივთიერებების ფუნქციების შესრულება შეუძლებელია. ეს ფუნქციებია: მეტაბოლიზმი, ინფორმაციის გადაცემა და ზუსტი თვითწარმოქმნა.

სიცოცხლის წარმოქმნის ადრეულ ეტაპებზე ადგილი ჰქონდა ისეთ მნიშვნელოვან მოვლენებს, როგორცაა ავტოტროფულობის განვითარება, რომლის მთავარი ფორმაა ფოტოსინთეზი და მოლეკულური ჟანგბადის გამოყოფა, აგრეთვე სუნთქვა. ორგანიზმებმა გარემო შეცვალეს: უსიცოცხლო წყალსატევები და კლდეები ზღვებით (რომლებშიც სიცოცხლე დღედა) მწკანე ლანდშაფტებით შეიცვალა. უჟანგბადო ატმოსფეროში გაჩნდა მოლეკულური ჟანგბადი და მისმა შემცველობამ 20%-ს გადააჭარბა. ორგანიზმების მიერ გამოწვეულია გარემო პირობების ასეთმა ცვლილებებმა გავლენა მოახდინა ბუნებრივ გადარჩევაზე, რომლის წყალობითაც ორგანიზმები ახალ გარემო პირობებს ეგუებოდნენ და ამით კიდევ უფრო ცვლდნენ მათ. ამრიგად, დედამიწაზე სიცოცხლის ევოლუციის პროცესში ადგილი ჰქონდა გარემოს მიერ ცოცხალი ორგანიზმების ფორმირებას, ორგანიზმები კი აყალიბებდნენ გარემოს.

შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა

1. ამაჟამად ღედამიწაზე თეთოჩასახვის გზით სიცოცხლის წარმოშობა შეუძლებლად მიგვაჩნია რადგანაც:
 - ა) ღედამიწაზე ძალიან ცოტა მოქმედი ვულკანია.
 - ბ) რაიმე სახის ქიმიური ნივთიერება რომც წარმოშობილიყო, რომლისგანაც შესაძლებელი იქნებოდა სიცოცხლის განვითარება, მათ მაშინვე შთანთქავდნენ უკვე არსებული ორგანიზმები.
 - გ) უბრალოდ, აქამდე არ არის ნაპოვნი სიცოცხლის წარმოშობის სწორი "ფორმულა".
2. რა ძირითადი განსხვავებები არსებობს თანამედროვე ატმოსფეროსა და ღედამიწის პირველად ატმოსფეროს შორის?
3. ქვემოთ ჩამოთვლილია ზოგიერთი პროცესი და სტრუქტურა. დანომრეთ ისინი იმ თანმიმდევრობით, რა თანმიმდევრობითაც მოხდა მათი განვითარება ევოლუციის პროცესში.

სუნთქვა.

პოლიმერები.

ფოტოსინთეზი.

ორგანული მონომერები.

ღუღილი.

4. ფოტოსინთეზის წარმოშობამ ახალი შესაძლებლობები მისცა ცოცხალ ორგანიზმებს, მაგრამ ამავედროს წარმოქმნა საშიშროებაც. ახსენით, რაში მდგომარეობს მისი არსი.
5. გარემო არეში ცოცხალი ორგანიზმების მიერ გამოწვეული ერთ-ერთი ცვლილება იმაში მდგომარეობდა, რომ პირველყოფილ "ბულიონში" არსებული, არაბიოლოგიური გზით წარმოქმნილი საკვები ნივთიერებების მარაგმა შემცირება დაიწყო. როგორი გავლენა მოახდინა ამან სიცოცხლის შემდგომ ევოლუციაზე?

კითხვები განხილვისათვის

1. შეგიძლიათ თუ არა დაასახელოთ პირველყოფილ ღედამიწაზე არსებული ენერჯის შესაძლო წყარო, გარდა I3.2 ცხრილში მოყვანილისა?
2. დავუშვათ, ვინმემ გამოაცხადა, რომ შეძლო ლაბორატორიაში ცოცხალი ორგანიზმის მიღება არაცოცხალისგან. რა კრიტერიუმებს უნდა აკმაყოფილებდეს ეს „ორგანიზმი“, რომ ის ნამდვილად ცოცხლად ჩათვალოთ?
3. ცოცხალი ორგანიზმების ევოლუციაში სუნთქვის წარმოშობის შემდეგ კიდევ ორი მნიშვნელოვანი მოვლენა მოხდა: წარმოიქმნენ ეუკარიოტები და (სავარაუდოა, რომ გაცილებით გვიან) მრავალუჯრედიანი ორგანიზმები. რით განსხვავდებიან ეუკარიოტები პროკარიოტებისგან? (იხ. მე-10 თავი „ნარკვევის“ ჩათვლით). რით განსხვავდებიან მრავალუჯრედიანი ორგანიზმები ერთუჯრედიანებისგან? რა უპირატესობა მიანიჭა ცოცხალ ორგანიზმებს თითოეულმა ამ მოვლენამ და რით შეიძლება იყოს თითოეული გამოწვეული?

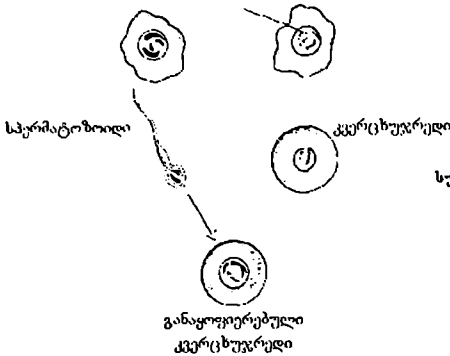
XIV თავი

ღნმ

ამ თავის დამუშავების შემდეგ თქვენ უნდა შესძლოთ:

1. იმ მონაცემების დაწვრილებით განხილვა, რომლებიც ადასტურებენ, რომ ღნმ გენეტიკური ინფორმაციის მატარებელი მოლეკულაა. მხედველობაში გვაქვს შემდეგი მონაცემები:
 - ა) ტრანსფორმაციის მოვლენა ბაქტერიებში.
 - ბ) ბაქტერიოფაგის მიერ ბაქტერიების ინფიცირება.
 - გ) ერთი და იგივე და სხვა სახეობის ინდივიდების სომატურ და რეპროდუქტიულ უჯრედებში ღნმ-ის რაოდენობის შესახებ.
 - დ) როგორც ერთი და იმავე ასევე სხვადასხვა სახეობების ინდივიდთა უჯრედების ღნმ-ის ნუკლეოტიდური შედგენილობის შედარება.
2. ნუკლეოტიდის აგებულების აღწერა.
3. ღნმ-ის მოლეკულის აგებულების აღწერა და იმის ახსნა, თუ ამ მოლეკულაში რატომ არის აღენიშნება ნაშთების რაოდენობა თიმილის ტოლი, ხოლო გუანინის ნაშთები კი – ციტოზინის.
4. მეზელსონისა და სტალის ცდების აღწერა და იმის განმარტება, თუ როგორ შეძლეს ამ მეცნიერებმა ღნმ-ის გაორმაგების ნახევრად კონსერვატული მექანიზმის დაშტკიცება.
5. ეუკარიოტული უჯრედის ქრომოსომის აღნაგობის აღწერა.
6. მოკლედ გადმოცემა, თუ როგორ შეიძლება რეკომბინანტული ღნმ-ის მიღება და ამ მეთოდის პრაქტიკული გამოყენების რამდენიმე მაგალითის მოყვანა.

მე-14 – მე-17 თავები ეძღვნება სიცოცხლის ძირითადი საიდუმლოს შეცნობას. რის წყალობით იქცევა ნივთიერების პატარა ნაწილაკი შთანხმებულად ფუნქციონირებად უჯრედად, რომელსაც თავისი ქიმიური შედგენილობის რეგულირების, ზრდის და გამრავლების უნარი აქვს? რა აიძულებს განაყოფიერებულ კვერცხუჯრედს, იმ ერთადერთ უჯრედს, რომლისგანაც თითოეული ჩვენგანი ვითარდება, რომ დაიფოს, ხოლო მიღებული უჯრედების გროვს კი – დაჯგუფდეს, გაიზარდოს, შეითვისოს საკვები ნივთიერებები და ბოლოს განუმეორებელი ინდივიდის ფორმა მიიღოს? რატომ არის, რომ თითოეული ჩვენგანი სხვა ინდივიდებისგან განსხვავდება, მაგრამ ამავე დროს ყველა ის საწყისი გაგვაჩნია, რომელიც ერთ სახეობად – *Homo sapiens* – გუარითიანებს? რის გამოა, რომ ახალშობილსაც კი შეიძლება შევამჩნიოთ ნაცნობი ნაკვთები – მამის ცხვირი ან დედისეული ღიმილი? ყველა ამ კითხვას ერთი პასუხი აქვს – გენეტიკური ინფორმაცია.



სურ.14.1. კვერცხუჯრედები და სპერმატოზოიდები ორგანიზმის სوماتურ უჯრედებთან შედარებით ქრომოსომების ნახევარ რაოდენობას შეიცავენ. განაყოფიერების დროს სპერმატოზოიდი კვერცხუჯრედს უერთდება და განაყოფიერებულ კვერცხუჯრედში სახეობისთვის დამახასიათებელი ქრომოსომების რიცხვი აღდგება.

გენები ეწოდება მრავალფეროვან, განსხვავებულ ერთეულებს, როგორცაა განსაზღვრული იქნება ინდივიდის გენეტიკური ინფორმაციის ერთობლიობა. (ეს ერთეულები განსაზღვრავენ ცალკეულ ნიშან-თვისებებს: თმის ფერს, სისხლის ჯგუფს, სიმაღლეს და ა.შ.).

თითოეული ჩვენგანის განუმეორებლობა განპირობებულია ცალკეულ ინდივიდში არსებული გენთა კომბინაციის უნიკალურობით. გენები შეიცავენ ინფორმაციას იმის შესახებ, თუ რომელი ცილები და რა თანაფარდობით უნდა გამოიმუშაოს ჩვენმა უჯრედებმა; როგორ აისახება მათ წარმოქმნასა და ურთიერთქმედებაზე იმ გარემოს მოქმედება, რომელშიც თითოეული ჩვენთაგანი ცხოვრობს და ვითარდება. იდენტურ ტყუბებში გენეტიკური ინფორმაცია იდენტურია. განსხვავება მათ შორის განპირობებულია მხოლოდ გარემო ფაქტორებით, რომელთა ზემოქმედებასაც ისინი განიცდიან.

გენეტიკურ ინფორმაციას (ქრომოსომებში არსებული დნმ-ის სახით) მშობლებისაგან ვიღებთ – ნახევარს დედის კვერცხუჯრედით, ნახევარს კი მამის სპერმატოზოიდით (სურ.14.1). კვერცხუჯრედსა და სპერმატოზოიდში ორგანიზმის ქრომოსომების ნახევარი ზვდება. ქრომოსომები ორი სახის ნივთიერებისაგან – ცილისა და დეზოქსირიბონუკლეინის მჟავასგან (დნმ) შედგებიან. რომელი მათგანია გენეტიკური ინფორმაციის მტარებელი?

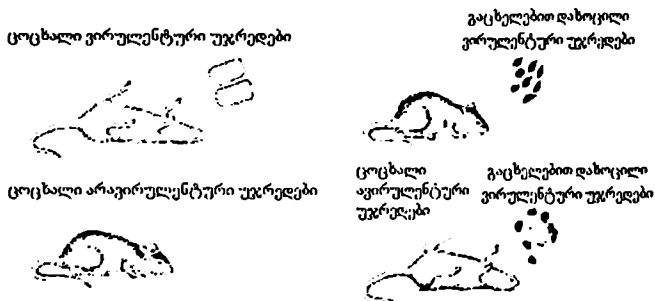
ამ თავში მოვიყვანთ საბუთებს, რომლებიც ადასტურებენ, რომ გენეტიკური ინფორმაციის მტარებელი დნმ-ის მოლეკულაა და გავეცნობით, თუ როგორ დადგინდა დნმ-ის სტრუქტურა.

14.1. მონაცემები, რომლებიც ადასტურებენ, რომ დნმ გენეტიკური ინფორმაციის მტარებელია.

ტრანსფორმაცია ბაქტერიებში

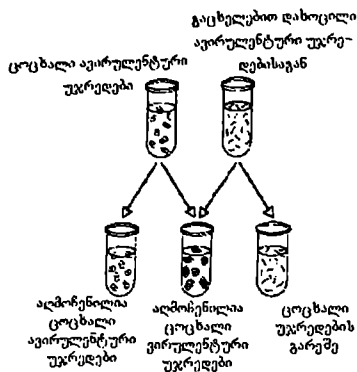
პირველი მონაცემები იმის შესახებ, რომ გენი შედგება არა ცილისაგან, არამედ დნმ-საგან მოგვცეს გამოკვლევებმა, რომლებშიც შეისწავლებოდა ტრანსფორმაცია ბაქტერიებში. ერთი ბაქტერიული უჯრედის მიერ მეორისათვის მემკვიდრეობითი ნიშან-თვისების გადაცემას ტრანსფორმაცია ეწოდება. 1928 წელს ფრედ გრიფითმა (Fred Griffith) შეისწავლა

ტრანსფორმაცია პნევმოკოკის ორ შტაშში. ერთი მათგანი იყო ვირულენტური (კაფხულის მქონე) და მისი შეყვანისას თავგები ილუპებოდნენ. მეორე იყო ავირულენტური და ცხოველებს არ კლავდა. როდესაც გრიფითმა თავგებს შეუყვანა მკვლარი ვირულენტური ბაქტერიები ცოცხალ ავირულენტურ ბაქტერიებთან ერთად, ზოგიერთი ცხოველი დაიღუპა. უფრო მეტიც, თავგების გაამებში აღმოჩნდნენ ცოცხალი ვირულენტური ბაქტერიები. გრიფითის აზრით, მკვლარი ვირულენტური ბაქტერიების გენეტიკური მასალა შეიჭრა ცოცხალ ავირულენტურ ბაქტერიებში და ისინი ვირულენტური გახდა (სურ.14.2).



სურ.14.2. გრიფითის (ცდა ბაქტერიების ტრანსფორმაციის თაობაზე. თავგებში ვირულენტური ბაქტერიების შეყვანა იწვევს დაავადებას, რომლის გაყენითაც ცხოველი იღუპება. ავირულენტური ბაქტერიები, ანდა გახურების შედეგად დაღუპული ვირულენტური უჯრედები დაავადებას არ იწვევენ. თავი რომელსაც ერთდროულად შეუყვანეს ცოცხალი ავირულენტური და გახურების შედეგად დაღუპული ვირულენტური უჯრედები, დაავადდა და დაიღუპა. გახურების შედეგად დაღუპული უჯრედების რომელიღაც ფაქტორი ავირულენტურ უჯრედებს ვირულენტურად გადაქცევს (ვირულენტური უჯრედები შეიცავს გენეტიკურ ინფორმაციას, რომელიც განაპირობებს ამ უჯრედების დამცველი კაფსულების წარმოქმნას. ეს კაფსულები უჯრედებს გარს აკრავს და იცავს მათ თავის იმუნური სისტემის დამშლელი მოქმედებისაგან).

1944 წელს სხვა მკვლევარებმა ვირულენტური უჯრედები გამოზარდეს ლაბორატორიაში, შემდეგ კი მათგან გამოაცალკევეს სხვადასხვა კომპონენტები: ნახშირწყლები, ლიპიდები, ცილები და დნმ. თითოეულ ამ კომპონენტს ისინი უმატებდნენ ავირულენტური ბაქტერიების ცალკეულ კულტურებს. იმ კულტურაში, სადაც დაუმატეს ვირულენტური ბაქტერიის დნმ, ზოგიერთი ავირულენტური უჯრედი ვირულენტურად გადაიქცა. იმ კულტურებში, რომელთაც ცილები, ლიპიდები ან ნახშირწყლები დაუმატეს, ასეთი გარდაქმნა არ მოხდა. ამრიგად, დნმ-ის გაყენით, ცოცხალმა ბაქტერიულმა უჯრედმა ისეთი ნიშნები შეიძინა, რომლებიც მანამდე არ ჰქონია (სურ. 14.3).



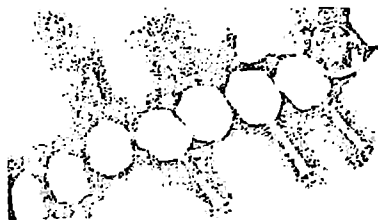
სურ.14.3. გახურების შედეგად დაღუპული ვირულენტური ბაქტერიების ლწმ-ის ტრანსფორმაცია. ავირულენტურ ბაქტერიებში გახურებით დაღუპული ვირულენტური უჯრედების (კაფსულების მქონე) ლწმ-ს უმატებდნენ ცოცხალი ავირულენტური უჯრედების კულტურას. ლწმ იწვევდა ცოცხალი უჯრედების ტრანსფორმაციას ვირულენტურად. გახურების შედეგად დაღუპული ვირულენტური უჯრედებიდან აღებული არც ერთი სხვა ნივთიერება ასეთ ტრანსფორმაციას არ იწვევდა.

ბაქტერიოფაგები

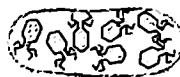
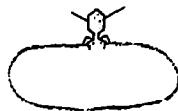
ახალი დამამტკიცებელი საბუთები იმ მოსაზრების სასარებლოდ, რომ დნმ გენეტიკური მასალის მატარებელია, მიღებულ იქნა ბაქტერიოფაგების (შემოკლებით მათ ფაგებს უწოდებენ) შესწავლისას (სურ.14.4).

ბაქტერიოფაგები ბაქტერიების დამასნებოვნებელი ვირუსებია. ვირუსი შედგება ლწმ-ის (ხანდახან რწმ-ის) მოლეკულისაგან, რომელსაც გარს აკრავს ცილოვანი გარსი. ფაგი ემაგრება ბაქტერიის უჯრედის კედელს და ბაქტერიულ უჯრედში თავისი გენეტიკური მასალა შეჰყავს. ეს გენეტიკური მასალა როგორღაც ეუფლება ბაქტერიული უჯრედის აპარატს და უჯრედის რესურსებს იყენებს ახალი ფაგების, და არა ახალი ბაქტერიული უჯრედის, წარმოსაქმნელად.

1952 წელს ალფრედ ჰერშიმ და მარტა ჩეიზიმ (Alfred Hershey, Marta Chase) უჩვენეს, რომ ფაგების გენეტიკურ მასალას ლწმ წარმოადგენს. რათა შესაძლებელი ყოფილიყო ფაგების ცილოვანი გარსის და ლწმ-ის გარჩევა, მათ გამოიყენეს რადიოაქტიური გოგირდი და ფოსფორი. ცილები შეიცავენ გოგირდს და არ შეიცავენ ფოსფორს (იხ. განვ. 9.9 და 9.10), ხოლო ნუკლეინის მჟავები შეიცავენ ფოსფორს და არ შეიცავენ გოგირდს. ჰერშიმ და ჩეიზიმ ფაგები გამოზარდეს ამ რადიოაქტიური ელემენტების შემცველ საკვებ არეზე მცხოვრებ ბაქტერიებში. ამ დროს ფაგის ცილოვან გარსში შეიტანეს რადიოაქტიური გოგირდი, მის ლწმ-ში კი რადიოაქტიური ფოსფორი. შემდეგ ეს ფაგები გადაიტანეს ბაქტერიების ახალ კოლონიებში, რომლებიც არარადიოაქტიურ არეზე იზრდებოდნენ. აღმოჩნდა, რომ ბაქტერიულ უჯრედში შეიჭრა მხოლოდ რადიოაქტიური ფოსფორი, რადიოაქტიური გოგირდი კი გარეთ დარჩა (სურ.14.5). ამით კიდევ ერთხელ დამტკიცდა, რომ გენეტიკური მასალა ლწმ-გან შედგება.



სურ.14.4. ბაქტერიოფაგის T4 ვირუსის ელექტრონული მიკროფოტოგრაფია. ეს არის ვირუსი, რომელიც ახსნებოქნებს ბაქტერიას *Escherichia coli*. ფაგის მრავალწახნაგოვანი თავი, რომელიც ამ სურათზე თეთრად ჩანს, შედგება ცილისაგან, რომელშიც ღწმ არის მოთავსებული. ღწმ ფაგიდან მისი გრძელი გამონაზარდის, ე.წ. „კუდის“ გზით გამოდის მას შემდეგ, როცა ფაგი კუდის წვრილი ძაფების საშუალებით ბაქტერიული უჯრედის კედელს მიუმაგრება (Carolina Biological Supply Company).



სურ.14.5. ბაქტერიის ბაქტერიოფაგით დასნებოქნება. ვირუსს თავისი ღწმ შეჰყავს ბაქტერიულ უჯრედში, მისი ცილოვანი გარსი კი გარეთ რჩება. ბაქტერიულ უჯრედში მრავალი ახალი ფაგი წარმოიქმნება აქედან შეიძლება დავასკვნათ, რომ სწორედ ღწმ და არა ცილა არის ფაგის გენეტიკური მასალა.

ღწმ-ის რაოდენობა უჯრედებში

დამტკიცდა, რომ ღწმ ეუკარიოტული უჯრედების გენეტიკური მასალაა. სხვადასხვა უჯრედში ღწმ-ის რაოდენობის შესწავლისას ორგანიზმის სომატურ უჯრედებში (ღვიძლის, თირკმელების და სხვა ორგანოთა უჯრედებში) ღწმ-ის ერთნაირი რაოდენობა აღმოჩნდა. ეს რიცხვი ორჯერ აღემატება ღწმ-ის რაოდენობას კვერცხუჯრედებში და სპერმატოზოიდებში - ე.ი. სასქესო უჯრედებში. რადგანაც ახალი ორგანიზმის წარმოქმნის დროს ხდება ორი სასქესო უჯრედის - კვერცხუჯრედისა და სპერმატოზოიდის შერწყმა, საჭიროა თითოეულში სომატურ უჯრედებზე ორჯერ ნაკლები რაოდენობის ღწმ-ის არსებობა (წინააღმდეგ შემთხვევაში ყოველ მომდევნო თაობაში გენეტიკური ინფორმაციის გაორმაგება მოხდებოდა). რაც შეეხება ცილებს, მათი რაოდენობა სხვადასხვა ქსოვილის უჯრედებში და სასქესო უჯრედებშიც ძლიერ მერყეობს. ამიტომაც ძნელი დასაჯერებელია, რომ გენეტიკურ მასალას ცილა წარმოადგენდეს. ცნობილია აგრეთვე, რომ სხვადასხვა ორგანიზმებს, რომლებიც განსხვავდებიან აგებულების სირთულით და დასინთეზებული ცილების ნაირგვარობით, ღწმ-ის რაოდენობაც განსხვავებული აქვთ.

დნმ-ის ნუკლეოტიდური შედგენილობა

ყველაზე სარწმუნო საბუთი იმისა, რომ დნმ გენეტიკური მასალაა, ის არის, რომ ერთი სახეობის ყველა წარმომადგენელს აქვს იდენტური ქიმიური შედგენილობის დნმ,

ცხრილი 14.1. სხვადასხვა ორგანიზმის 4 აზოტოვანი ფუძის მიახლოებითი შემცველობა და თანაფარდობა

	მოცემული ფუძეების შემცველი ნუკლეოტიდების ¹⁾ %				ფუძეების შეფარდება ²⁾	
	ა	თ	გ	ც	ა/თ	გ/ც
ცხოველები						
ადამიანი	30,9	29,4	1,9	19,8	1,05	1,00
ქათამი	28,8	29,2	20,5	21,5	1,02	0,95
კალია	29,3	29,3	20,5	20,7	1,00	1,00
მცენარეები						
ზორბალი	27,3	27,1	22,7	22,8	1,01	1,00
სოკოები						
საფურები	31,3	32,9	18,7	17,1	0,95	1,09
ბაქტერიები						
<i>Escherichia coli</i>	24,7	23,6	26,0	25,7	1,04	1,01
ვირუსები						
ფაგი T7	26,0	26,0	24,0	24,0	1,00	1,00

¹⁾ ა - ადენინი, გ - გუანინი, ც - ციტოზინი, თ - თიმინი.

²⁾ უზრაღდება მიაქციეთ იმას, რომ ყველა შეფარდება ახლოსაა 1,00-თან. აქედან ზოგიერთი გადახრა იმის შედეგად არის მიღებული, რომ ქიმიური ანალიზის მეთოდიკა ჯერ კიდევ არ არის სრულყოფილი.

სხვადასხვა სახეობების დნმ კი ერთმანეთისგან ქიმიურად განსხვავდება. ეს ფაქტი დაადგინეს ერვინ ჩარგაფმა (Ervin Chargaff) და მისმა თანამშრომლებმა 40-იანი წლების დასასრულს და 50-იანი წლების დასაწყისში.

დნმ-ის ყველა მოლეკულა 4 ტიპის ნუკლეოტიდისაგან შედგება. ნუკლეოტიდები განსხვავდებიან აზოტოვანი ფუძის მიხედვით, რომელიც შეიძლება იყოს ადენინი, თიმინი, გუანინი ან ციტოზინი. ჩარგაფმა და მისმა თანამშრომლებმა აღმოაჩინეს, რომ დნმ-ის შედგენილობაში შემაჯავლი ნუკლეოტიდების რაოდენობრივი ურთიერთშეფარდება სახეობის ფარგლებში ერთნაირია, ხოლო სხვადასხვა სახეობებს ის განსხვავებული აქვთ. გარდა ამისა, ყველა ორგანიზმში ადენინიანი ნუკლეოტიდების რიცხვი თიმინიანის ტოლია, გუანინიანისა კი - ციტოზინიანის (14.1 ცხრილიდან ჩანს, რომ შეფარდება ა/თ და გ/ც დაახლოებით ერთის ტოლია). ეს აღმოჩენა საბოლოოდ დნმ-ის მოლეკულის სტრუქტურული აგებულების გასაღები აღმოჩნდა.

14.2. დნმ-ის სტრუქტურა

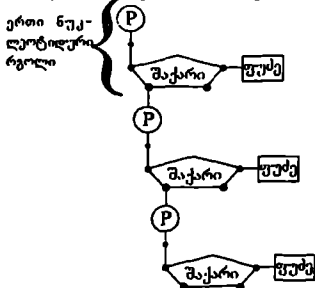
40—იანი წლების დასასრულისთვის დნმ-ის შესახებ ცნობილი იყო შემდეგი:

1. დნმ-ის მოლეკულა აგებულია ნუკლეოტიდებისაგან. თითოეული ნუკლეოტიდი (იხ.განყ.9.12) შედგება ფოსფატური ჯგუფისაგან, რომელიც კოვალენტურად დაკავშირებულია 5-ნახშირბადოვან შაქართან (დნმ-ის შემთხვევაში დეზოქსირიბოზასთან). შაქარი, თავის მხრივ, კოვალენტურად არის დაკავშირებული ოთხიდან ერთ-ერთ აზოტოვან ფუძესთან (სურ.14.6). აზოტოვანი ფუძის მოლეკულა შეიცავს ერთ (თიმიინი და ციტოზინი) ან ორ (ადენინი და გუანინი) რგოლს.

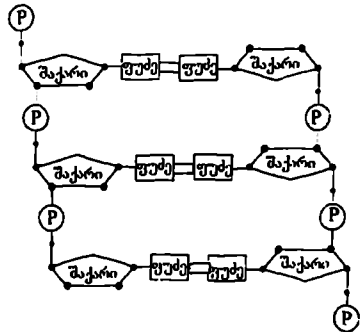
2. ნუკლეოტიდები ერთმანეთთან შეერთებულნი არიან ერთი ნუკლეოტიდის ფოსფატური ჯგუფის კოვალენტური კავშირით წინა ნუკლეოტიდის შაქართან. ამის შედეგად წარმოიქმნება შაქრისა და ფოსფატური ჯგუფების ნარჩენების გრძელი ჯაჭვი, რომელსაც მოლეკულის შაქარ-ფოსფატურ ღერძს უწოდებენ. აზოტოვანი ფუძეები ამ შაქარ-ფოსფატური ღერძის ერთ მხარეს, მისკენ სწორი კუთხით არიან განლაგებული (სურ.14.6).

3. დნმ-ის ნებისმიერ მოლეკულაში ადენინის (ა) შემცველი ნუკლეოტიდების რიცხვი თიმიინის (თ) შემცველი ნუკლეოტიდების რიცხვის ტოლია, ხოლო გუანინის (გ) შემცველი ნუკლეოტიდებისა — ციტოზინის (ც) შემცველი ნუკლეოტიდების ტოლი. შემოკლებით ამას ასე აღნიშნავენ: ა=თ, გ=ც.

4. დნმ-ის მოლეკულა სპირალურადაა დახვეული. ამასთან ფუძეები სპირალის ღერძის პერპენდიკულარულად მდებარეობს. ეს აღმოაჩინა როზალინდ ფრანკლინმა (Rosalind Franklin). მის მიერ მიღებულმა რენტგენოგრაფებმა უჩვენეს აგრეთვე, რომ შაქარ-ფოსფატური ღერძი სპირალის გარეთა ნაწილს წარმოქმნის, ხოლო ფუძეები შიგნით მხარეს მდებარეობს და სპირალის ერთ ზეეულზე 10 ნუკლეოტიდია მოთავსებული. განსაზღვრულ იქნა სპირალის დიამეტრიც. ამ მონაცემების საფუძველზე მეცნიერებმა დაასკენეს, რომ დნმ-ს მოლეკულა ერთზე მეტი ძაფისაგან შედგებოდა.



სურ.14.6. დნმ შედგება ნუკლეოტიდებისაგან. ერთი ასეთი ნუკლეოტიდი რგოლი ნახატის ზე-ეთითა ნაწილში პარანტეზით არის აღნიშნული. მის შედგენილობაში შემაჯავლი შაქარი დაკავშირებულია მომდევნო ნუკლეოტიდის ფოსფატურ ჯგუფთან (აღნიშნულია რგოლით და P ასოთი). ასე იქმნება დნმ-ის ჯაჭვის შაქარ-ფოსფატური ღერძი. ნუკლეოტიდების აზოტოვანი ფუძეები ამ ჯაჭვის ერთ მხარეზეა მოთავსებული.

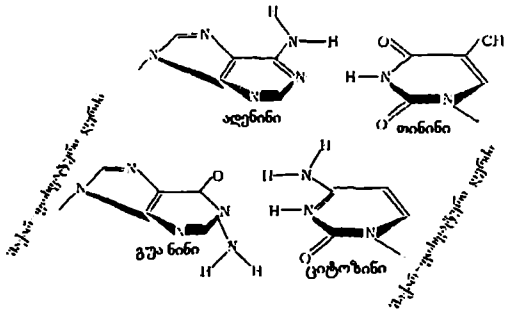


სურ.14.7. დნმ-ის თითოეული მოლეკულა ორი ჯაჭვისგან შედგება. 14.6 სურათზე გამოხატული ჯაჭვი აქ თავის პარტნიორთან ერთად არის წარმოდგენილი. ორვე ჯაჭვის შაქარ-ფოსფატური ღერძები გარეთა მხარეს არის განლაგებული, ფუძეები კი მოლეკულას შიგნით მდებარეობს, ხდაც ასობი წყალბადური ბმებით მეორე ჯაჭვის ფუძეებსა და დაკავშირებული (აღნიშნულია მუქი სტყლი ნახტავით).

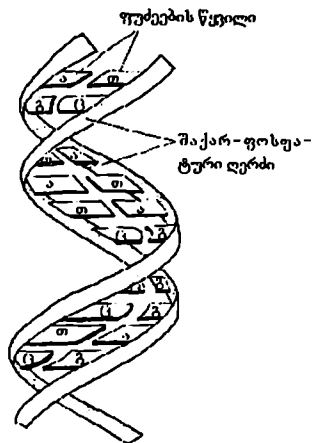
ველა ამ მონაცემზე დაყრდნობით ახალგაზრდა მეცნიერებმა ჯეიმს უოტსონმა (James Watson) და ფრენსის კრიკმა (Fransis Crick) შექმნეს დნმ-ის მოლეკულის მოდელი, სადაც დნმ ორი ძაფით, ანუ ორი ჯაჭვით არის წარმოდგენილი (რიცხვი "2" სავსებით აკმაყოფილებს ბიოლოგებს, რადგანაც უჯრედების და ქრომოსომების გამრავლება ერთი საწყისი ერთეულის გაორმაგების გზით ხდება). ჯაჭვები თოკის კიბის მსგავს სტრუქტურას ქმნიან, რომელშიც "თოკის" როლს შაქარ-ფოსფატური ლერძები ასრულებს, ხოლო "საფეხურისას" – აზოტოვანი ფუძეები (სურ.14.7).

თითოეული "საფეხური" ორ მოპირდაპირე ჯაჭვთან მიერთებული ორი ფუძისგან შედგება. ამ ფუძეებიდან ერთ-ერთს მოლეკულაში ერთი რგოლი აქვს, მეორეს – ორი. ამრიგად, ეს შეიძლება იყოს ან ადენინი-თიმინთან წყვილში, ან გუანინი – ციტოზინთან წყვილში. თითოეულ "საფეხურზე" ნებისმიერი ფუძე შეიძლება ნებისმიერ ჯაჭვზე მდებარეობდეს. ფუძეების წყვილი წყალბადური ბმებით არის შეერთებული: ორი წყალბადური ბმა აერთებს ადენინს და თიმინს, 3 – გუანინს და ციტოზინს (სურ.14.8). უფრო სტაბილურ კომბინაციებს ქმნიან ა-თ და გ-ც. ამით აიხსნება ჩარგაფის დაკვირება, რომელმაც აღმოაჩინა, რომ ნებისმიერ დნმ-ის მოლეკულაში ა-თ და გ-ც. რადგანაც ფუძეების თითოეულ წყვილში არის ფუძე ერთი რგოლით და ფუძე ორი რგოლით, "კიბის" ყველა საფეხურს ერთი და იგივე სიგანე აქვს. ამის გამო მისი ორი ჯაჭვის შაქარ-ფოსფატური ლერძები ერთმანეთისგან ყოველთვის ერთნაირი მანძილით არის დაშორებული.

როგორც რენტგენულ-სტრუქტურულმა ანალიზმა უჩვენა, დნმ-ის მთელი "კიბე" სპირალურად არის დახვეული. ამ სპირალს "ორმაგ სპირალს" უწოდებენ, რადგანაც ის ერთმანეთის ირგვლივ დახვეული ორი ჯაჭვისაგან შედგება (სურ.14.9).



სურ.14.8. წყალბადური ბმები (მუქი სქელი ხაზები), რომლებიც ამაგრებენ დნმ-ის ფუძეების წყვილს. ფუძეების არაერთ სხვა კომბინაციას არ შეუძლია ასეთი სტაბილური წყალბადური კავშირების უზრუნველყოფა



სურ.14.9. ორმაგი სპირალი. ორი ჯაჭვი ერთიმეორეზე არის დახვეული. რუხი ფერის საზით აღნიშნული თითოეული ჯაჭვი შედგება მორიგეობით განლაგებული შაქრისა და ფოსფატური ჯგუფებისაგან. მუქით აღნიშნულია ფუძეებს (ფუძეების წყვილი ა.თ.გ.ც) შორის არსებული წყალბადური ბმები, რომლებიც ორ ჯაჭვს ერთმანეთთან აკავშირებენ.

უოტსონისა და კრიკის სტატიას, რომელშიც გაშიფრული იყო ღნმ-ის სტრუქტურა, სამეცნიერო ჟურნალის ორი გვერდი ეკავა, მაგრამ სწორად ეს ნაშრომი იქცა იმ ქვაკუთხედად, რომელზეც თანამედროვე მოლეკულური გენეტიკის შენობა აიგო. მოდელი მარტივი, მაგრამ ამასთან ერთად მოხდენილიც არის და, როგორც უოტსონი აღნიშნავდა: "ის იმდენად ლამაზი იყო, რომ არ შეიძლებოდა, სწორი არ ყოფილიყო!"

14.3. ღნმ-ის რეპლიკაცია

უჯრედის გაყოფის წინ მისი ღნმ ორმაგდება, ანუ რეპლიცირდება. ასე რომ, ყოველი ახალი უჯრედი ზუსტად ისეთსავე გენეტიკურ ინფორმაციას ღებულობს, როგორც აქვს საწყის დედისეული უჯრედს. უოტსონმა და კრიკმა უჩვენეს, რომ ღნმ-ის გაორმაგებისთვის საჭირო ინფორმაცია მისსავე სტრუქტურაში არის ჩადებული. რადგანაც ორი ჯაჭვის აზოტოვანი ფუძეები კომპლემენტარულია, ანუ თითოეული ფუძე წყვილში ერთიმეორის დამატება, ყოველი ჯაჭვი ავტომატურად შეიცავს ინფორმაციას პარტნიორის შესახებ (თუ ერთი ჯაჭვი შედგება ა-ა-თ-გ-ც-ც-გ-გან, მისი პარტნიორის თანმიმდევრობა იქნება თ-თ-ა-ც-გ-გ).

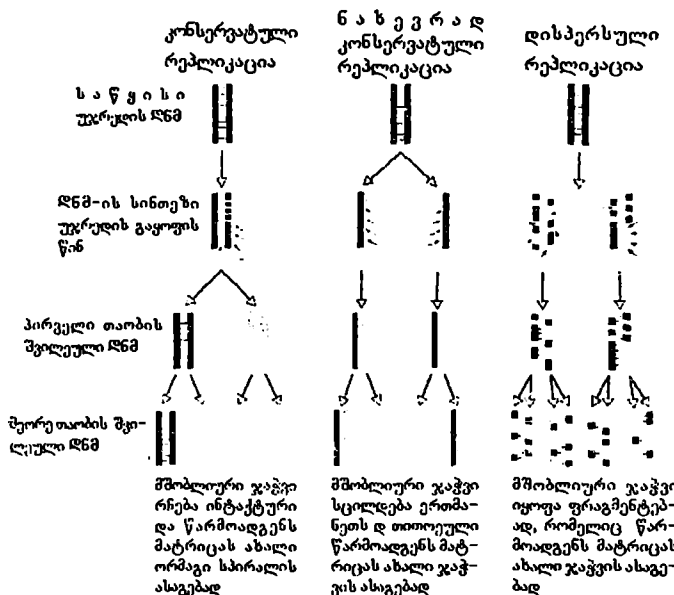
1958 წელს მეტიუ მეშელსონმა და ფრანკლინ სტალმა (Matthew Meselson, Franklin Stahl) ჩამოაყალიბეს ღნმ-ის რეპლიკაციის სამი ალტერნატიული ჰიპოთეზა (სურ.14.10).

1. კონსერვატიული რეპლიკაცია. ღნმ-ის ორჯაჭვიანი მოლეკულა მარტივად როლს ასრულებს ახალი ორჯაჭვიანი მოლეკულის ასაგებად. ერთ-ერთი ახალი უჯრედი ღებულობს ღნმ-ის საწყის მოლეკულას, მეორე კი - ახლად სინთეზირებულს.

2. ნახევრად კონსერვატიული რეპლიკაცია. ღნმ-ის საწყისი მოლეკულის ორი ჯაჭვი ერთმანეთს შორდება (ელვა-შესაკრავის მსგავსად). ამ დროს აზოტოვანი ფუძეებს შორის

არსებული წყალბადური ბმები წყდება. შემდეგ თითოეული ჯაჭვი ახლის ასაგებად მატრიცის როლს ასრულებს. ამ დროს ძველ ჯაჭვსა და ახლად წარმოშობილ შორის იქმნება წყალბადური ბმები, რის შედეგადაც ახალი მოლეკულა მიიღება. ამის შედეგად ყოველი ახალი უჯრედი მემკვიდრეობით ღებულობს დნმ-ის ჰიბრიდულ მოლეკულას, რომელიც ერთი ძველი და ერთი ახალი ჯაჭვისგან შედგება.

3. დისპერსული რეპლიკაცია. დნმ-ის მოლეკულა მოკლე ფრაგმენტებად იშლება. ეს ფრაგმენტები მატრიცის როლს ასრულებენ ორი ახალი ორმაგსპირალიანი ფრაგმენტების ასაგებად, რომლებიც შემდეგ როგორღაც კავშირდებიან ერთმანეთთან.



ზურ.14.10. დნმ-ის რეპლიკაციის ალტერნატიული ჰიპოთეზები, რომლებიც ცდებით შეამოწმეს მეზელსონმა და სტალმა.

საოცრად ლამაზი და მარტივი ექსპერიმენტებით მეზელსონმა და სტალმა უჩვენეს, რომ ამ ჰიპოთეზებიდან პირველი და შესაბამე შეიძლება უარეყოთ, მაშინ როცა ნახევრად კონსერვატული რეპლიკაციის სასარგებლოდ მრავალი მონაცემი არსებობს (აქვე აღვნიშნავთ, რომ არცერთი ჰიპოთეზა არ შეიძლება იყოს უდავოდ დამტკიცებული, რადგანაც არასოდეს არა ვართ დარწმუნებული, რომ ამ ჰიპოთეზის ირგვლივ არსებული ყველა ფაქტორი გათვალისწინებულია. მაგრამ ჰიპოთეზის უარყოფა შესაძლებელია, თუ აღმოჩნდება, რომ რომელიმე დაკვირვება არ ეთანხმება მისგან გამომავალ ღებულებებს).

„ძველი“ და „ახალი“ დნმ-ის გასარჩევად მეზელსონმა და სტალმა გამოიყენეს აზოტის ორი იზოტოპი: ^{14}N და ^{15}N . ^{14}N აზოტის ჩვეულებრივი ფორმაა, ხოლო ^{15}N კი უფრო მძიმეა, რადგანაც მისი ატომი ერთ დამატებით ნეიტრონს შეიცავს. თავდაპირველად მეზელსონი და სტალი ბაქტერიებს ზრდიდნენ ^{15}N -ის შემცველ საკვებ არეზე. მათ მიიღეს ბაქტერიების რამდენიმე თაობა, მაგრამ ყველა მათგანში საბოლოოდ ^{15}N იმყოფებოდა (სურ.14.10-ზე ნაჩვენებია ზემო რიგში შავი ფერით). შემდეგ ბაქტერიები გადაქონდათ ^{14}N -იან საკვებ არეზე (ნაჩვენებია მუქად ქვედა რიგებში). გარკვეული დროის შემდეგ, რომლის დროსაც დნმ-ის რეპლიცირება ხდებოდა და უჯრედები იყოფოდა, მეცნიერები სინჯავდნენ უკვე ახლად წარმოშობილ უჯრედებს და არკვევდნენ მათში ^{14}N -ისა და ^{15}N -ის განაწილებას.

სურ.14.10-ზე მესამე რიგში ნაჩვენებია, თუ როგორი შეიძლება იყოს ამ ახალი გენერაციის დნმ-ის შედგენილობა სამივე ჰიპოთეზის მიხედვით. თუ კონსერვატული ჰიპოთეზა სწორია, მაშინ ახალი გენერაციის უჯრედების დნმ ორი ფრაქციისაგან უნდა შედგებოდეს. ერთი ამ ფრაქციითაგანი უნდა შეიცავდეს მხოლოდ ^{15}N -ს, მეორე კი - ^{14}N -ს. ორი სხვა ჰიპოთეზის თანახმად, მთელი დნმ წარმოდგენილი უნდა იყოს ერთი ფრაქციის სახით, რომელთა მოლეკულებშიც იქნება როგორც ^{15}N , ისე ^{14}N . მეზელსონმა და სტალმა აღმოაჩინეს, რომ ახალი გენერაციის დნმ-ის გატალკეება სხვადასხვა წონის ორ ფრაქციად შეუძლებელია. ამრიგად, უარყოფილი იქნა პირველი ჰიპოთეზა, როგორც ექსპერიმენტთან შეუთავსებელი.

დანარჩენი ორი ჰიპოთეზის შესამოწმებლად მეზელსონმა და სტალმა დნმ გამოვეს ბაქტერიული უჯრედების მეორე ახალი გენერაციიდან. ამ შემთხვევაში მათ შეძლეს დნმ-ის ორ ფრაქციად გაყოფა. ერთი ფრაქცია შეიცავდა როგორც ^{15}N -იან, ისე ^{14}N -იან მოლეკულებს, მეორე ფრაქციაში კი მხოლოდ ^{14}N -ის შემცველი მოლეკულები იყო.

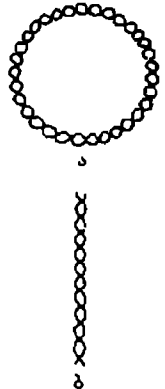
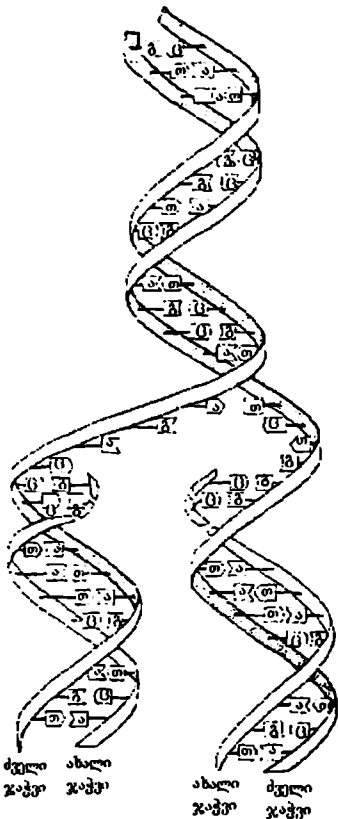
14.10 სურათის მეოთხე რიგში ნაჩვენებია, რომ დისპერსიული რეპლიკაციის ჰიპოთეზა ამ შემთხვევაში მხოლოდ დნმ-ის ერთი ფრაქციის არსებობას ვარაუდობს, რომელშიც იქნებოდა ^{15}N -ის და ^{14}N -ის შემცველი მოლეკულები. მიღებული შედეგი ამ ჰიპოთეზასთან შეუთავსებელი აღმოჩნდა, მაგრამ იგი ეთანხმებოდა რეპლიკაციის ნახევრად კონსერვატულ ჰიპოთეზას. მეზელსონმა და სტალმა გააკეთეს დასკვნა, რომ მათ მიერ წამოყენებული სამი ჰიპოთეზიდან ექსპერიმენტულ მონაცემებს მხოლოდ რეპლიკაციის ნახევრად კონსერვატული ჰიპოთეზა შეესაბამება. სხვა მეცნიერების მიერ მოგვიანებით ჩატარებული ცდებით დადგინდა, რომ ეუკარიოტული უჯრედების დნმ-საც ახასიათებს ნახევრად კონსერვატული რეპლიკაცია.

რეპლიკაციის დასაწყებად საჭიროა, რომ ორმაგი სპირალის ჯაჭვები განცალკევდნენ. ამ პროცესს განსაკუთრებული ფერმენტი აწარმოებს. ჯაჭვები ერთმანეთს ისე სცილდებიან, როგორც ელვა-შესაკრავის ნახევრები. ამ დროს აზოტოვანი ფუძეების შემაერთებელი წყალბადოვანი ბმები ირღვევა. სხვა ფერმენტები თითოეული ამ ჯაჭვის გასწვრივ მოძრაობენ და აგებენ ახალი ჯაჭვის შაქარ-ფოსფატურ ლერძს - ე.ი. ერთმანეთთან აკავშირებენ ძველი ჯაჭვის გასწვრივ განლაგებულ, მისი ნუკლეოტიდების კომპლემენტარულ ახალ ნუკლეოტიდებს (სურ.14.11).

ახალი ჯაჭვები ჯერ მოკლე ფრაგმენტების სახით სინთეზირდებიან, რომლებიც შემდეგ გრძელ ჯაჭვებს ქმნიან კიდევ ერთი სპეციალური ფერმენტის დახმარებით.

სურ.14.11. დნმ-ის რეპლიკაცია. ორმაგი სპირალური "ინსნუკი"

სუსტ წყალბადურ ბმებზე, რომლებიც ორი ჯაჭვის კომპლემენტარულ ფუძეებს აერთებენ. თითოეული ჯაჭვი მატრიცის როლს ასრულებს ახალი ჯაჭვის წარმოსაქმნელად: ძველი ჯაჭვის ნუკლეოტიდების პირდაპირ განლაგების მათი კომპლემენტარული ნუკლეოტიდები და შემდეგ ერთმანეთს უერთდებიან.



სურ.14.12. პროკარიოტული უჯრედში ცავს ლნმ-ს რგოლურ მოლეკლას (ა), ხოლო ეუკარიოტული - ზოზობიეს (ბ).

14.4. ღნმ უჯრედებში

პროკარიოტულ (ბაქტერიულ) უჯრედში ღნმ ერთი ორმაგი სპირალის სახით არსებობს. მისი ბოლოები შეერთებულია და წარმოიქმნება რგოლი (სურ.14.12). ეუკარიოტულ (ე.ი.მცენარეების, ცხოველების, სოკოების და უმარტივესების) უჯრედებში მდებარეობს ქრომოსომები, რომელთაგან თითოეული ღნმ-ის ძალიან გრძელი მოლეკულის და მასთან დაკავშირებული ცილისაგან შედგება. ხილის ბუზის - დროზოფილას ყველაზე გრძელი ქრომოსომა შეიცავს 4,0 სმ სიგრძის ღნმ-ის მოლეკულას. თვითონ ხილის ბუზის სხეულის სიგრძე 10-ჯერ ნაკლებია. აქედან ჩანს, რომ ღნმ-ის მოლეკულები უჯრედში ძალიან მჭიდროდ უნდა იყოს დახვეული. ღნმ-ის უდიდესი ნაწილი ცილოვანი გროვების ირგვლივ არის დახვეული

ისე, რომ ქრომოსომები გარეგნულად მძივის ძაფს მოგვაგონებენ (სურ.14.13). ეს არის ნუკლეოსომები¹.



სურ.14.13. ეუკარიოტული უჯრედის ქრომოსომის ნაწილი (ძალიან გადიდებული). მუქი ძაფი გამოხატავს დნმ-ის ორმაგ საირალს მასთან მიერთებული ცილითურთ. რუხი ბურთულები - გლობულარული ცილებია. მანძილი A-დან B-მდე დაახლოებით დნმ-ის 60 ნუკლეოტიდურ წყვილს შეესაბამება. A-ს და C-ს შორის თავსდება დაახლოებით 200 ნუკლეოტიდური წყვილი.

14.5. მუტაციური პროცესი

მუტაციას უწოდებენ დნმ-ის მოლეკულის მემკვიდრეობით ცვლილებებს. მუტაციის მრავალი სახე არსებობს, რომლებიც მეტ-ნაკლები ხარისხით მოქმედებენ ორგანიზმზე (ცხრილი 14.2). ორგანიზმის სომატურ უჯრედში წარმოშობილი მუტაცია ორგანიზმის იმ ნაწილს ცვლის, რომელიც ამ საწყისი უჯრედიდან წარმოშობილი უჯრედებისგან ვითარდება. თუ მუტაცია მოხდება კვერცხუჯრედებში ან სპერმატოზოიდებში, მაშინ შეცვლილი მემკვიდრეობითი ნიშნები ორგანიზმის შთამომავლობას გადაეცემა.

ცხრილი 14.2. მუტაციის ტიპები

ერთი ნუკლეოტიდის გარდაქმნა მეორედ
 ერთი ან რამდენიმე ნუკლეოტიდის ჩართვა დნმ-ის ნუკლეოტიდურ თანმიმდევრობაში
 დნმ-ის ნუკლეოტიდური თანმიმდევრობიდან ერთი ან რამდენიმე ნუკლეოტიდის ამოვარდნა
 ნუკლეოტიდური თანმიმდევრობის რომელიმე მონაკვეთის ინვერსია (დნმ-ის მოლეკულის ნაწილის 180°-ით შემობრუნება)
 ქრომოსომის გაწყვეტა და მისი ფრაგმენტების დაკარგვა
 ერთი ქრომოსომის ნაწილის მიერთება მეორე ქრომოსომასთან
 ერთი ან რამდენიმე მთლიანი ქრომოსომის დაკარგვა
 ერთი ან რამდენიმე ქრომოსომის დამატებითი ასლის გაჩენა

¹ თითოეული ნუკლეოსომა შეიცავს 200 გარბეჭეულ ფუტეს და შემოფარგლულა 4 ძირითადი ბირთვული ცილით - ჰისტონით (თითოეული მათგანი ორი მოლეკულით არის წარმოდგენილი). ცალკეული ნუკლეოსომის შემაერთებული ძაფი დნმ-ისა და ჰისტონისგან შედგება. ეს ჰისტონები ქიშიურად განსხვავდება ნუკლეოსომების შედგენილობაში შემავალი ჰისტონებისაგან.

მუტაციის გამოწვევა მუტაგენური ფაქტორები (მათ შორის მუტაგენებსაც უწოდებენ). მაგალითად, რენტგენის სხივები ან რადიოაქტიური გამოსხივება ღნმ-ის მოლეკულის გაწყვეტას იწვევს, რის შედეგადაც ზოგჯერ ქრომოსომების ცალკეული მონაკვეთები იკარგება. ზოგიერთი ქიმიური ნივთიერება ასევე იწვევს ღნმ-ის მოლეკულის ცვლილებებს. ნუკლეოტიდების სტრუქტურასთან ახლოს მყოფ ნივთიერებებს შეუძლიათ ღნმ-ის მოლეკულის შედგენილობაში შემთხვევით ჩართვა. უცხო ნივთიერებები ურთიერთქმედებენ ღნმ-ის ჯაჭვის ნუკლეოტიდებთან და ცვლიან ნუკლეოტიდების შეწყვილების უნარს. ამ შემთხვევაში, ღნმ-ის გაორმაგების დროს, ძველ ჯაჭვს უწყვილდება "არასწორი" ნუკლეოტიდი. შემდგომი რეპლიკაციისას ეს შეცდომა ამ ღნმ-ის ყველა შთამომავალს გადაეცემა.

მუტაციების მცირე რიცხვი სასარგებლოა, რადგანაც ისინი იწვევენ გენეტიკური მასალის ცვალებადობას და უზრუნველყოფენ "მასალას" ევოლუციისათვის. მაგრამ ვინაიდან ორგანიზმების გენეტიკური მასალა მილიონობით წლების განმავლობაში მოქმედი გადარჩევის შედეგია, მისი ცვლილებები უფრო ხშირად აზიანებს ცოცხალი უჯრედების ზუსტად დაბალანსირებულ აპარატს. ადამიანის კვერცხუჯრედებსა და სპერმატოზოიდებში სხვადასხვა გენის მუტაციების სიხშირე, ჩვეულებრივ, 1-დან 250-მდეა მილიონ ადამიანში.

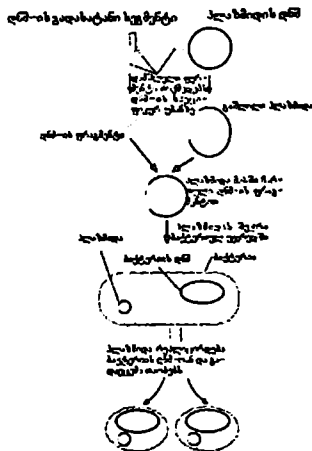
14.6. გენური ინჟინერია და ღნმ-ის რეკომბინაცია

ღნმ-ის ნუკლეოტიდების თანმიმდევრობა განსაზღვრავს შესაბამისი ცილის ამინომჟავათა თანმიმდევრობას. ეს პროცესი ამჟამად იმდენად კარგად არის შესწავლილი, რომ ხ.ბ.კორანამ (Har Bind Korana) ხელოვნური გენის შექმნა და ბაქტერიის კულტურაში მისი წარმატებით შეყვანა შეძლო. ეს უკვე გენური ინჟინერიაა, ანუ მეთოდი, რომელმაც შესაძლებელი გახდა უჯრედში ჩვენთვის სასურველი გენეტიკური ინფორმაციის შეყვანა. დღეს უკვე საუბარია რეკომბინაციური ღნმ-ის შექმნაზე, ე.ი. ერთი ორგანიზმის ღნმ-ის შეყვანაზე მეორე ორგანიზმში. უმაღლესი ორგანიზმების მრავალი გენი შეჰყავთ ბაქტერიულ უჯრედებში. თვალპირველად გადასატან გენი შეყავთ „გადაბმის“ (სპლაისინგის) მეშვეობით მცირე ზომის რგოლურ ღნმ-ში, ე. წ. პლაზმიდაში. ეს პლაზმიდა შეაღწევს ბაქტერიულ უჯრედში და მისი ღნმ-ის ბედს იზიარებს (სურ.14.14 და 14.15). უჯრედის გაყოფის წინ ახალი გენი ბაქტერიულ ღნმ-თან ერთად ორმაგდება და ბაქტერიას ახალი ღნმ-ის შესაბამისი ცილის დასინთვების საშუალება ეძლევა.

რადგანაც ბაქტერიები ძალიან სწრაფად მრავლდებიან, ჩნდება ჩვენთვის საინტერესო გენის მრავალი ასლის მიღების საშუალება. ეს ასლები შემდგომში გამოიყენება ამ გენის ნუკლეოტიდური თანმიმდევრობის გამოსარკვევად ანდა მისი ცილოვანი პროდუქტის დიდი რაოდენობით მისაღებად, მაგალითად, ინსულინის წარმოებისთვის (ინსულინი პორმონია, რომელიც დიდი რაოდენობით სჭირდებათ დიაბეტით დაავადებულ ადამიანებს).



ქალბატონ X-ს აქვს რეკომბინანტური დნმ-ის დამზადების საოცარი ნიჭი



სურ.14.14. რეკომბინანტური დნმ-ის მიღება და კლონირება.

დამუშავებულია ინტერფერონის მიღების მეთოდიც. ეს ცილები ვირუსების გამრავლებას აფერხებენ. დასნებოვნებული უჯრედების მიერ გამოყოფილი ინტერფერონი მეზობელ ჯანმრთელ უჯრედებს იცავს ვირუსისაგან. ამიტომ ინტერფერონის გამოყენება ეფექტური იქნება ვირუსული დაავადებების (მათ შორის მეჭვჭვებისა და კიბოს ზოგიერთი ფორმის) სამკურნალოდ. 70-იან წლებში სამედიცინო მიზნებისთვის ინტერფერონის მიღება ძალიან შრომატევადი გზით – ადამიანის უჯრედებიდან მისი ექსტრაგირებით – ხდებოდა. ამიტომ იგი მცირე რაოდენობით იყო და ძალიან ძვირი ჯდებოდა. 1980–1982 წლებში შეძლეს ბაქტერიულ უჯრედში ადამიანის სამი გენის შეყვანა, რომლებიც პასუხისმგებელია ინტერფერონის სინთეზზე. ასე რომ, ჩვენ მალე, ალბათ, ამ პრეპარატს საკარისი რაოდენობით და ხელმისაწვდომ ფასად შევიძენთ. გენური ინჟინერიის გზით მიღებული ინტერფერონის კიბოს საწინააღმდეგოდ გამოყენების პირველი ცდები უშედეგოდ დამთავრდა. მაგრამ იმედი უნდა ვიქონიოთ, რომ საკმე გვაქვს ტექნიკურ სიძნელებთან, რომელთა დაძლევაც შესაძლებელია.

ამჟამად მუშავდება უსაფრთხო ვაქცინების მიღების ტექნოლოგიები, რეკომბინანტული დნმ-ს გამოყენებით. რეკომბინანტული დნმ გამოიყენება ცალკეული გენების ფუნქციონირების მექანიზმის დასადგენად. სოფლის მეურნეობაში შესაძლებელია განსაკუთრებით საზიანო დაავადებების მიმართ გამძლე ჯიშების შექმნა მათ გენონში გაძლეობის განმაპირობებელი გენების შეყვანის გზით. გამოკვლევათა ერთი მიმართულება დაკავშირებულია ისეთი გენების გამოყოფასთან, რომელთა წყალობითაც პარკოსანი მცენარეები სიმბიოზში იმყოფებიან აზოტმაფიქსირებელ ბაქტერიებთან. ეს ბაქტერიები პარკოსანთა ფესვებში ცხოვრობენ და ატმოსფეროში მყოფი აირივანი აზოტი



სურ.14.15. ბაქტერიული ქალხშიდები.

მცენარისთვის შესაფერისებელ ფორმაში გადააყავთ. ამ გენების სხვა კულტურულ მცენარეში გადატანა, ხოლო მის ფესვებზე აზოტმაფიქსირებელი ბაქტერიების დასახლება რომ მოხერხდეს, ძვირად ღირებული აზოტოვანი სასუქების გამოყენების საჭიროება აღარ გვეჩვენა.

უმალეს ორგანიზმებში, ე.ი. მცენარეებსა და ცხოველებში, გადასატანად არჩეულ გენებს აშენებენ არა პლაზმიდებში, არამედ მობილურ ელემენტებში – დნმ-ის მოლეკულის მონაკვეთებში, რომელთაც ერთსა და იმავე ქრომოსომაში ანდა ერთი ქრომოსომიდან მეორეზე გადაადგილების უნარი აქვთ. ამ დროს ისინი თან გაიყოლებენ ხოლმე დნმ-ის მეზობელ უბნებსაც. მცენიერები იყენებენ მათი ქცევის ამ თავისებურებას და ამორჩეულ გენს შეაზრდიან იმ ელემენტს, რომელსაც მისი ახალ უჯრედში გადატანა შეეძლება. ბარბარა მაკკლინტოკა (Barbara McClintock) ჯერ კიდევ რამდენიმე ათწლეულის წინ აღმოაჩინა მობილური ელემენტები სიმინდში, მაგრამ მაშინ ეს კურიოზად ჩათვალეს. მოხერხდა ერთი ხაზის ხილის ბუხის გენის მეორე ხაზის ჩანასახისთვის გადანერგვა. ეს გენები შეჰყავდათ ისეთ უჯრედებში, რომლებსიგანაც შემდგომში რეპროდუქციული ორგანოები ვითარდებოდნენ. როდესაც ჩანასახებიდან მოზრდილი ხილის ბუხები ჩამოყალიბდნენ, მათ თავიანთ შთამომავლობას ტრანსპლანტირებული გენი გადასცეს და ამ გენთან ერთად ლალისფერი თვალები ნაცვლად ყავისფერისა, რაც ჩვეულებრივ ამ ბუხებისთვის იყო დამახასიათებელი.

14.7. ვირუსები

ვირუსები იმდენად მარტივი აგებულების მქონე ნაწილაკებია, რომ ხანდახან მათ ცოცხლადაც არ თვლიან. თითოეული ვირუსული ნაწილაკი შედგება გენეტიკური მასალის ერთი მოლეკულისგან (დნმ ან რნმ), რომელსაც გარს აკრავს ცილოვანი გარსი. ვირუსები ცხოველების, მცენარეების და ადამიანის მრავალი დაავადების გამომწვევია. ამიტომაც ჩვენს ცნობიერებაში მათ სახელთან მხოლოდ უსიამოვნებანი არის დაკავშირებული. სამაგიეროდ, ისინი საკმაოდ კარგი ობიექტები აღმოჩნდნენ დნმ-ის სტრუქტურის და მისი რეპლიკაციის გზების შესასწავლად.

ვირუსების ერთ-ერთი თავისებურება ის არის, რომ მათ მხოლოდ ცოცხალ უჯრედებში შეუძლიათ გამრავლება (აქედან გამოდის საინტერესო დასკვნა: ალბათ, ევოლუციის პროცესში, ვირუსები ნამდვილი უჯრედების წარმოშობის შემდეგ გაჩნდნენ). ვირუსის გარსი შპრიცის როლს ასრულებს (იხ. სურ.14.5), რომელიც ვირუსის გენეტიკურ მასალას შესაფერის უჯრედში შეაშხაპუნებს. აქ ვირუსული დნმ ან რნმ უჯრედის გენეტიკურ მასალას იმორჩილებს და აიძულებს მას დაასინთეზოს ვირუსის ცილები და ვირუსის ნუკლეინის მჟავა. შემდგომში, ისევ ვირუსის ზეგავლენით, უჯრედი ასინთეზებს ისეთ ფერმენტებს, რომლებიც მასვე შლიან და წარმოქმნილი ათასობით ვირუსული ნაწილაკი თავისუფლდება. ასე ვითარდება მოვლენები სხვადასხვა ვირუსული დაავადების: რინიტის, ინფექციური ჰეპატიტის, პოლიომიელიტის, ყვავილის, გრიპის, ცოფის დროს. ამ დაავადებათა სიმპტომებს ორგანიზმზე ვირუსული ცილების მოქმედება განაპირობებს. ზოგიერთ ვირუსს კიბოს გამომწვევე მიზეზადაც თვლიან (განკ.15.7).

XIV თავის მოკლე შინაარსი

მონაცემები იმის თაობაზე, რომ ღმბ წარმოადგენს გენეტიკურ მასალას ყველა ორგანიზმისთვის – ბაქტერიული უჯრედიდან უზარმაზარ მუხამდე და თევზიდან ადამიანამდე – მრავალი წყაროდან იქნა მიღებული.

1. ბაქტერიებში მიმდინარე ტრანსფორმაციის დროს მემკვიდრეობითი ნიშან-თვისებები ერთი ბაქტერიული უჯრედიდან მეორეს ღმბ-ის გზით გადაეცემა.

2. ბაქტერიოფაგს (ე.ი. ბაქტერიის დამაზიანებელ ვირუსს) ბაქტერიულ უჯრედში მხოლოდ თავისი ღმბ შეჰყავს და ამ გზით მთელი უჯრედის აპარატს იმორჩილებს.

3. ერთი და იმავე სახეობის ორგანიზმებში ყველა სომატური უჯრედი ღმბ-ის ერთნაირ რაოდენობას შეიცავს (მცირე გამონაკლისების გარდა). რეპროდუქციული უჯრედები ღმბ-ის ორჯერ ნაკლებ რაოდენობას შეიცავს. სხვადასხვა სახეობის ინდივიდები ერთმანეთისაგან ღმბ-ის შემცველობით განსხვავდება.

4. ერთი სახეობის ყველა ინდივიდს ღმბ-ის აზოტოგანი ფუძეების შეფარდება ერთნაირი აქვს.

ღმბ-ის მოლეკულას გრძელი სპირალის ფორმა აქვს. ის მოგვაგონებს სპირალურად დახვეულ თოკის კიბეს, რომელშიც “თოკის” როლს ასრულებს ორი ჯაჭვის შაქარ-ფოსფატური ღერძები, “საფეხურის” როლს კი – აზოტოგანი ფუძეების წყვილები. აღნიშნულ წყვილს ქმნის თიონთან, გუანინი – ციტოზინთან. თითოეული ფუძე უერთდება მოპირდაპირე ჯაჭვზე მყოფ პარტნიორს წყალბადური ბმების საშუალებით. პროკარიოტულ უჯრედებში გენეტიკური მასალა რგოლის სახით დახვეული ორსპირალიანი ღმბ-ის სახით არის წარმოდგენილი. ეუკარიოტული უჯრედების ბირთვებში ხაზობრივი ფორმის ქრომოსომებია, რომლებიც ღმბ-ისა და ცილისგან შედგება.

ღმბ-ის რეპლიკაცია ნახევრად კონსერვატიული გზით ხორციელდება: ღმბ-ის ორმაგი სპირალი გაიშლება და ფუძეების დამაკავშირებელი სუსტი წყალბადური ბმები წყდება. ფერმენტები საწყისი ღმბ-ის თითოეული ჯაჭვის პირდაპირ განლაგებული, ამ ჯაჭვის კომპლემენტარული ნუკლეოტიდების ერთმანეთთან დაკავშირების გზით ახალ ჯაჭვებს აგებენ.

ღმბ-ის მემკვიდრეობით ცვლილებებს მუტაციებს უწოდებენ. მათი გამოწვევა ისეთი მუტაგენებით ხდება, როგორიცაა: რენტგენის სხივები, ულტრაიისფერი გამოსხივება და სხვადასხვა ქიმიური ნაერთები. მუტაგენები ღმბ-ის ცალკეული მონაკვეთების დაკარგვას ან გაორმაგებას, ანდა ნუკლეოტიდური თანმიმდევრობის რაიმე ცვლილებებს იწვევენ. ყველა ეს ცვლილება შთამომავლობას გადაეცემა ღმბ-ის მოძენი რეპლიკაციის დროს.

რეკომბინანტური ღმბ-ის გამოყენებით ჩატარებულ ცდებში ხელოვნურად შექმნილი ან რომელიმე უმაღლესი ორგანიზმის გენები შეჰყავთ ბაქტერიულ უჯრედებში. ამის შემდეგ ისინი ამ გენით კოდირებული ცილის გამომუშავებას იწყებენ. გენური ინჟინერიის მეთოდების გამოყენებით შესაძლებელი გახდა აგრეთვე უმაღლესი ორგანიზმების გენების გადატანა როგორც ერთი სახეობის, ისე სხვადასხვა სახეობის ინდივიდებს შორის.

შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა

ქვემოთ მოყვანილ პასუხებიდან პირველ, მეორე და მესამე პუნქტებზე შეარჩიეთ ერთი, ყველაზე საუკეთესო:

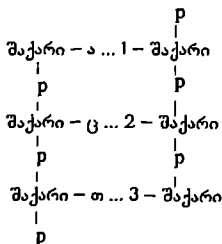
1. დნმ რომ გენეტიკურ მასალას წარმოადგენს, ამის ერთ-ერთი დასაბუთება შემდეგში მდგომარეობს:
 - ა) მოცემული ინდივიდის ყველა სომატურ უჯრედში დნმ-ის შემცველობა ერთნაირია, მაშინ როცა რეპროდუქციულ უჯრედებში მისი რაოდენობა ორჯერ ნაკლებია.
 - ბ) მოცემული ინდივიდის სხვადასხვა უჯრედის ცილები ერთნაირია, დნმ კი – განსხვავებული. ამიტომ სწორედ დნმ არის ის მასალა, რომელიც განაპირობებს ქსოვილებს შორის განსხვავებას.
 - გ) დნმ ყველაზე ღიდი ზომის მაკრომოლეკულაა, რომელიც აღმოჩენილია ცოცხალ ორგანიზმებში.
 - დ) დნმ ეუკარიოტული უჯრედების ბირთვში მდებარეობს.

2. ნუკლეოტიდი შედგება:

- ა) ა, გ, თ და ც –საგან.
- ბ) აზოტოვანი ფუძეებისაგან.
- გ) შაქრის, ფოსფატური ჯგუფის და ციკლური აზოტშემცველი შენაერთებისაგან.
- დ) შაქარ-ფოსფატური ლერძისაგან.

3. დნმ-ის მოლეკულაში:

- ა) აზოტოვანი ფუძეები კოვალენტურად არიან დაკავშირებული ფოსფატურ ჯგუფთან.
 - ბ) შაქრები იონური კავშირებით არის შეერთებული აზოტოვან ფუძეებთან.
 - გ) შაქრები აზოტოვან ფუძეებთან წყალბადური კავშირებითაა შეერთებული.
 - დ) აზოტოვანი ფუძეები ერთმანეთთან წყალბადური ბმებითაა დაკავშირებული.
 - ე) შაქრები ფოსფატურ ჯგუფებთან კოვალენტური ბმებით არის დაკავშირებული, აზოტოვან ფუძეებთან კი – წყალბადოვანი ბმებით.
4. ქვემოთ გამოსახულია დნმ-ის მონაკვეთი. მიუთითეთ, რომელ ფუძეებს შეესატყვისება მასში ციფრები: 1, 2 და 3.



5. ქვემოთ მოყვანილ ტექსტში შეაესეთ სამი გამოტოვებული ადგილი, ფრჩხილებიდან კი ტექსტში გადაიტანეთ ის სიტყვები, რომლებსაც თქვენ სწორად თვლით:

მეზელსონისა და სტალის ცდებში, რომლებიც მათ ჩაატარეს დნმ-ის რეპლიკაციის მექანიზმის გასარკვევად, ^{15}N და ^{14}N გამოიყენეს იზოტოპის, რომ გავრჩათ: ა) ————— და ბ) —————. მკვლევარები მივიღენ ამ დასკვნამდე, რომ დნმ რეპლიკირდება ნახევრად კონსერვატიული გზით მას შემდეგ, რაც მათ ნახეს, რომ პირველი ახალი გენერაციის დნმ-ში ^{15}N და ^{14}N ერთსა და იმავე მოლეკულაში (სხვადასხვა მოლეკულებში) იყოფებოდნენ. ხოლო მეორე ახალი გენერაციის დნმ-ში ^{15}N და ^{14}N ნაწილდებოდნენ გ) —————.

კითხვები განხილვისათვის

1. რატომ უნდა შეიცავდნენ კვერცხუჯრედები და სპერმატოზოიდები ორჯერ ნაკლებ გენეტიკურ ინფორმაციას, ვიდრე სხეულის სხვა უჯრედები?
2. რატომ ითვლება ორგანიზმის სხვადასხვა უჯრედებში დნმ-ის შემცველობა მუდმივობა იმის დადასტურებად, რომ დნმ გენეტიკურ მასალას წარმოადგენს? შეიძლება თუ არა ჩათვალთ აუცილებელად, რომ ორგანიზმის სხვადასხვა უჯრედი ერთნაირ გენეტიკურ ინფორმაციას უნდა შეიცავდეს? შესაძლებელია თუ არა, რომ მოცემული ორგანიზმის სხვადასხვა უჯრედში განსხვავებული გენეტიკური ინფორმაცია იყოს?
3. რა ბიოლოგიური მნიშვნელობა აქვს იმ ფაქტს, რომ ორმაგი სპირალის შაქარ-ფოსფატური ღერძი კოვალენტური ბმებით არის გამაგრებული, ხოლო მის ორ ჯაჭვს შორის განივი ხიდაკები წყალბადური ბმებით არის წარმოქმნილი?
4. მეზელსონისა და სტალის ცდებში გამოყენებული ბაქტერიები იდენტურ პირობებში გაზრდის დროს ყოველ 20 წუთში ახალ გენერაციას იძლეოდნენ. რამდენი დრო იქნებოდა საჭირო უჯრედების ახალ გარემოში ^{14}N -ში გადატანის შემდეგ, რომ შესაძლებელი ყოფილიყო პირველი, მეორე და მესამე გენერაციის უჯრედების სინჯების ამორჩევა.
5. მეზელსონისა და სტალის ცდებში უჯრედების პირველ გენერაციაში აღმოჩნდა დნმ-ის ჰიბრიდული მოლეკულები, რომლებიც შეიცავდნენ ^{15}N და ^{14}N . ქვემოთ მოყვანილი შედეგების რომელი ინტერპრეტაცია შეიძლება ჩაითვალოს სწორად?
 - ა) შედეგი ეთანხმება ნახევრად კონსერვატულ რეპლიკაციას.
 - ბ) შედეგი ეთანხმება როგორც ნახევრად კონსერვატულ, ისე დისპერსიულ რეპლიკაციას.
 - გ) შედეგი არ ეთანხმება კონსერვატულ რეპლიკაციას.
 - დ) არც დისპერსულ, არც კონსერვატულ რეპლიკაციას არ შეიძლება შეესაბამებოდეს ადგილი.

6. რატომ არის საჭირო რენტგენის სხივების დოზის შეზღუდვა, როცა მას ადამიანი გარკვეული დროის განმავლობაში იღებს? რომელი ორგანოები საჭიროებს განსაკუთრებულ დაცვას დასხივების გავლენისგან?

ნარკვევი. გამოსხივება და მუტაციები

ბიოლოგიური თვალთახედვით ყველაზე საშიშია მაიონიზებული გამოსხივება, რომელიც წარმოიქმნება დეადამიწის ქერქში და კოსმოსურ სივრცეში მდებარე რადიაქტიური ელემენტების დაშლის შედეგად. მას მიეკუთვნება: რენტგენის სხივები, რადიაქტიური გამოსხივება ანუ გამა-სხივები და ისეთი ნაწილაკები, როგორცაა ნეიტრონები, ალფა-ნაწილაკები (ჰელიუმის ატომის ბირთვები) და ა.შ. მაიონიზებელ გამოსხივებას გააჩნია საკმარისი ენერჯია, რათა ელექტრონების ამოგდების გზით ამა თუ იმ ნეიტიერების იონიზაცია გამოიწვიოს. ასეთი იონიზაცია შეიძლება განიცადოს მაგალითად, წყალმა. ასეთ დადებითად დამუხტულ წყალს რეაქციაში შესვლის მაღალი უნარი აქვს და ამიტომაც უჯრედში სრულიად არაბუნებრივი რეაქციების გამოწვევა შეუძლია.

მაიონიზებული გამოსხივების დიდი დოზების დროს უჯრედები იშლება და ილუპება, შედარებით მცირე დოზები სხვა ეფექტებს იწვევს. მათგან პირველ რიგში აღსანიშნავია დნმ-ის მოლეკულების გაწყვეტა. ძლიერ დაზიანებული დნმ-ის მოლეკულა რეპლიკაციის უნარს კარგავს და ამის გამო უჯრედის გაყოფა შეუძლებელი ხდება. ნაკლებად გამოხატული დაზიანებანი მუტაციების სახით გამოვლინდება. ეს მუტაციები უჯრედების გაყოფის გზით შთამომავლობას გადაეცემა. ვარაუდობენ, რომ კიბოს ზოგიერთი სახე, რომელსაც უჯრედების სწრაფი გაყოფა ახასიათებს (იხ. განყ. 15.7), სომატურ უჯრედებში ასეთი სახის მუტაციების წარმოშობის შედეგია.

მეორე მხრივ, მაიონიზებელ გამოსხივებას (შესაბამისი დოზებით) კიბოს სამკურნალოდ იყენებენ. უჯრედები რადიაციული დაზიანების მიმართ განსაკუთრებით გაყოფის წინა პერიოდშია მგრძობიარე. სიმსივნური უჯრედები უფრო სწრაფად იყოფა, ვიდრე მათი მეზობელი ჯანსაღი უჯრედები. ამიტომაც ავადმყოფი ორგანოს დასხივების დროს ილუპებიან ან ზრდას სწყვეტენ სიმსივნური და არა ჯანმრთელი უჯრედები.

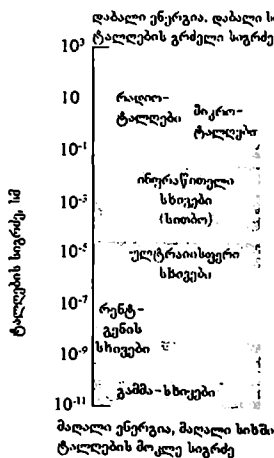
ულტრაიისფერი გამოსხივება ელექტრომაგნიტური გამოსხივების სპექტრის გარკვეულ ნაწილს იკავებს (სურ. 14.16). ულტრაიისფერი სხივების წყაროა მზე და "შავი" ფერის ნათურები. ნუკლეინის მჟავები ულტრაიისფერ სხივებს შთანთქავენ, რამაც მათი დაზიანება შეიძლება გამოიწვიოს. ულტრაიისფერ გამოსხივებას უჯრედების დაღუპვის უნარიც აქვს. ლაბორატორიაში მათ იმ ხელსაწყობების და ინსტრუმენტების სტერილიზაციისთვის იყენებენ, რომელთა დამუშავება ადუღებით ან ქიმიურად არ შეიძლება. ულტრაიისფერი სხივების მცირე დოზების მოქმედება შესაძლოა ისეთი რაოდენობის და ხასიათის მუტაციები გამოიწვიოს, რომელთა გავლენითაც ჩქარდება (მაგ. კანის კიბოს დროს) ან პირიქით, ნელდება უჯრედების გაყოფა. სწორედ უჯრედების გაყოფის შენელება არის იმის მიზეზი, რომ ღია ფერის კანის მქონე ადამიანებში, მზის სხივების ზედმეტი მოქმედების გამო, კანი სწრაფად ბერდება და ელასტიურობას კარგავს. ამ დროს კანის დაზიანებული უჯრედები ახლით ვერ იცვლება საჭირო

სისწრაფით. შავი ფერის კანი შეიცავს შავ პიგმენტს – მელანინს, რომელიც ულტრაიისფერ სხივებს შთანთქავს და ამიტომ ეს სხივები უჯრედის ღმრ-მდე ვერ აღწევენ. ამიტომაც შავკანიან ადამიანებში ნაკლებად შეიმჩნევა როგორც ნადრევი სიბერე, ისე კანის კიბო. რენტგენის და გამა-სხივებისგან განსხვავებით, ულტრაიისფერ სხივებს ადვილად შთანთქავს ცოცხალ ქსოვილებში მყოფი წყალი. ამიტომაც ეს სხივები კანის შიგნით ვეღარ აღწევენ და შინაგანი ორგანოების კიბოს ვეღარ იწვევენ.

მაიონზებელი გამოსხივებაც და ულტრაიისფერი გამოსხივებაც ჩვენი გარემოს ბუნებრივ ნაწილს შეადგენს. ეს არის ე.წ. ფონი. დამატებით დასხივებას ჩვენ "ცივილიზაციას" უნდა ეუბოდოდეთ. ასეთი დასხივების წყაროებია: 2% – ბირთვული აფეთქების შედეგად მიღებული ნალექები, 0,2% (ან ნაკლები) – ატომური ელექტროსადგურები. 40% – მედიცინაში გამოყენებული რენტგენის აპარატები. 2% – ფერადი ტელევიზორები და ა.შ.

ექსპერტთა უმეტესობას მიზანშეწონილად მიაჩნია სამედიცინო მიზნებისათვის რენტგენის სხივების გამოყენების შეზღუდვა.

ძველია თქმა, თუ ბუნებრივი რადიაციული ფონის (მისი აღკვეთა კი შეუძლებელია) როგორი გადამეტება შეიძლება ჩაითვალოს დასაშვებად. ჯერ ერთი, არც ისე ადვილია რადიაციული ფონის განსაზღვრა. სხვადასხვა ადამიანისთვის ის ძლიერ მერყეობს საცხოვრებელი ადგილის, საქმიანობის, ინდივიდუალური თვისებების და ა.შ. გამო. მეორეც, რადიაციის გარკვეული დოზით გამოწვეული დაზიანება ერთნაირი არ არის. იგი დამოკიდებული იმაზე, თუ ორგანიზმის რომელ ქსოვილზე და რომელ მოლეკულაზე იქონიებს გავლენას. ამის წინასწარ განსაზღვრა კი შეუძლებელია. ამავე დროს, ყველა უჯრედში მოიპოვება ფერმენტები, რომელთაც ნუკლეოტიდების შეწყვილების დროს დაშვებული შეცდომების გამოსწორება (რეპარაცია) შეუძლიათ (საყურადღებოა, რომ ულტრაიისფერი გამოსხივებით წარმოშობილი ზოგიერთი დაზიანების აღმდგენელი ფერმენტი აქტიურდება სინათლის საშუალებით, ანუ იგივე ბუნების ფაქტორით, როგორც ულტრაიისფერი სხივებით). რეპარაცია ყოველთვის არ არის სრულყოფილი. ამიტომაც არის, რომ დასხივება ზოგჯერ კიბოს ან ზოგიერთ სხვა დაავადებას იწვევს.



სურ.14.16. ელექტრომაგნიტური ტალღების სიგრძე.

XV თავი

ცილის სინთეზი და გენური კონტროლი

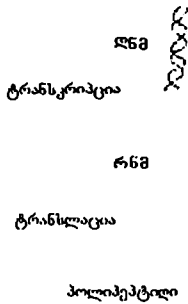
ამ თავის დამუშავების შემდეგ თქვენ უნდა შესძლოთ:

1. გენეტიკური კოდის აღწერა და იმის ახსნა, თუ რატომ უნდა იყოს იგი ტრიპლეტური.
2. ღწმ-ის მაკოდირებელი ჯაჭვის და კოდონების ცხრილის მიხედვით მატრიცული რწმ-ის კომპლემენტარული ნუკლეოტიდური თანმიმდევრობის განსაზღვრა. იმის გარკვევა, თუ ამ თანმიმდევრობის რომელი კოდონები მიიღებენ მონაწილეობას პეტიდის სინთეზში და ტრანსლაციის შედეგად როგორი ამინოჰაფური თანმიმდევრობა წარმოიქმნება.
3. ცილის სინთეზის პროცესში ღწმ-ის, მატრიცული რწმ-ის, ტრანსპორტული რწმ-ის, რიბოსომებისა და ამინოჰაფების როლის დახასიათება.
4. ცილის სინთეზის ცალკეული ეტაპების ჩამოთვლა.
5. ახსნათ, როგორ ხორციელდება ტრანსკრიფცია (ღწმ-იდან რწმ-ის) პროკარიოტებში.
6. ტერმინის “უჯრედული დიფერენციაცია” შინაარსის ახსნა და ამ პროცესის მსვლელობის აღწერა.
7. იმ სამი ნიშან-თვისების მითითება, რომლებითაც ციბოს უჯრედები განსხვავდებიან ნორმალურისგან.

მე-14 თავიდან შევიტყვეთ, რომ ორგანიზმის გენეტიკური ინფორმაცია მის ღწმ-ში არის მოთავსებული. ამ ინფორმაციის მნიშვნელოვან ნაწილს შეადგენს პროგრამები, რომლებიც განსაზღვრავენ, თუ როგორი თანმიმდევრობით უნდა დაკავშირდნენ ამინოჰაფები, რომ შეადგინონ გარკვეული პოლიპეტინი ან ცილა. მაგრამ, საინტერესოა თუ როგორ ხდება ღწმ-იდან ამ ინფორმაციის ამა თუ იმ ფუნქციურ ცილაში გადატანა.

ჩვენთვის ახლა უკვე ცნობილია, რომ ღწმ-ის ნუკლეოტიდური თანმიმდევრობა წარმოადგენს “გენეტიკურ კოდს”, რომელიც ცილის ამინოჰაფურ თანმიმდევრობას განსაზღვრავს. 60-იან წლებში ბიოქიმიკოსებმა გამოარკვიეს, რომ ცილაში ამინოჰაფების ურთიერთდაკავშირება ღწმ-ში კოდირებული ინსტრუქციის თანახმად ხდება. დადგენილი იქნა, რომ მეორე სახის ნუკლეინის მჟავა – რიბონუკლეინის მჟავა (რწმ) ამ პროცესში თამაშობს შუამავლის როლს, რომელსაც გენეტიკური ინფორმაცია ღწმ-იდან უჯრედის ცილის მასინთეზირებულ აპარატთან გადააქვს (სურ.15.1).

ამ თავში გავეცნობით გენეტიკურ კოდს და გავივებთ, თუ როგორ განსაზღვრავს ნუკლეოტიდების მოცემული თანმიმდევრობა ამინოჰაფურ თანმიმდევრობას. ღწმ-ის კოდის “გაშიფვრას” აწარმოებენ განსაკუთრებული, ძალიან სპეციფიკური კონფიგურაციის და ელექტრული მუხტის მატარებელი მოლეკულები. მოლეკულების ერთმანეთის მიმართ განლაგება ზუსტად არის განსაზღვრული. ისინი შეთანხმებულად მუშაობენ და კოდით განსაზღვრულ ცილას ქნიან.



დნმ-იდან რნმ-ის საშუალებით პოლიპეტიდებთან და ცილებთან გენეტიკური ინფორმაციის გადატანას ვენის ექსპრესიას (გამომჟღავნებას) უწოდებენ. გენი არის დნმ-ის მონაკვეთი, რომელიც განსაზღვრულ ფუნქციას ასრულებს. მრავალი გენი შეიცავს ინფორმაციას, რომელიც აუცილებელია რნმ-ის მოლეკულის შესაქმნელად. რნმ-ის მოლეკულების ნაწილი, თავის მხრივ, შეიცავს ამა თუ იმ პოლიპეტიდის სინთეზისათვის საჭირო ინფორმაციას. დნმ-ში არის მონაკვეთები, რომლებიც სხვა გენების აქტიურობას არეგულირებენ. ასეთ მონაკვეთებს მარეგულირებელ გენებს უწოდებენ. მარეგულირებელი გენები ურთიერთქმედებენ სხვა მოლეკულებთან, რის შედეგადაც მოცემული უჯრედის ცილის სინთეზზე გავლენას

სურ 15.1. დნმ-ის ნუკლეოტიდურ თანმიმდევრობაში მოთავსებული გენეტიკური ინფორმაცია გადაიწერება რნმ-ის ნუკლეოტიდურ თანმიმდევრობაში და საბოლოო ეტაპში თავის გამოხატულებას პოლიპეტიდის შესაბამისი პოლიპეტიდის (ცილის) ამინომჟავურ თანმიმდევრობაში.

ახდენენ. თავისი სიციცხლის სხვადასხვა პერიოდში უჯრედი გამოიშვამებს განსხვავებულ ცილებს, ანდა ერთი და იმავე ცილის სხვადასხვა რაოდენობას.

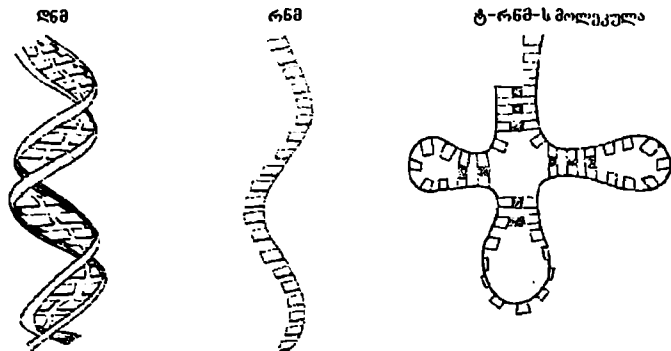
ამ თავში მოგიხრობთ, თუ როგორ ხდება დნმ-ში მოცემული გენეტიკური ინფორმაციის რეალიზაცია ფუნქციური ცილის სახით და როგორ ხდება უჯრედის მოთხოვნილებს მიხედვით ცილის სინთეზის რეგულირება. ეს მთავარი საკითხებია, რომლებიც მოლეკულური გენეტიკის წინაშე დგას. ჩვენ ვნახავთ აგრეთვე, რომ ცილის სინთეზის მექანიზმის გარკვევა მრავალი პრობლემატური საკითხის გასაღებია. მაგ. ჩანასახის განვითარების შესასწავლად, კიბოს ბუნების გასარკვევად და ა.შ.

15.1. რნმ და დნმ

40-იან წლებში კუჭქვეშა ჯირკვლის და სხვა ისეთი ორგანოების შესწავლისას, რომლებშიც დიდი რაოდენობით ცილა გამოიშვამება, ნათელი გახდა, რომ ცილის სინთეზისთვის გარდა დნმ-ისა, რნმ-იც არის საჭირო. დნმ ეუკარიოტული უჯრედების ბირთვში რჩება, ხილი რნმ ციტოპლაზმაშია (ე.ი. იქ, სადაც ცილის სინთეზი მიმდინარეობს), ე.ი. რნმ უშუალოდ მონაწილეობს ცილის სინთეზში.

დნმ და რნმ ერთი და იმავე მონომერული რგოლების - ნუკლეოტიდებისაგან შედგება. მაგრამ მათ განსხვავებული შაქრები აქვთ: რნმ შეიცავს რიბოზას, დნმ - დეზოქსირიბოზას, რომლის მოლეკულაშიც ყანგბადის ატომების რიცხვი ერთით ნაკლებია. აქედან მოდის სახელწოდებაც: რიბონუკლეინის მჟავა (რნმ) და დეზოქსირიბონუკლეინის მჟავა (დნმ). სამი აზოტოვანი ფუძე - ადენინი (ა), გუანინი (გ) და ციტოზინი (ც) - რნმ-ს და დნმ-ს ნუკლეოტიდებში ერთნაირია. მეოთხე აზოტოვანი ფუძე კი განსხვავებული აქვთ: რნმ-ის

ნუკლეოტიდებში შედის ურაცილი (U), ღმმ-ის ნუკლეოტიდებში კი მისი მსგავსი აზოტოვანი ფუჟე - თიმინი (T). რნმ-ის მოლეკულა ერთჯაჭვიანია, ღმმ-ისა კი - ორჯაჭვიანი. რნმ-ის მოლეკულას შეუძლია მოიხაროს და მარჯულის ფორმა მიიღოს. ამ უბნების ერთმანეთთან დაკავშირება წყალბადური ბმებით ხდება (სურ.15.2).



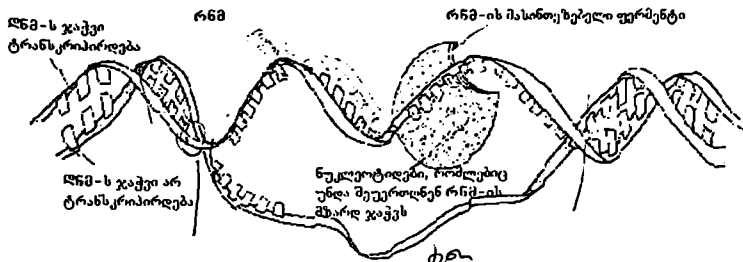
სურ 15.2. ღმმ-ს მოლეკულები უმეტეს წილად ორჯაჭვიანია და სპირალურად არის დახვეული. რნმ-ის მოლეკულები ყოველთვის ერთჯაჭვიანია, მაგრამ მათ შეუძლიათ დახვევა, წარმოქმნის მარჯულებს, რომლებიც შენარჩუნებულია შეწყვილებული ფუძეებით, როგორც ეს ნარჩუნდება სქემაზე.

რნმ-ის სინთეზი ღმმ-მატრიცაზე ხდება. ამ პროცესს ტრანსკრიპცია (გადაწერა) ეწოდება. ამ დროს ღმმ-ის ორმაგი სპირალის ნაწილი გაიშლება და მისი ერთ-ერთი ჯაჭვის გასწვრივ მოძრაობს განსაკუთრებული ფერმენტი, რომელიც რნმ-ის ნუკლეოტიდურ მონომერებს ღმმ-ის შესაბამისი ნუკლეოტიდების პირდაპირ აღაგებს. ეს ფერმენტი ამ მონომერებს ერთმანეთთან აკავშირებს და მიიღება რნმ-ის გრძელი ჯაჭვი. ფუძეების შეწყვილების ის წესი, რომელიც ჩვენ ღმმ-ის გაცნობისას განვიხილეთ, აქაც იგივე რჩება, ე.ი. გუანინი უწყვილდება ციტოზინს, ზოლო ღმმ-ის თიმინი - რნმ-ის ადენინს. რნმ-ის ურაცილი ეწყვილება ღმმ-ის ადენინს (სურ.15.3).

მატრიცულ ღმმ-ზე სამი სახის რნმ-ის სინთეზი ხდება. ეს არის მატრიცული, სატრანსპორტო და რიბოსომული რნმ. მატრიცული რნმ-ის საშუალებით პოლიპეპტიდების სინთეზის შესახებ გენეტიკური ინფორმაცია ღმმ-იდან უჯრედის ცილის მასინთეზირებელ რიბოსომებს გადაეცემა. სატრანსპორტო რნმ-ს რიბოსომებთან მოაქვს ამინომჟავები და აქამ ამინომჟავებისაგან აიგება პოლიპეპტიდური ჯაჭვი. თითოეული ამინომჟავა განსაკუთრებულ, სწორედ მისთვის გამიზნულ სატრანსპორტო რნმ-ს გადააქვს. რიბოსომული რნმ რიბოსომის მთავარ კომპონენტს წარმოადგენს. უჯრედის ღმმ-ი შეიცავს გენებს, რომლებიც ასინთეზებენ სამივე ტიპის რნმ-ს. აღსანიშნავია, რომ მხოლოდ მატრიცული რნმ-ის გენები შეიცავენ ინფორმაციას ცილის სინთეზის თაობაზე.

მატრიცული რნმ-ის მოლეკულა იქმნება ერთ-ერთი გენის ტრანსკრიპციის შედეგად. ასე რომ, მასში ჩაწერილია პოლიპეპტიდის სინთეზის შესახებ არსებული იგივე ინფორმაცია, რაც იყო ამ გენში. პროცესს, რომლის შედეგადაც მატრიცული რნმ-ის გენეტიკური ინფორმაცია აისახება პოლიპეპტიდის სტრუქტურაში, ტრანსლაცია (გადათარგმნა) ეწოდება. (ნუკლეინის

მეალები და პოლიპეტიდები — ეს ორი განსხვავებული კლასის მოლეკულებია. თითოეულს თავისი “ანჰანი” აქვს: პირველ შემთხვევაში “ანჰანის” ასოების როლს ნუკლეოტიდები ასრულებენ, მეორე შემთხვევაში კი — ამინომჟავები). იმის გასაგებად, თუ როგორ ურთიერთქმედებენ ერთმანეთთან ტრანსლაციის პროცესში სხვადასხვა ტიპის რნმ-ები, უნდა ვიცოდეთ, თუ როგორ არის კოდირებული დნმ-ის და რნმ-ის მოლეკულებში გენეტიკური ინფორმაცია.



სურ 15.3. ტრანსკრაცია: რნმ-ს სინთეზი; დნმ-ს მატრიცაზე

15.2. გენეტიკური კოდი

ცილები ორგანიზმში მრავალ ფუნქციას ასრულებს. ისინი აკატალიზებენ ბიოქიმიურ რეაქციებს, ახორციელებენ ყველა სახის უჯრედულ მოძრაობას, ქმნიან უჯრედული ორგანოიდების სხვადასხვა კომპონენტს. ასე რომ, ორგანიზმის მთელი სიცოცხლისუნარიანობა მათზე არის დამოკიდებული. ამა თუ იმ ცილის მოქმედების ეფექტურობა მის სტრუქტურაზეა დამოკიდებული, თვითონ სტრუქტურა კი მის პოლიპეტიდურ ჯაჭვში ამინომჟავების თანმიმდევრობით განისაზღვრება (შევახსენებთ, რომ ზოგიერთი ცილის მოლეკულა ერთზე მეტი პოლიპეტიდური ჯაჭვისგან არის აგებული. მაგალითად, ჰემოგლობინის მოლეკულა ოთხი პოლიპეტიდური ჯაჭვისგან შედგება (იხ. სურ. 9.25). ჯერ სინთეზირდება ცალკეული პოლიპეტიდები, შემდეგ კი ხდება მათი ცილად აწყობა).

პოლიპეტიდურ ჯაჭვში ამინომჟავების დაკავშირება გენეტიკურ ინფორმაციაზეა დამოკიდებული. რადგანაც დნმ და პოლიპეტიდები ხაზოვან (განუტოტავ) მოლეკულებს წარმოადგენენ, ბუნებრივია იბადება აზრი, რომ დნმ-ის ნუკლეოტიდური თანმიმდევრობა განსაზღვრავს პოლიპეტიდებში ამინომჟავურ თანმიმდევრობას.

მაგრამ როგორი სახით არის დნმ-ის მოლეკულაში კოდირებული პოლიპეტიდების ამინომჟავური შედგენლობა? დნმ-ში არის 4 ტიპის ნუკლეოტიდი, ე.ი. გენეტიკური კოდის “ანჰანი” 4 ასოვან შედგება. ცილებში 20 სხვადასხვა სახის ამინომჟავაა. თითოეული მათგანი რომ ერთი ასოთი, ე.ი. ნუკლეოტიდით აღინიშნებოდეს, მაშინ გენეტიკური კოდი მხოლოდ ოთხ ამინომჟავას ეყოფოდა (სურ. 15.4). თუ შევადგენთ სამნუკლეოტიდიან კომბინაციებს (ტრიპლეტებს), ოთხი სხვადასხვა სახის ნუკლეოტიდის სამ-სამად დაჯგუფებისას 64 გარანტი მიიღება. ეს კი უკვე საკმარისზე მეტია. ამრიგად, “სიტყვის” ყველაზე მცირე სიგრძე, რომელიც ამა თუ იმ ამინომჟავას განსაზღვრავს, სამი ნუკლეოტიდის ტოლია.

კოდის ოთხი ასო	ორ-ორად აღებული 4 ასოს 16 შეთანწყობა			
ა	აა	აბ	აგ	აუ
ც	ცა	ცბ	ცგ	ცუ
ბ	ბა	ბბ	ბგ	ბუ
უ	უა	უბ	უგ	უუ

სურ. 15.4. ოთხასობიანი კოდის დროს ორ-ორად აღებული შესაძლებელი წყვილები

61-იანი წლების დასაწყისში საკმაოდ ბევრი მონაცემი დაგროვდა გენეტიკური კოდის ტრიპლეტური ბუნების თაობაზე. მაგრამ უცნობი იყო, თუ კერძოდ რომელი ტრიპლეტური რომელი ამინომჟავას აკოდირებდა.

ბიოქიმიკოსებმა შეძლეს შეექმნათ ხელოვნური რნმ ნუკლეოტიდების ცნობილი თანმიმდევრობით. ასეთი რნმ შეტანა რიბოსომების, ამინომჟავების, ტრანსპორტული რნმ-ისა და სხვა, ცილის სინთეზისთვის აუცილებელი ნივთიერებების შემცველ ხსნარში უზრუნველყოფდა ცილის სინთეზს.

აღმოჩნდა, რომ თუ ხსნარში იქნებოდა ისეთი ხელოვნური რნმ, რომელიც შედგებოდა მხოლოდ ურაცილიანი ნუკლეოტიდებისაგან, სინთეზირდებოდა პოლიპეპტიდური ჯაჭვი, რომელიც მხოლოდ ერთი სახის ამინომჟავის – ფენილალანინის ნაშთებს შეიცავდა. ცხადი გახდა, რომ რნმ-ის კოდურ "სიტყვას" (ანუ კოდონს) "უ"უ"უ ამინომჟავა ფენილალანინი შეესაბამებოდა (დნმ-ში მისი კოდი იქნება ტრიპლეტური ააა). უფრო რთული აღმოჩნდა სხვადასხვა "ასობისგან" შემდგარი ტრიპლეტის შესაბამისი ამინომჟავების განსაზღვრა, მაგრამ უკვე 1965 წელს მთელი გენეტიკური კოდი გამოიფრული იყო (ცხრილი 15.1).

სამი ტრიპლეტური – უაა, უაბ და უბა არც ერთ ამინომჟავას არ აკოდირებს. ესენი „სიტოა“-სიგნალებია, რომლებიც პოლიპეპტიდური ჯაჭვის სინთეზს წყვეტენ. ამრიგად, ამინომჟავების შესატყვისი კოდონების რიცხვი 61-ის ტოლია. კოდონები ერთმანეთს არ გადაფარავენ. ეს რომ ასე ხდებოდეს, ე. ი. სიტყვა რომ წინა სიტყვის მეორე ან მესამე ასოსგან იწყებოდეს, მაშინ მისი შესაძლებლობები ძალიან შეზღუდული იქნებოდა (წარმოიდგინეთ, ყველა ფრაზის წერა ასეთი წესით, რომ გიხდებოდეთ).

ცნობილია აგრეთვე, რომ გენეტიკური კოდის სიტყვები ერთმანეთის მიყოლებით არის განლაგებული ყოველგვარი ინტერვალის გარეშე, რომელიც კოდონის დასაწყისს ან დაბოლოებას აღნიშნავს. კოდირებული ინფორმაციის ათვლა რომელიმე განსაზღვრული საწყისი წერტილიდან უნდა ხდებოდეს. წინააღმდეგ შემთხვევაში მთელი თანმიმდევრობა არასწორად იქნება წაკითხული. დავეუვათ, რომ რნმ-ში ასეთი თანმიმდევრობა გვაქვს: უ-ც-ა-ა-ბ-ა-ბ-ც-უ-ა. თუ მას მარჯვენა მიმართულებით წაკითხავთ, იგი აკოდირებს თანმიმდევრობას სერ-არგ-ალა. თუ მის წაკითხვას მეორე ნუკლეოტიდიდან (ც-დან) დავიწყებთ, მაშინ სულ სხვა ამინომჟავურ თანმიმდევრობას მივიღებთ: ლეი-გლუ-ლეი.

ზემოთ თქმულიდან ჩანს, რომ დნმ-ის გენში მომხდარ მუტაციას შეუძლია ამ გენის მიერ კოდირებული ცილის შეცვლა. მუტაცია შეიძლება გამოიხატოს დნმ-ში ნუკლეოტიდების დამატებაში, დაკარგვაში, გადაადგილებაში ან შეცვლაში (იხ. ცხრილი 14.2). 15.1 ცხრილის გაცნობისას ადვილად შევამჩნევთ, რომ კოდონის მესამე ნუკლეოტიდის შეცვლა ამ მხრივ ნაკლებად მნიშვნელოვანია. ამ დროს პოლიპეპტიდურ ჯაჭვში იგივე ამინომჟავა ჩაერთვება.

ცხრილი № 1. სინფორმაციო რნმ-ის ცხრილი¹⁾

L6

მეორე ფუბე

მეორე ფუბე

უ		ც		ა		მეორე ფუბე			
უუ	ფფ	უუ	სს	უა	თთ	უგ	ცს	უ	
უუც	ფფს	უუც	სსც	უაა	თთრ	უგგ	ცსს	უ	
უუა	ლლი	უუა	სსრ	უაა	სტო	უგა	სტო	ა	
უუბ	ლლი	უუბ	სსრ	უაბ	სტო	უგბ	სტბ	ბ	
უუა	ლლი	ცცუ	პპო	ცაუ	პის	ცგუ	არგ	უ	
უუბ	ლლი	ცცბ	პპო	ცაბ	პის	ცგბ	არგ	ც	
ცუა	ლლი	ცუა	პპო	ცაა	გლნ	ცგა	არგ	ა	რ.პ.მ. ნიკოლე
ცუბ	ლლი	ცუბ	პპო	ცაბ	გლნ	ცგბ	არგ	ბ	
აუა	ოოუ	აუა	ტტრ	ააუ	ანს	აგუ	სერ	უ	
აუბ	ოოუ	აუბ	ტტრ	ააბ	ანს	აგბ	სერ	ც	
აუა	ოოუ	ააა	ტტრ	ააა	ლოზ	აგა	არგ	ა	
აუბ	მემ	ააბ	ტტრ	ააბ	ლოზ	აგბ	არგ	ბ	
გუუ	ვაკ	გუუ	ჯჯა	გაუ	ასა	გგუ	გლი	უ	
გუბ	ვაკ	გუბ	ჯჯა	გაბ	ასა	გგბ	გლი	ც	
გუა	ვაკ	გაა	ჯჯა	გაა	გლუ	გგა	გლი	ა	
გუბ	ვალ	გაბ	ჯჯა	გაბ	გლუ	გგბ	გლი	ბ	

1) მოცემული კოდიონით განსაზღვრული ამინომჟავას საპირველად დაწვეთ სახით, რომელიც კოდონის პირველ ფუბეს ეხება (მარცხნიდან) და გააკეთეთ ამ სტრიქონის იმ სვეტამდე, რომელიც კოდონის მეორე ფუბეს ქვეშ არის. შემდეგ იპოვეთ კოდონის მე-3 ფუბე ბოლო - მარჯვენა სვეტში. ეს სამი სტოპ-კოდონი აღნიშნავს მფორმირებას, რომლის დროსაც რიბოსომა წვეუტს მატრიცული რნმ-ს ათვლას და პოლიპეტიდური ჯაჭვის ხინთებს. აუგ კოდონი პოლიპეტიდის ხინთების დასაწყისს აღნიშნავს.

ამინომჟავების აღსანიშნავად შემდეგი შემოკლებები არის მიღებული: ალა - ალანი, არგ - არგინინი, ასნ - ასპარაგინი, ასპ - ასპარაგინის მჟავა, ვალ - ვალინი, პის - პისტიდინი, გლი - გლიცინი, გლნ - გლუტამინი, გლუ - გლუტამინის მჟავა, ილე - იზოლეიცინი, ლეი - ლეიცინი, ლიზ - ლიზინი, მეთ - მეთიონინი, პრო - პროლინი, სერ - სერინი, თირ - თიროზინი, ტრე - ტრეონინი, ტრი - ტრიფტოფანი, ფენ - ფენილალანი, ცის - ცისტეინი.

პირველი და მეორე ნუკლეოტიდის შეცვლისას კი პოლიპეტიდური ჯაჭვის გარკვეულ ადგილზე უკვე სხვა ამინომჟავა ჩადგება. დანარჩენი ამინომჟავები კი არ შეიცვლება. ერთი ნუკლეოტიდის დამატებამ ან დაკარგვამ კატასტროფული შედეგი შეიძლება გამოიწვიოს. თუ ათვლის ჩარჩო გადაადგილდა, შეიცვლება ყველა ამინომჟავა, რომელიც კოდონები მუტაციის ადგილის შემდეგ არის განლაგებული. ეს ცვლილება ჯაჭვის ბოლომდე გავრცელდება. მუტაციები უსასრულოდ მრავალფეროვანია და ასევე მრავალფეროვანია მათი მოქმედება გენის მიერ კოდირებულ ცილაზე.

ეუკარიოტულ უჯრედებში გენებს შორის არსებობს ღნმ-ის მონაკვეთი, რომელიც პოლიპეტიდის შესახებ ინფორმაციას არ შეიცავს. ასეთი უცნაური განლაგების აზრი ჩვენთვის ნათელი არ არის. ტრანსკრიპციის, ანუ მატრიცული რნმ-ის სინთეზის დროს, ასეთი

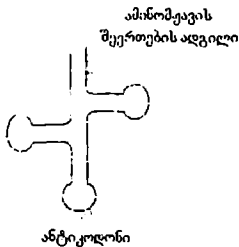
1. ა. კაპა, კარმა მიწოდება, ტ. 2

არაკოდური მონაკვეთებიც განიცდიან ტრანსკრიპციას, მაგრამ შემდეგ ისინი მატრიცული რნმ-იდან განიღვებებიან ტრანსლაციის დაწყებამდე.

ვხვებით სხვა უკიდურესობასაც: ზოგიერთ ვირუსს, და შესაძლოა ზოგიერთ ბაქტერიასაც, აქვს გადამფარავი გენები, რომლებსაც რნმ-ის საერთო მონაკვეთები გააჩნია. ეს, ალბათ, შეგუებულია ადგილის ეკონომიის მიზნით, რაც ასე მნიშვნელოვანია მცირე ზომის არსებებისათვის. ერთი გენის დაბოლოება შეიძლება მეორე გენის დასაწყისს წარმოადგენდეს, ან ერთი გენი თავის თავში შეიძლება მეორე სხვა გენსაც შეიცავდეს. ერთ ვირუსში აღმოაჩინეს გენების ისეთი გადაფარვა, როდესაც ორი გენი ერთი და იმავე წერტილიდან იწყება: პირველი გენი თავდება სტოპ-კოდონთან, მაგრამ ცილის მასინთეზირებელი აპარატი ხანდახან გადახტება ზოლზე ამ სტოპ-კოდონზე და აგრძელებს ცილის სინთეზს მატრიცული რნმ-ის გასწვრივ მანამ, სანამ მეორე სტოპ-კოდონთან არ მივა. ვირუსს ორივე ცილა სჭირდება – როგორც მოკლე, ისე გრძელი.

15.3. ცილის სინთეზი

ცილის სინთეზისთვის აუცილებელია რიბოსომები (რომლებიც ცილებისა და რიბოსომული რნმ-განაა აგებული), სატრანსპორტო რნმ (სურ.15.5), მატრიცული რნმ, ამინომჟავები და ბოლოს, სხვადასხვა სახის ფერმენტი.



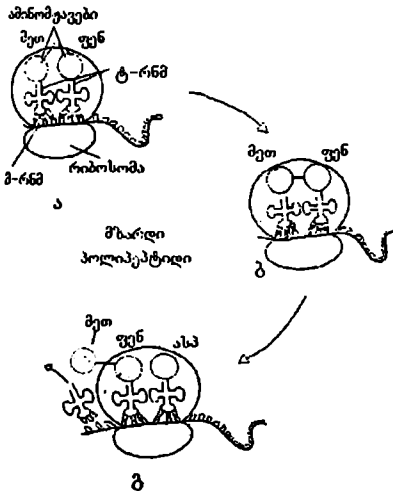
სურ.15.5. სატრანსპორტო რნმ-ს მოლეკულის ორი მთავარი მონაკვეთი: ბოლო, რომელიც იმ ამინომჟავას უერთდება, და მარჯვთა, რომელიც ანტიკოდონის სამ ფუძეს შეიცავს. ფუძეები კომპლემენტარულობის წესის მიხედვით უკავშირდებიან მატრიცული რნმ-ის კოდონის სამ ფუძეს. ამის წყალობით პოლიპეპტიდში შესაბამის ადგილზე ჯდება „სწორი“ ამინომჟავა.

დღემდე გამორკვეული არ არის, თუ როგორ იწყება ეუკარიოტულ უჯრედებში მატრიცული რნმ-ის ტრანსლაცია პოლიპეპტიდად. პროკარიოტებში ცილის სინთეზი იმით იწყება, რომ რიბოსომას მიუერთდება მატრიცული რნმ-ს აუგ კოდონი. რიბოსომასთან თითოეული ამინომჟავა მოაქვს განსაკუთრებულ, სწორედ მისთვის სპეციფიკურ სატრანსპორტო რნმ-ს. როგორ ხდება ამინომჟავას მიერთება შესაბამის სატრანსპორტო რნმ-თან? ამას ფერმენტები აკეთებენ. ერთი ამინომჟავა მეორისგან თავისი კონფიგურაციით განსხვავდება. ასეთივე განსხვავებაა სხვადასხვა სახის სატრანსპორტო რნმ-ებს შორის. განსაკუთრებულ ფერმენტს შეუძლია იცნოს და დაუკავშიროს ერთმანეთს სატრანსპორტო რნმ და მისი შესაბამისი ამინომჟავა. სატრანსპორტო რნმ-ს ამინომჟავა რიბოსომისკენ მიაქვს და იქ მანამდე დარჩება, სანამ ამინომჟავა პოლიპეპტიდურ ჯაჭვს არ მიუერთდება.

სატრანსპორტო რნმ-ს მოლეკულის ერთი უბანი მიუერთებს ამინომჟავას, მეორე უბანი კი (ანტიკოდონი), მატრიცული რნმ-ს იმ კოდონს უწყვილდება, რომელიც ამ ამინომჟავას

განსაზღვრავს. ანტიკოდონი სამი ფუძისგან შედგება, რომლებიც კოდონის შემადგენლობაში შემაგალი სამი ფუძის კომპლემენტარულია (სურ.15.5). მაგალითად, მეთიონინის გადატანის სატრანსპორტო რნმ-ს ანტიკოდონია უაც, რომელიც უწყვილდება მატრიცული რნმ-ს კოდონს აუგ.

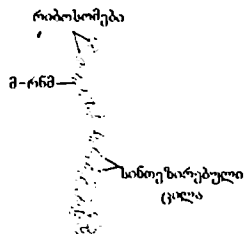
მას შემდეგ, რაც პირველი სატრანსპორტო რნმ თავისი ამინომჟავით მიუერთდება კომპლექსს – მატრიცული რნმ-რიბოსომა, მის გვერდით ადგილს იკავებს სატრანსპორტო რნმ, რომლის ანტიკოდონიც კომპლემენტარულია მატრიცული რნმ-ის მეორე კოდონისა. შემდეგ ფერმენტი ერთმანეთთან აკავშირებს ამ ორი სატრანსპორტო რნმ-ის მიერ მოტანილ ორ ამინომჟავას. ისინი ჯერ ისევ კომპლექსთან რჩებიან მიერთებული. ამის შემდეგ მეთიონინის სატრანსპორტო რნმ რიბოსომას ტოვებს, რათა მეთიონინის ახალი მოლეკულა დაიკავშიროს. ამ პერიოდში რიბოსომა მატრიცული რნმ-ს გასწვრივ გადაადგილდება და მეორე სატრანსპორტო რნმ მასზე მიერთებული ამინომჟავითურთ პირველი სატრანსპორტო რნმ-ის ადგილს იკავებს. რიბოსომაზე ამ დროს აღმოჩნდება მესამე კოდონი, რომელსაც მალე მიუერთდება თავისი ანტიკოდონით შესაბამისი სატრანსპორტო რნმ. ყველაფერი ეს მრავალჯერ მეორდება მანამ, სანამ რიბოსომა მატრიცული რნმ-ის სტოპ-კოდონთან არ მივა (სურ. 15.6).



სურ.15.6. ცილის ხინთეზის ცალკეული ეტაპები. ა-მატრიცული რნმ მიუერთდება რიბოსომას. პირველი ორი სატრანსპორტო რნმ-ის ანტიკოდონები მატრიცული რნმ-ის კოდონებთან წყვილდება. ბ-ფერმენტი აკავშირებს ამინომჟავებს ერთმანეთთან. ამ დროს იგი პირველ ამინომჟავას მისი სატრანსპორტო რნმ-თან ათავისუფლებს. გ-პირველი სატრანსპორტო რნმ ტოვებს რიბოსომას, რათა ახალი ამინომჟავა მოხვდეს. რიბოსომა მატრიცული რნმ-ის გასწვრივ გადაადგილდება და ასევე მასზე აღმოჩნდება მესამე კოდონი. მესამე სატრანსპორტო რნმ-ის ანტიკოდონი უწყვილდება მესამე კოდონის ფუტეებს. მეორე ამინომჟავა უერთდება მესამეს, ხოლო მეორე სატრანსპორტო რნმ ტოვებს რიბოსომას. ყველა ეს პროცესი მეორდება მანამ, სანამ რიბოსომა სტოპ-კოდონამდე არ მიაღწევს.

მატრიცული რნმ-ს ერთ მოლეკულაში შეიძლება იყოს რამდენიმე პოლიპეპტიდის კოდი. გარდა ამისა, ერთი და იგივე ცილის ტრანსლაცია რნმ-დან მრავალჯერ ხდება, ე.ი. რნმ-ს ჩვეულებრივ, მრავალი რიბოსომა ემაგრება (მათმა რიცხვმა შეიძლება 100-ს გადაეჭარბოს). რიბოსომები მატრიცული რნმ-ის გასწვრივ მოძრაობენ და მისი კოდის ტრანსლაციას ახდენენ (სურ.15.7)

ბოლოს და ბოლოს ფერმენტები მატრიცულ რნმ-ს ცალკეულ ნუკლეოტიდებად შლიან. მატრიცული რნმ-ის სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლივობა ბაქტერიულ უჯრედში 2 წუთამდეა, ხოლო უმაღლესი ორგანიზმების უჯრედებში მატრიცული რნმ-ის მოლეკულებმა შესაძლოა მრავალი დღის განმავლობაში იმუშაონ.



სურ.15.7. მატრიცული რნმ-ის ერთი მოლეკულის ტრანს-
ლაქციაში შესაძლებელია ერთდროულად რამდენიმე
რიბოსომა მონაწილეობდეს. ამრიგად, მასში კოდირე-
ბული ცილის მრავალი ასლის სინთეზი ხდება.

15.4. ანტიბიოტიკები

მთელი როგი ანტიბიოტიკების (ანტიბიოტიკური აგენტების) სამკურნალო მოქმედება იმაში გამოიხატება, რომ ისინი თრგუნავენ დაავადების გამომწვევის ცილის სინთეზს. რადგანაც ბაქტერიების რიბოსომები რამდენადმე განსხვავდება ეუკარიოტული უჯრედების რიბოსომებისგან, ზოგიერთი ანტიბიოტიკი თრგუნავს მხოლოდ ბაქტერიის ცილის სინთეზს, ხოლო მასპინძელი ორგანიზმის უჯრედების ცილის სინთეზზე გავლენას არ ახდენს. არსებობენ ისეთი ანტიბიოტიკებიც, რომლებიც ყველა უჯრედის ცილის სინთეზს თრგუნავენ. ბაქტერიული და სოკოვანი დაავადებების წინააღმდეგ ანტიბიოტიკების ხმარების ეფექტი იმით არის განპირობებული, რომ ამ პარაზიტებში ცილის სინთეზი უფრო სწრაფად მიმდინარეობს, ვიდრე მათ მასპინძელ ორგანიზმებში. ტეტრაციკლინი ეწინააღმდეგება სატრანსპორტო რნმ-ების მიერთებას რიბოსომასთან. პურომიცინი უკავშირდება რიბოსომას, პოლიპეპტიდურ ჯაჭვს უერთდება და ვინაიდან პურომიცინს არ შეუძლია გადაადგილება რიბოსომაზე, ამიტომ აფერხებს ცილის შემდგომ სინთეზს. ციკლოპექსიმიდნი, რომელიც ახდენს ცილის სინთეზის ბლოკირებას მხოლოდ არაბაქტერიული უჯრედების რიბოსომებზე, გამოიყენება სოკოვანი დაავადებების დროს.

15.5. ცილის სინთეზის რეგულაცია

უჯრედის ღნმ შეიცავს გენეტიკურ პროგრამას, რომელიც აუცილებელია ასობით სხვადასხვა ცილის სინთეზისათვის. მაგრამ კონკრეტულ პერიოდში უჯრედი მხოლოდ იმ ცილებს ასინთეზებს, რომლებიც მას იმ მომენტში სჭირდება. წარმოვიდგინოთ ბაქტერიების კოლონია, რომელიც ლაბორატორიულ პირობებში იზრდება. ბაქტერიებს ზოგჯერ ისეთ საკვებ არეზე შეუძლიათ ზრდა, რომელიც მხოლოდ მინერალურ მარილებს და ორგანული ნახშირბადის ერთ რომელიმე წყაროს, მაგალითად, გლუკოზას, შეიცავს. ასეთ პირობებში უჯრედებს ყველა იმ ფერმენტის სინთეზი უხდებათ, რომლებიც აუცილებელია, რათა გლუკოზიდან შექმნან მრავალი მათთვის საჭირო ნაერთი. გადავიტანოთ ამ ბაქტერიების ნაწილი გამდიდრებულ საკვებ არეზე (რომელიც, არაორგანულ ნაერთთა გარდა, შეიცავს შაქრებს, ამინომჟავებს, ვიტამინებს და სხვა მცირე ორგანულ მოლეკულებს). უჯრედები გარემო არედან მზა საკვები ნივთიერებების

შთანთქმას დაიწყებენ. ამიტომაც ამ ნივთიერების სინთეზისთვის ფერმენტები საჭირო აღარ იქნება. მათი სინთეზის განმსაზღვრელი გენები გამოირთვება. ე.ი. მათი მატრიცული რნმ-ის ტრანსკრიპცია შეწყდება. უჯრედები ამ ფერმენტების სინთეზისთვის დროს და ენერჯიას აღარ დახარჯავენ და უფრო სწრაფად გაიზრდებიან.

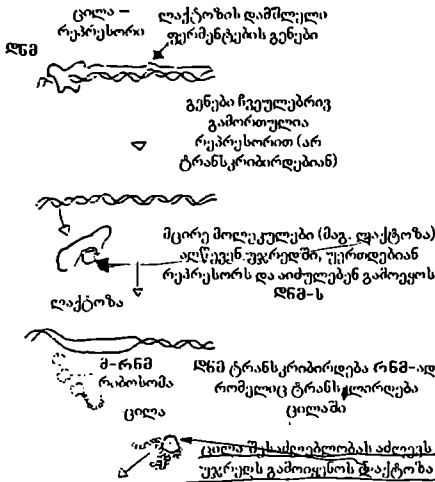
ზემოთ ჩვენ აღვნიშნეთ, რომ ბაქტერიის მატრიცული რნმ-ის სიცოცხლის ხანგრძლივობა ორ წუთამდეა. ამის შემდეგ იგი იშლება ნუკლეოტიდებამდე, რომლებიც მატრიცული რნმ-ის ახალი მოლეკულების ასაგებად გამოიყენება. ძველი მატრიცული რნმ-ის დაშლით და ახლის აგებით უჯრედს შესაძლებლობა ეძლევა საკმაოდ მკაცრად არეგულიროს როგორც დასასინთეზებელი ცილების ტიპი, ისე მათი რაოდენობა. ეს არის რეგულაცია ტრანსკრიპციის დონეზე. შესაძლებელია რეგულაცია ტრანსლაციის დონეზეც. ძირითადად ეს ეუკარიოტებს ეხება. ამ შემთხვევაში უჯრედი ირჩევს, თუ რომელი მატრიცული რნმ-ის ტრანსლაცია უნდა მოხდეს და რა სიხშირით.

ცილის სინთეზის რეგულაცია ბაქტერიებში. 1961 წელს ფრანსუა ჟაკობმა (Francois Jacob) და ჟაკ მონომ (Jacques Monod) გამოაქვეყნეს თეიანთი მონაცემები, რომელიც ბაქტერიებში ცილის სინთეზის რეგულაციას ეხებოდა. ამ ნაშრომისთვის, რომელიც ამჟამად კლასიკურად არის აღიარებული, მათ მოგვიანებით ნობელის პრემია მიენიჭათ. ბაქტერიებს აქვთ გენები, რომლებიც სხვა გენების აქტიურობის მარეგულირებელ ცილებს აკოდირებენ. ცილა რეპრესორი უკავშირდება დნმ-ის გარკვეულ მონაკვეთს და ხელს უშლის რნმ-ის მასინთეზებელი ფერმენტების შეკავშირებას. რეპრესორი გარკვეული გენის ან გენების ჯგუფის გამოთიშვას იწვევს, რადგანაც მათში კოდირებული გენეტიკური ინფორმაციის ტრანსკრიპცია ამ დროს შეუძლებელი ხდება. ცხადია, ამ დროს უჯრედს შესაბამისი ცილის სინთეზიც აღარ შეუძლია.

რა ხდება, როცა უჯრედს სჭირდება “გამორთული” გენების ხელახლა “ჩართვა”? ჟაკობმა და მონომი შეისწავლეს გენების ჯგუფი, რომლებიც აკოდირებენ ბაქტერია *Escherichia coli*-ს შაქრის – ლაქტოზას – გარდაქმნაში მონაწილეობენ (ეს ბაქტერია მუდმივად ცხოვრობს ადამიანის ნაწლავებში და კლასიკურ ექსპერიმენტულ ობიექტს წარმოადგენს). თუ ამ ბაქტერიის ნახშირბადის წყარო არის გლუკოზა ან საქაროზა, მაშინ მას არ სჭირდება ლაქტოზის გარდაქმნისთვის საჭირო ცილები. ამიტომაც ამ ცილების მაკოდირებელი გენები ცილა-რეპრესორის მოქმედებით გამოითიშება. მაგრამ თუ ბაქტერიულ უჯრედებს გადავიტანთ ლაქტოზიან საკვებ არეზე, მაშინ ლაქტოზას მოლეკულების ნაწილი უჯრედში იჭრება და რეპრესორს უერთდება. ეს რეპრესორში ცვლილებებს იწვევს, რის გამოც მას აღარ შეუძლია დნმ-თან შეკავშირებულად ყოფნა და ამის გამო რნმ-ის სინთეზის ბლოკირებას ვეღარ მოახდენს. ახლა რნმ-ის მასინთეზირებელ ფერმენტებს დნმ-თან მიერთება და მატრიცული რნმ-ის ტრანსკრიპცია შეუძლიათ (სურ. 15.8). ამ მატრიცულ რნმ-ზე რიბოსომებში შესატყვისი ცილების სინთეზი მოხდება. ამ ცილების საშუალებით უჯრედი შთანთქავს ლაქტოზას გარემოდან და გამოიყენებს მას, როგორც კი იგი უჯრედში მოხვდება. ამ შემთხვევაში გარკვეული ნივთიერების (ლაქტოზას) არსებობა განაპირობებს რეპრესორული ცილის მოცილებას და შესაძლებელს ხდის ამ ნივთიერების გამოყენებისთვის საჭირო ფერმენტების წარმოქმნას. ასეთი მექანიზმი საჭიროების დროს “ჩართავს” გენს (უზრუნველყოფს მის ტრანსკრიპციას), რომელიც ჩვეულებრივად “გამოთიშულია”.

პროკარიოტულ უჯრედებს მოეპოვებათ იმ გენების გამოთიშველი მექანიზმიც, რომელთა

პროდუქტები რატომაც საჭირო აღარ არის. მაგალითად, ამინომჟავა ჰისტიდინის მასინთეზირებული ფერმენტების გენები, როგორც წესი, "ჩართულია". თუ ჰისტიდინი უჯრედში დაგროვდება, მისი ნაწილი დაუკავშირდება არააქტიურ ცილა-რეპრესორს და მას ისე შეცვლის, რომ იგი სრულფასოვან რეპრესორად გადაიქცევა. ის გამოთიშავს ჰისტიდინის მკატალიზებული ფერმენტების გენებს.

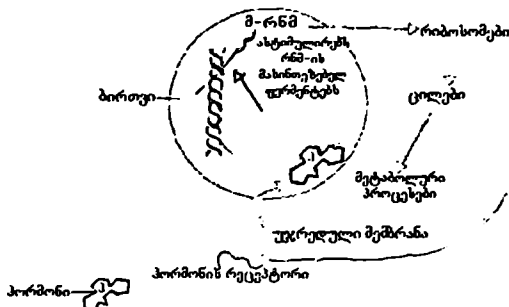


სურ.15.8. ცილის სინთეზის რეგულაცია: როგორ ხდება გენების წართეაიმ ფერმენტების სუბსტრატების არსებობისას, რომლებიც ამ გენებით არის კოდირებული.

რეგულაცია უშაღდეს ორგანიზმებში. ცილის სინთეზის რეგულაცია ეუკარიოტულ უჯრედებში უფრო რთული და ნაკლებად გასაგები პროცესია. ცხადია, რომ რეგულაცია უნდა ხორციელდებოდეს ღწმ-დან ცილისკენ მიმავალ მრავალ ეტაპზე. ზოგიერთი ცილა აიღიერებს გარკვეული გენების ტრანსკრიპციას და ამით აფერხებს იმ ცილების მოქმედებას, რომლებიც ღწმ-ის მოლეკულას დახვეულ მდგომარეობაში აჩერებენ. ამით ხელი ეშლება რნმ-ის სინთეზსაც. ისევე როგორც პროკარიოტებში, ეუკარიოტულ უჯრედებშიც გარკვეული ფერმენტების წარმოქმნა მათი სუბსტრატებით ინდუცირდება. ასეთი ინდუქციის მაგალითად გამოდგება ის, რომ სისხლში ალკოჰოლის არსებობა ლეიძლის უჯრედებში ალკოჰოლის დამშლელი ფერმენტების გაძლიერებულ სინთეზს იწვევს. მაგრამ ამისთვის რამდენიმე საათი და შეიძლება რამდენიმე დღეც კი იყოს საჭირო (მაშინ, როდესაც ბაქტერიებში ფერმენტების სინთეზის ინდუქციისთვის რამდენიმე წუთია საკმარისი). ამიტომ არის, რომ ალკოჰოლის ერთი და იგივე დოზა არამსმელ ადამიანებში უფრო ძლიერ მოწამვლას იწვევს, ვიდრე იმ ადამიანებში, რომლებიც რეგულარულად იღებენ მას.

სტეროიდული ჰორმონების მოქმედებაც გარკვეული გენების ტრანსკრიპციის გაძლიერებაზე არის დაფუძნებული. მაგალითად, ზერხმედიანებში სტეროიდული სასქესო ჰორმონები უერთდებიან უჯრედის მემბრანის განსაკუთრებულ რეცეპტორულ ცილებს, რომლებსაც იგი უჯრედის ბირთვში გადააქვთ. აქ ჰორმონი გარკვეული გენების აქტიურობის სტიმულაციას ახდენს (სურ.15.9). ორგანიზმის ყველა უჯრედი ამ ჰორმონის მიმართ მგრძობიარე არ არის. მამრობითი ჰორმონი ტესტოსტერონი მოქმედებს რეპროდუქციულ ორგანოებზე და იმ უჯრედებზე, რომლებიც წვერის ზრდას განაპირობებენ, მაგრამ არავითარ გავლენას არ ახდენს

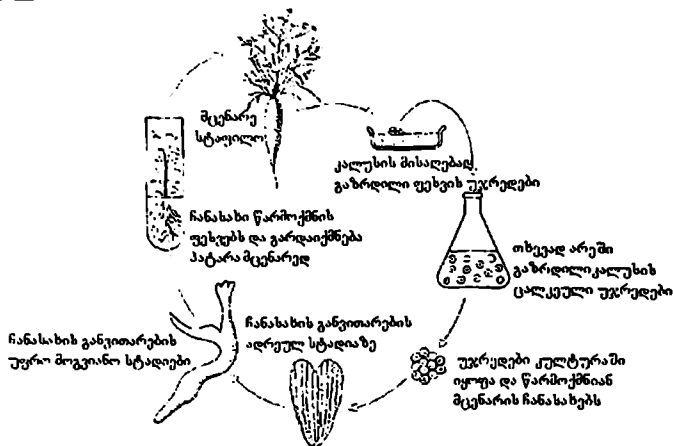
ნაწლავების და თირკმელების უჯრედებზე. ეს იმით აიხსნება, რომ მხოლოდ მგრძობიარე უჯრედებს აქვთ ტრანსტერონის აღმქმელი რეცეპტორები. რატომ აქვთ ეს რეცეპტორები ერთ უჯრედებს და არა აქვთ სხვებს, ჩვენთვის ჯერ ცნობილი არ არის.



სურ.15.9. ტრანსკრიპციის შეკლის უნარის მქონე სტეროიდური პორმონების მოქმედება. პორმონი უკავშირდება უჯრედის მეზრანის რეცეპტორებს და მასთან ერთად მიემართება უჯრედის ბირთვისკენ. აქ ის გარკვეული გენების ტრანსკრიპციის სტრუქტურის იწვევს მატრიულ რნმ-ად.

15.6. განვითარება და უჯრედული დიფერენციაცია

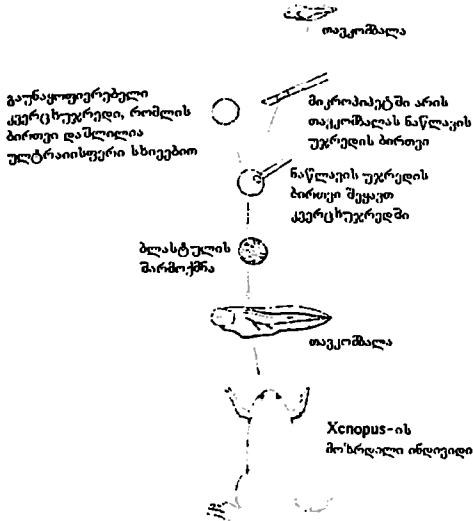
განსაკუთრებით საინტერესოა გენების ჩართვისა და გამორთვის პროცესი განვითარებად ჩანასახში. თითოეული ინდივიდის სიცოცხლე კვერცხუჯრედის განაყოფიერებით იწყება. ეს ერთი უჯრედი, რომელიც შემდეგ მრავალჯ ზის იყოფა. წარმოშობილ უჯრედულ გროვაში მალე იწყება დიფერენციაცია – მანამდე ერთმანეთის მსგავსი უჯრედები ერთმანეთისგან განსხვავებულები ხდებიან. უჯრედების დიფერენციაცია მათში განსხვავებული ცილების არსებობის გამო ხდება. სწორედ უჯრედში მყოფ ცილებზე არის დამოკიდებული, თუ რა ბიოქიმიური რეაქციები მოხდება ამ უჯრედში, რომელი ნივთიერებები გავლენ უფრო ადვილად მის მეზრანაში, უჯრედი მოძრავი იქნება თუ არა და სხვა. პრობლემა ის არის, თუ როგორ ლეზულობენ განსხვავებულ ცილებს ერთი განაყოფიერებული უჯრედიდან წარმოქმნილი უჯრედები. შესაძლებელია გვეფიქრა, რომ დიფერენციაციის დროს უჯრედებს განსხვავებული გენები აქვთ და ცილებიც განსხვავებული სინთეზირდება. მაგრამ სახეობათა უმეტესობის მოზრდილ ორგანიზმებს უჯრედებში ისეთივე გენები აქვს, როგორც ჰქონდათ განაყოფიერებულ კვერცხუჯრედში. გავეცნოთ ასეთი შეხედულების დამამტკიცებელი ფაქტების ერთ ჯგუფს: თუ მოვჭრით ვაზის შეუფოთლავ ყლორტს და მას წყალში ან მიწაში მოვათავსებთ, ის ფესვებს გამოიღებს და მისგან ნორმალური მცენარე განვითარდება. მაშასადამე, ახალი ფესვების წარმოქმნელად ფესვის უჯრედები და მათში მოთავსებული გენები საჭირო არ არის. ფესვის განვითარებისთვის აუცილებელი ინფორმაცია ყლორტის რომელიღაც ნაწილში მდებარეობს. სტაფილოს ან ქრიზანთემას შემთხვევაში მთელი მცენარის გაზრდა მათი მხოლოდ რამდენიმე უჯრედიდან ხერხდება (სურ. 15.10). როგორც ჩანს, ეს უჯრედები მცენარის ყველა უჯრედის და ორგანოს განვითარებისთვის საჭირო გენს შეიცავს. გასაყილად გამოტანილი საუკეთესო ხარისხის ქრიზანთემების უდიდეს ნაწილს ასეთი გზით ლეზულობენ.



სურ.15.10. სტაფალოს განვითარება in vitro მომწიფებული ფესვის რამდენიმე უჯრედიდან.

ამჟამად ჩვენს ხელთ არსებული მონაცემების თანახმად შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ უჯრედების დიფერენციაცია განპირობებულია მათი ციტოპლაზმური შედგენილობის განსხვავებით, რის გამოც მათი გენები სხვადასხვა კომბინაციებში ჩაერთვებიან და გამოურთვებიან. ამის დამტკიცება მოხერხდა ექსპერიმენტებით, რომლებშიც ერთი უჯრედიდან მეორეში ბირთვის გადანერგვა ხდებოდა. თუ, მაგალითად, ბაყაყის ერითროციტის ბირთვს გადაწერავთ მისი კვერცხუჯრედის ციტოპლაზმაში, ამ ბირთვში მაშინვე შეწყდება ერითროციტების ცილების, კერძოდ ჰემოგლობინის, სინთეზისათვის საჭირო რნმ-ის წარმოქმნა და დაიწყება ჩანასახის განვითარების ადრეული სტადიისათვის საჭირო რნმ-ის სინთეზი. ასეთი სახის გადართვა, ალბათ, გამოწვეულია კვერცხუჯრედის ციტოპლაზმაში მყოფი რაღაც ფაქტორით. ანალოგიურ ექსპერიმენტებში, რომლებშიც თავკომალას ნაწლავის უჯრედის ბირთვებს გადაწერავდნენ ბაყაყის კვერცხუჯრედებში, იქიდან მოზრდილი ბაყაყები ვითარდებოდნენ (სურ.15.11).

დიფერენციაცია შეიძლება განვიხილოთ, როგორც რეაქციების კასკადი. განაყოფიერების შედეგად ციტოპლაზმაში აქტიურდება რაღაც შუამავლები, რომლებიც იწყებენ უჯრედის გაყოფას და აგრეგე ჩართავენ გარკვეულ გენებს. ასეთი გენების კონტროლით სინთეზირებული ზოგიერთი ცილა (ან ცილის პროდუქტები) შეიცვლება მეზობელ უჯრედებში, ააქტიურებს იქ სხვა გენებს და ა.შ. ასე მიიღება რეაქციითა თანმიმდევრობა, რომელთაგან თითოეული მის წინამორბედზე არის დამოკიდებული. მწერებში იმ პერიოდში, როცა ტრანსკრიპცია არ ხდება, ქრომოსომული დნმ სპირალურად არის დახვეული, ე.ი. მისი მოლეკულა ძლიერ დაგრეხილია. დნმ-ზე ტრანსკრიპციის "წართვის" დროს იგი იშლება, მიიერთებს რნმ-ის მასინთეზებელ ფერმენტებს და იწყება რნმ-ის სინთეზი. ასეთი აქტიური უბნები ქრომოსომების გამობერილობის, ანუ ერგეთიფიციური "პუფ"-ის სახეს იღებენ (სურ.15.12). მწერები ონტოგენეზის დროს განვითარების რამდენიმე სტადიას გადიან, რომელთა რეგულირება გარკვეული პორმონებით ხდება. თუ ამ პორმონს მწერის ლარვას მაშინ შეუყვანთ, როცა მას ჭუპრობა ჯერ არ დაუწყია, ქრომოსომაზე "პუფ"-ების წარმოქმნა და გაქრობა იმავე თანმიმდევრობით მოხდება, როგორც ნორმალური ჭუპრობის დროს. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, პორმონი იწყებს გარკვეული

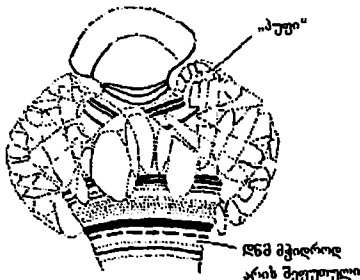


სურ. 15.11. ექსპერიმენტი, რომელშიც თავკომალის ნაწლავის უჯრედების ბირთვი (რომლებიც საკმაოდ დიდი ზომისაა და ამიტომაც მათი გამოყენება ადვილია) გადაწერეს კვერცხუჯრედში. კვერცხუჯრედიდან მოზრდილი ჰაყაყი განვითარდა.

გენების ტრანსკრიპციას გარკვეული თანმიმდევრობით, რაც დიფერენციაციის ჩვენი მოდელიდან გამომდინარე, მოსალოდნელიც იყო.

ერთ-ერთი ყველაზე დამაჯერებელი მტკიცება იმისა, რომ ეუკარიოტების განვითარების პროცესში სხვადასხვა გენის ჩართვა მკაცრად განსაზღვრული თანმიმდევრობით ხდება, მიღებულია თავგების კუჭქვეშა ჯირკვლის ფუნქციათა დიფერენციაციის შესწავლის დროს. კუჭქვეშა ჯირკვლისთვის დამახასიათებელი სპეციფიკური ნივთიერებები თავგის ჩანასახის განვითარების პროცესში მკაცრად განსაზღვრული თანმიმდევრობით გამოვლინდება. რნმ-ს სინთეზის დათრგუნვის შემთხვევაში დიფერენციაცია აღარ ხდება.

დღეისათვის დიფერენციაციის პროცესი ბოლომდე არ არის შესწავლილი, მაგრამ კვლევები ამ საკითხის ირგვლივ სხვადასხვა მიმართულებით აქტიურად მიმდინარეობს. მაგ. ცდილობენ გაარკვიონ ახდენს თუ არა ნაყოფის დიფერენციაციის პროცესზე გავლენას თამბაქოს მოწევა, ალკოჰოლის გამოყენება, აგრეთვე მოშავალი დედების მიერ ამა თუ იმ სამკურნალო პრეპარატების მიღება.



სურ. 15.12. ქრომოსომის მონაკვეთი „პუფი“-ით, სადაც ღნმ-ის ნაწილი ტრანსკრიპციისთვის არის გაშლილი. დანარჩენი ღნმ ქრომოსომაში ძლიერ დახვეულია და ამიტომაც რნმ-ის მასინთეზირებელი ფერმენტებისთვის მოწუვლომელია.

10 მკმ

კვლევების მონაცემები მნიშვნელოვანია კიბოს პრობლემასთან დაკავშირებითაც, ვინაიდან კიბოს დროს უჯრედული ლიფერენტიატია როგორღაც ირღვევა. მთლიანობაში ეს ძალიან საინტერესო და ჯერ-ჯერობით ბიოლოგიის ნაკლებად დამუშავებული განხრავა, რომელშიც უახლოეს ათწლეულში უნდა ველოდით მრავალ აღმოჩენას.

15.7. კიბო

უჯრედის აქტიურობის რეგულაციის დარღვევის შედეგად ადგილი აქვს უჯრედების ზრდის და გაყოფის ანომალიებს, რასაც სიმსივნეების წარმოქმნამდე მივყავართ. არსებობს ე.წ. კეთილთვისებიანი სიმსივნეები, როგორცაა მაგალითად, ჩვეულებრივი მუჭეჭები ან საშვილოსნოს ფიბრომა. მაგრამ სიმსივნე შეიძლება იყოს ავთვისებიანი, თუ მისი ზრდა უკონტროლო ხდება. იგი აზიანებს მეზობელ ქსოვილებსაც და საბოლოო ჯამში ორგანიზმის დაღუპვას იწვევს. ავთვისებიან სიმსივნეს ხშირად “კიბოს” უწოდებენ.

კიბოს უჯრედები ნორმალურისაგან სამი მთავარი ნიშნით განსხვავდება:

1. ისინი სწრაფად იყოფიან.

2. მათი ერთმანეთთან კავშირი ისეთი მტკიცე არ არის, როგორც ეს ნორმალური ქსოვილის უჯრედებს შორისაა.

3. ისინი დელიფერენტიაციას განიცდიან – კარგავენ იმ ნიშან-თვისებების ნაწილს, რომელიც მათ ლიფერენტიაციის პროცესში შობილი უჯრედებისგან მიიღეს და ჩანასახის სუსტად ლიფერენტირებულ უჯრედებს ემსგავსებიან.

მაგალითად, ავთვისებიანი გადაგვარებისას მოციმციმე ეპითელის უჯრედები, რომლებითაც სასუნთქი გზებია ამოფენილი, კარგავენ წამწამებს (რომელთა დახმარებითაც მათ სასუნთქი გზებიდან მტკერი გამოაქვთ) და უფრო ხლებიან. ისინი ისევე სწრაფად იყოფიან, როგორც ჩანასახის უჯრედები. ნორმალური უჯრედებისგან განსხვავებით, მათ დაკარგული აქვთ მეზობელ უჯრედებთან მტკიცე დაკავშირების უნარი. ამიტომაც შეუძლიათ მოწყვეტა, სხეულის სხვა ნაწილში გადაადგილება და იქ ახალი სიმსივნის წარმოქმნა. ამას მეტასტაზური უნარი ეწოდება. ჩვენ ჯერჯერობით ცუდად ვიცით კიბოს ბუნება. ეს იმით აიხსნება, რომ ჯერ კიდევ არ არის ნათელი, თუ როგორ მიმდინარეობს ნორმალური უჯრედული ლიფერენტიაციის რეგულაცია და უჯრედების გაყოფა.

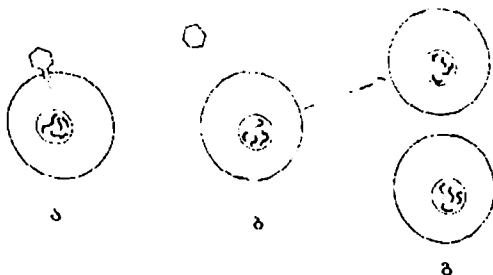
ცნობილი არ არის, ყველა სახის კიბო ერთი და იმავე თუ სხვადასხვა მიზეზით წარმოიშობა. ამკარაა, რომ ყოველთვის, როდესაც ნორმალური უჯრედი კიბოს უჯრედად გადაიქცევა, ადგილი აქვს ამა თუ იმ გენეტიკურ ცვლილებას. ზოგჯერ ეს ეფექტი მეორადი ხასიათისაა და არ არის კიბოს უშუალოდ გამომწვევი. ზოგიერთი სახის კიბოს დროს გენეტიკური ცვალებადობა ერთი ნუკლეოტიდის მეორეთი შეცვლაში გამოიხატება, რასაც შესაბამის ცილაში ამინომჟავის შეცვლა მოსდევს. სხვა შემთხვევებში იკარგება ქრომოსომის რომელიღაც ნაწილი, ანდა მისი პატარა მონაკვეთი მოწყდება და სხვა ქრომოსომას მიემარგება. არსებობს კიბოს გარკვეული სახეები, რომლებიც ოჯახებში თაობიდან თაობას გადაეცემა. ეს გვაფიქრებინებს, რომ მისდამი მდგრადი უჯრედული მემკვიდრეობით გენებთან (ან მუტაციებთან) არის დაკავშირებული. ცნობილია აგრეთვე კიბოს ისეთი სახეები, რომლებიც დაკავშირებულია უჯრედის მიერ ღმბ-ის ნორმალური რეპარაციის დარღვევასთან. შესაძლებელია, რომ ღმბ ხშირად განიცდის ისეთ ცვლილებებს, რომლებსაც კიბოს წარმოქმნასთან მივყავართ. მაგრამ ამ ცვლილებების

უმეტესობა სწრაფად აღმოფხვრება მანამ, სანამ ისინი სიმსივნეს წარმოშობდნენ.

არსებობს თეორია, რომლის თანახმად ყველა სახის კიბო ვირუსული ბუნებისაა, მაგრამ ამ ვერსიის შემოწმება არ ხერხდება. სარწმუნო მონაცემების მისაღებად ჯერ საჭიროა კიბოს უჯრედებისგან ვირუსის გამოყოფა და დამტკიცება, რომ ამ ვირუსს შეუძლია ნორმალური უჯრედების კიბოს უჯრედებად გარდაქმნა. სამწუხაროდ, უჯრედებიდან ონკოლოგიური ვირუსების გამოყოფა ჯერჯერობით ძალიან ძნელია. გარდა ამისა, სიმსივნის განვითარებას ხშირად წლები სჭირდება, ყოველ შემთხვევაში, ადამიანში მაინც. რომც მოვახერხოთ უჯრედში ვირუსის შეყვანა და რამდენიმე წლის შემდეგ ორგანიზმში კიბო განვითარდება, არასდროს არ შეგვეძლება იმის გამორიცხვა, რომ კიბოს მიზეზი ვირუსი კი არ არის, არამედ ამ წლების განმავლობაში მომხდარი რაიმე სხვა შემთხვევა.

გრიპის ვირუსები გამრავლებას და დაავადების გამოწვევას მას შემდეგ იწყებენ, როცა ისინი უჯრედებში შეიჭრებიან. სხვა ვირუსები, მათ შორის ისინიც, რომლებსაც კიბოს გამოწვევებად მიიჩნევენ, უჯრედების მყისიერ დაშლას არ იწყებენ. უჯრედში შეჭრის შემდეგ ისინი იქ, ყოველგვარი ზიანის მიუყენებლად, დიდი ხნის განმავლობაში რჩებიან. ვირუსის გენეტიკური მასალა მასპინძელი უჯრედის გენეტიკური მასალის ნაწილი ხდება. იგი უჯრედის საკუთარ დნმ-თან ერთად ორმაგდება და გაყოფის შემდეგ შვილეულ უჯრედებს ისევე გადაეცემა, როგორც ამ უჯრედის საკუთარი გენები (სურ.15.13). ასეთი ლატენტური ვირუსები ფართოდაა გავრცელებული. ისინი ადამიანის ორგანიზმში ათეულობითაა. ცნობილია, მაგალითად, რომ ევროპის ჩრდილოეთ ნაწილში და აშშ-ში მოზრდილი ადამიანების უმეტესობა ეპშტეინ-ბარის ვირუსის მატარებელია. ლატენტურ ვირუსს ასეთ მდგომარეობაში ყოფნა უსასრულოდ დიდი ხნის განმავლობაში შეუძლია. იგი მშობლებიდან შთამომავლებს (კვერცხუჯრედის ან სპერმატოზოიდის გზით) გადაეცემა. ძალიან ფართოდ არის ცნობილი ჰერპესის ვირუსი. რაღაც გაურკვეველი ფაქტორების გავლენით ის ლატენტური მდგომარეობიდან გამოდის, იწყებს გამრავლებას და თქვენთვის ცნობილი "ციების" სახით ტუჩებზე გამოვლინდება (ფიქრობენ, რომ ხანდახან ჰერპესის ვირუსი ადამიანის კიბოს იწვევს).

ვირთაგვებსა და თაგვებზე ჩატარებული ცდები გვაფიქრებინებს, რომ ზოგიერთი კანცეროგენის მოქმედებით უჯრედში არსებული ლატენტური ვირუსები აქტიურდებიან და კიბოს იწვევენ. ვარაუდობენ, რომ ასე ხდება ადამიანის კიბოს ერთ-ერთი სახეობის — ბერკიტის ლიმფომის დროს. ეს კიბო აზიანებს ყბისქვეშა ლიმფურ კვანძებს. ბერკიტის ლიმფოშით დაავადებულ ბავშვებს აუცილებლად აღმოჩნდებათ ხოლმე ეპშტეინ-ბარის ვირუსიც. ეს დაავადება გავრცელებულია აფრიკის ზოგიერთ რაიონში და იშვიათად გვხვდება აშშ-ში.



სურ.15.13. ლატენტური ვირუსის ქცევა უჯრედში.

ა — ვირუსს უჯრედში შეჰყავს თავისი გენეტიკური მასალა.

ბ — ვირუსის გენები უჯრედულ დნმ-ში ჩაერთვებიან.

გ — უჯრედის ან მისი შთამომავლობის გაყოფისას ვირუსული გენები შვილეულ უჯრედებში გადადის. წარმოიქმნება უჯრედების კლანების, რომლებიც ლატენტურ ვირუსებს შეიცავენ.

ამიტომაც ჩვენ უფლება გვაქვს დავასკვნათ, რომ მისი გამოიწვევი ფაქტორი ცალკე, ეპისტეინ-ბარის ვირუსის გარეშე, აშშ-ში უფრო იშვიათია, ვიდრე აფრიკაში.

აღამიანის კიბო უფრო ხშირად წარმოადგენს უჯრედების წყებას, ანუ უჯრედთა გროვებს, რომლებსაც ერთნაირი გენეტიკური მასალა გააჩნიათ. ყველა ისინი ერთი საწყისი უჯრედიდან არიან განვითარებული. მეცნიერები თვლიან, რომ ჩვენს ორგანიზმში კიბოს უჯრედები საკმაოდ ხშირად წარმოიშობა, მაგრამ ჩვენი იმუნური სისტემა მათ შლის. ხანდახან კი იმდენად ღიდი უჯრედული კოლონია ჩნდება, რომ იმუნური სისტემა მის დაშლას ვეღარ ახერხებს. სწორედ ამიტომ, კიბოს წარმატებით მკურნალობისთვის აუცილებელია არა კიბოს ყველა უჯრედის მოსპობა, არამედ მათი ორგანიზმიდან მოცილება ქირურგიული გზით, დასხივებით ან ქიმიოთერაპიული მეთოდების საშუალებით. ამ დროს კიბოს უჯრედები ილუპება, ან სიმსივნის ზრდა ნელდება. როცა კიბოს უჯრედების რაოდენობა მცირეა, მკურნალობის დაწყებისას იმედი უნდა ექონიოთ, რომ მათი რაოდენობა მკვეთრად შემცირდება და ორგანიზმის დამცველი ძალები მათ დათრგუნავენ. თუ ასე არ მოხდება, მაშინ აღამიანის გაღარჩენის იმედიც აღარ უნდა გვქონდეს.

მე-20 საუკუნეში კიბოს შედეგად გამოწვეული სიკვდილიანობა გახშირდა. ნაწილობრივ ეს იმით აიხსნება, რომ კიბო ხანშიშესულ აღამიანთა დაავადებაა. კიბოთი დაავადების სიხშირის ზრდას ზოგიერთი ჩვენს გარემომცველ ბუნებაში კანცეროგენების რაოდენობის მატებას უკავშირებს (ცხრილი 15.2).

უკანასკნელ წლებში შემუშავებულმა მეთოდებმა შესაძლებელი გახადა ზოგიერთი სახის კიბოს მკურნალობა. კიბოს ერთ-ერთი ასეთი ფორმაა ბავშვთა ლეიკოზი. შემცირდა სხვა სახის კიბოსგან გამოწვეული სიკვდილის შემთხვევებიც. ეს აიხსნება ნაწილობრივ მკურნალობის ახალი მეთოდების არსებობით, ნაწილობრივ კი იმით, რომ დღეს აღამიანები უფრო დროულად მიმართავენ ექიმს კიბოზე ეჭვის მიტანის შემთხვევაში.

ცხრილი 15.2. ზოგიერთი კანცეროგენული ფაქტორი

ფაქტორი	შენიშვნა
<p>აზბესტის მტკვრი ქრომის შენაერთები ზოგიერთი ნავთობპროდუქტი</p>	<p>ამ ნივთიერებებთან მომუშავე პირებისთვის მეტია ფილტვების კიბოთი დაავადების რისკი.</p>
<p>თამბაქოს ბოლი (რადიოაქტიური მინარეკები ანდა ფისები)</p>	<p>შეწყვეტეთ მოწევა. რისკი განსაკუთრებით დიდია, თუ თქვენ ეწეით და თან საქმე გაქვთ აზბესტთან.</p>
<p>ენტროგენები</p>	<p>ქალოს სასქესო პორმონი. ღიდი რაოდენობით, ალბათ, ზრდის საშეიღოსნოს კიბოს რისკს.</p>
<p>რენტგენის სხივები</p>	<p>ბევრი აღამიანი რენტგენის სხივებით შუქდება სხვადასხვა სამედიცინო გამოკვლევის დროს მაშინ, როცა ეს აუცილებელი არ არის.</p>
<p>ბენზოლი</p>	<p>ჩვეულებრივი გამხსნელი, რომელსაც ლაბორატორიებში იყენებენ.</p>
<p>ფორმალდეჰიდი</p>	<p>გამოიყენება (ფორმალინის სახით) ბიოლოგიური ობიექტების დასაფიქსირებლად. იგი შედის შარდოვანა-ფორმალდეჰიდის ფისების შედგენილობაში (გამოიყენება პენოპლასტიკის წარმოებაში).</p>

XV თავის მოკლე შინაარსი

რნმ, ისევე როგორც ღნმ, ნუკლეოტიდებისაგან შედგება. ეს ორი ნუკლეინის მჟავა ერთმანეთისგან იმით განსხვავდება, რომ რნმ შაქარ ლეზოქსირიბოზას ნაცვლად რიბოზას შეიცავს, აზოტოვან ფუძე თიმიდის ნაცვლად კი — ურაცილს. გარდა ამისა, რნმ-ის მოლეკულები ერთჯაჭვიანებია, ღნმ-ისა კი ორჯაჭვიანები. უჯრედული რნმ-ის ყველა სახეობა მატრიცულ ღნმ-ზე სინთეზირდება. რიბოსომული რნმ შედის რიბოსომის შედგენილობაში. სატრანსპორტო რნმ-ს ამინომჟავები რიბოსომასთან მიაქვს და იქ მანამ აჩერებს, სანამ ისინი მზარდ პოლიპეპტიდურ ჯაჭვს არ მიუერთდებიან. მატრიცული რნმ შეიცავს ინსტრუქციას პოლიპეპტიდურ ჯაჭვში ამინომჟავათა თანმიმდევრობის შესახებ.

მატრიცული რნმ-ის გენეტიკური კოდი კოდონებისგან შედგება. თითოეული კოდონი სამ ნუკლეოტიდს შეიცავს. ეს კოდონები განსაზღვრავენ სხვადასხვა ამინომჟავებს, რომლებისგანაც პოლიპეპტიდური ჯაჭვის აგება ხდება. ამინომჟავათა უმეტესობა ერთზე მეტი კოდონით განისაზღვრება. 64-იდან სამი კოდონი ცილის სინთეზის შეწყვეტის სიგნალებია.

მთელი რიგი ანტიბიოტიკების მოქმედება დაფუძნებულია აუადმყოფობის გამომწვევთა ცილის სინთეზის დათრგუნვაზე.

უჯრედი მის გენებში კოდირებული ყველა ცილის სინთეზს კი არ ახდენს, არამედ იმისას, რომელიც მას მოცემულ მომენტში სჭირდება. ბაქტერიულ უჯრედში ღნმ-ს უკავშირდება განსაკუთრებული მარეგულირებელი ცილები. ამის გამო ტრანსკრიპცია შესაძლებელია შეწყდეს. ასეთი მარეგულირებელი ცილა უკავშირდება ან სცილდება ღნმ-ის მოლეკულას იმის მიხედვით, უკავშირდება თუ არა იგი სხვა მოლეკულებს, რომლებსაც მოცემული გენის მიერ კოდირებულ ცილებთან რაიმე დამოკიდებულება აქვთ. ეუკარიოტულ უჯრედებში ზოგიერთი ცილა ღნმ-ის მოლეკულას დახვეულ მდგომარეობაში აჩერებს. ასეთ მდგომარეობაში მას ტრანსკრიპციის უნარი არა აქვს. ეს მოქმედება მოიხსნება სხვა ცილების ან გარკვეული ჰორმონების დახმარებით. ჩანასახოვანი განვითარების პროცესში გენების ჩართვა მკაცრად განსაზღვრული თანმიმდევრობით ხდება. ჩანასახის უჯრედების დიფერენციაცია, რომლის შედეგადაც სხვადასხვა ტიპის უჯრედები წარმოიქმნება, ციტოპლაზმაში არსებული გარკვეული ფაქტორებით განისაზღვრება. განვითარების მომდევნო სტადიებზე ხდება გარკვეული გენების აქტივაცია. ამის შედეგად წარმოქმნილი ცვლილებები თავის მხრივ ჩართავენ გენებს, რომლებიც უფრო მოგვიანო სტადიების განხორციელებისთვის არის საჭირო.

კიბო დაავადებაა, რომლის დროსაც ფუნქციონირებას წყვეტენ უჯრედის დიფერენციაციის და გაყოფის მარეგულირებელი მექანიზმები. კიბოს უჯრედები მეზობელ უჯრედებთან კავშირს კარგავენ. ვარაუდობენ, რომ ზოგიერთი სახეობის კიბოს წარმოშობისთვის აუცილებელია ორგანიზმში ლატენტური ვირუსების არსებობა. ეს ვირუსები მასპინძელი უჯრედების ღნმ-თან ერთად ორმაგდებიან. დაავადების გამომწვევის როლს ხშირად თვით ვირუსი კი არ თამაშობს, არამედ რომელიმე სხვა ინფექციური ფაქტორი, ან ჯერემოში არსებული კანცეროგენი.

შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა

1. გენეტიკური კოდის შესახებ ქვემოთ ჩამოთვლილი მტკიცებებიდან რომელია არასწორი?

- კოდონი სამი ნუკლეოტიდისაგან შედგება.
- თითოეული კოდონი მხოლოდ ერთ რომელიმე ამინომჟავას განსაზღვრავს.
- კოდონებს შეიცავს მატრიცული რნმ.

დ) თითოეული ამინომჟავასთვის მხოლოდ ერთი კოდონია განმსაზღვრელი.

ე) კოდონებს შორის არ არის თავისუფალი მანძილი, რომელიც ერთი კოდონის დასასრულს და მეორის დასაწყისს აღნიშნავდა.

2. ქვემოთ მოყვანილია დნმ-ის ორი ნუკლეოტიდური თანმიმდევრობა:

ა) თ-ა-ც-ა-ა-გ-თ-ა-ც-თ-თ-გ-თ-თ-თ-ც-თ-თ-

ბ) თ-ა-ც-გ-თ-თ-გ-ც-თ-გ-ც-ც-თ-გ-ც-ც-გ-გ-

დაწერეთ მათი ტრანსკრიპციის შედეგად მიღებული მატრიცული რნმ და იმ ამინომჟავათა თანმიმდევრობები, რომლებიც მიიღება ამ მატრიცული რნმ-ის ტრანსლაციის შედეგად.

3. ცილის სინთეზის შესახებ თანამედროვე შეხედულების თანახმად:

ა) მოცემული ამინომჟავების მიმართ სპეციფიკური სატრანსპორტო რნმ-ის მოლეკულები სინთეზირდებიან ციტოპლაზმაში მატრიცული რნმ-ის მატრიცაზე.

ბ) სატრანსპორტო რნმ-ს მოლეკულებს მატრიცული რნმ გადააქვთ ბირთვიდან რიბოსომებზე.

გ) მატრიცული (საინფორმაციო) რნმ, რომელიც ბირთვში დნმ-ის მატრიცაზე სინთეზირდება, შეიცავს ინფორმაციას პოლიპეპტიდურ ჯაჭვში ამინომჟავების თანმიმდევრული განლაგების შესახებ.

დ) რიბოსომებს ცილის სინთეზის შესახებ ინფორმაციის "ათელის" დაწყება რნმ-ის მოლეკულის ნებისმიერი ადგილიდან შეუძლიათ.

ე) სატრანსპორტო რნმ უერთდება მატრიცული რნმ-ის კომპლემენტარულ მონაკვეთს და მაქვს იქ შესაბამისი ამინომჟავა.

4. მიუთითეთ ცილის სინთეზის ეტაპები სისტემაში, რომელიც შეიცავს სამი ტიპის რნმ-ს, რიბოსომებს, ამინომჟავებს და საჭირო ფერმენტებს.

5. ჩვეულებრივ პირობებში დნმ-ის ტრანსკრიპცია რნმ-დ პროკარიოტებში რეგულირდება:

ა) მარეგულირებელი ცილების დახმარებით, რომლებიც დნმ-ს უკავშირდებიან ან სცილდებიან უჯრედში სხვა (მცირე ზომის) მოლეკულების არსებობასთან დაკავშირებით.

ბ) უჯრედში არსებული რნმ-ის მასინთეზირებელი ფერმენტების რაოდენობის ცვლილების გზით.

გ) უჯრედების გადატანის გზით სხვა საკვებ არეზე, რომელიც სხვა სახის მცირე ზომის მოლეკულებს შეიცავს.

დ) რნმ-ის მოლეკულების სიცოცხლის ხანგრძლივობის შეცვლით.

ე) ანტიბიოტიკების დახმარებით, რომლებიც რიბოსომებს უერთდებიან და ცილის სინთეზს აჩერებენ.

6. ერთნაირი დნმ-ის შემცველი უჯრედების დიფერენციაციის დროს ისინი:

ა) ერთნაირად მსგავსად ვითარდებიან.

ბ) ერთნაირი სისწრაფით იყოფიან.

გ) შეიცავენ განსხვავებულ გენებს.

დ) ააპოქმედებენ განსხვავებულ გენებს.

კითხვები განხილვისათვის

1. თითოეული სახის სატრანსპორტო რნმ-ს ამინომჟავის მისაერთებლად თავისი განსაკუთრებული ფერმენტი აქვს. რისთვის არის ეს საჭირო?

2. წარმოიდგინეთ, რომ ბაქტერიული უჯრედი ატარებს მუტაციას, რომელმაც სატრანსპორტო რნმ-ის ანტიკოდონის ერთ-ერთი ნუკლეოტიდი შეცვალა. როგორ აისახება ეს მუტაცია ცილის სინთეზის პროცესში?
3. ჩვენთვის ნათელია, თუ რატომ არ შეიძლება გენეტიკური კოდის კოდონები სამზე ნაკლებ ნუკლეოტიდს შეიცავდნენ. რომელი ფაქტორების გავლენით შეეძლო ემოქმედა გადარჩევას იმ კოდონების წინააღმდეგ, რომლებიც სამზე მეტ ნუკლეოტიდს შეიცავდნენ?
4. 14.7 და 15.4 განყოფილებებში მოყვანილ ცნობებზე დაყრდნობით განმარტეთ, რატომ არ არის ეფექტური ანტიბიოტიკების გამოყენება ვირუსულ დაავადებათა მკურნალობის დროს?

ნარკვევი. ცილები, როგორც ევოლუციური თავსატეხი

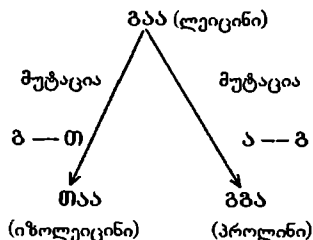
გენეტიკური კოდის გაშიფვრამ და ცილების ამინომჟავური თანმიმდევრობის განსაზღვრამ მეცნიერებს საშუალება მისცა გამოეყენებინათ ცილები, როგორც ცოცხალი ბიოქიმიური “ნამარხები”. ტრადიციულად, ევოლუციური ხე იგება ამჟამად მცხოვრები და გადაშენებული ორგანიზმების შედარების საფუძველზე. ამ დროს თვალისწინებენ ქანების ასაკს, რომლებშიც ამ ორგანიზმებს ნახულობენ. ამ მხრივ განსაკუთრებით საინტერესოა ნამარხი ცილების სტრუქტურის ანალიზი და მათი შედარება ამჟამად მცხოვრებ სხვადასხვა ორგანიზმის ცილებთან.

ამჟამად მცხოვრები და გადაშენებული ორგანიზმების ნათესაობის, მსგავსების დასადგენად საჭიროა ისეთი ცილების შესწავლა, რომლებიც საერთოა სხვადასხვა ორგანიზმისათვის. ასეთია ციტოქრომი C. ეს ცილა დიდ როლს ასრულებს უჯრედის სუნთქვაში. იგი ელექტრონების გადატანების ჯაჭვში ერთ-ერთ კომპონენტს წარმოადგენს. ციტოქრომი C-ს ასინთეზებენ ყველა აერობული (ფანგბადის მომხმარებელი) ორგანიზმები. ეს კი სხვადასხვა ორგანიზმის ციტოქრომის შედარების საშუალებას იძლევა. დღეისათვის შესწავლილი სახეობების ციტოქრომი C-ს მოლეკულის ზომა მცირეა. იგი 103 – 112 ამინომჟავასაგან შედგება. ამიტომაც ამ ცილის კვლევისთვის გამოყენება ხელსაყრელია.

ევოლუციური ხის ასაგებად ცილას გამოყოფენ სხვადასხვა სახეობების ორგანიზმებიდან და ადგენენ მის ამინომჟავურ თანმიმდევრობას. შემდეგ კომპიუტერის დახმარებით აღარებენ სხვადასხვა სახეობებისგან მიღებულ ცილებს. რაც უფრო მსგავსია ორი სახეობის ცილები, მით უფრო სავარაუდოდ დიდია მათი ნათესაური კავშირი.

კომპიუტერს შეუძლია იმ ციტოქრომი C-ს სავარაუდო სტრუქტურის რეკონსტრუქცია, რომელიც ეწებოდა ორი, ამჟამად მცხოვრები სახეობის საერთო წინაპარს. დაეუშუათ, რომ ერთ-ერთი შესასწავლი სახეობის ციტოქრომი C-ს ამინომჟავური თანმიმდევრობის გარკვეულ ადგილზე მდებარეობს იზოლეიცინი, ხოლო მეორისაში – პროლინი. კომპიუტერი გამოითვლის, რომ ამ ორი ამინომჟავას ნუკლეოტიდური კოდონები ღმ-ში განსხვავებიან პირველი ორი აზოტოვანი ფუძით. იზოლეიცინისთვის ეს იქნება კოდონი თაა, პროლინისთვის კი – კოდონი გგა. თუ ვივარაუდებთ, რომ ამ კოდონებიდან ერთი რომელიმე წინაპრის ღმ-შიც იყო, მაშინ დავასკვნით, რომ ერთი სახეობისთვის დამახასიათებელი კოდონის გარდაქმნა მეორე სახეობის კოდონად უნდა მომხდარიყო ორი მეზობელი ნუკლეოტიდის მუტაციის შედეგად (სხვაგვარად

რომ ვთქვათ, დნმ-ის თა ნუკლეოტიდები უნდა გარდაქმნილიყვნენ გვ ნუკლეოტიდებად, ანდა პირიქით). თუ დაეუშვებთ, რომ ორივე სახეობა საერთო წინაპრისგან წარმოიშვა, რომელსაც ციტოქრომ C-ში ამ ადგილზე ჰქონდა ლეიცილი, მაშინ დასკვნა სხვანაირი იქნება: იზოლაციონად და პროლინად შეცვლა თითოეულ შემთხვევაში მხოლოდ ერთი ნუკლეოტიდის მუტაციის შედეგი იყო. შესაძლებელია, რომ წინაპრის კოლონიში იმყოფებოდა კოლონი გაა:



ეს შემთხვევა უფრო დამაჯერებელია.

ცილების შედარებისას ერთი მეტად საინტერესო ფაქტი იქნა დადგენილი: აღმოჩნდა, რომ ყველა შესწავლილი სახეობის ცილების გარკვეულ ადგილზე ერთი და იგივე ამინომჟავა მდებარეობს. უბრალო დამთხვევაა? სავარაუდოა, რომ არა. ალბათ ეს შეუცვლელი ამინომჟავებია, რომელთა ნებისმიერი შეცვლა გადარჩევის გზით უნდა აღმოფხვრილიყო. სხვა ამინომჟავების შეცვლას ისეთი დიდი მნიშვნელობა არა აქვს, თუმცა უნდა ვიფიქროთ, რომ ისინიც გარკვეულ როლს თამაშობენ ცილის „ნატიფი სტრუქტურის“ შექმნაში, რომელიც განაპირობებს ეფექტურ ფუნქციონირებას მოცემული სახეობის ბუნებრივი პირობებში არსებობის დროს.

ხერხემლიან ცხოველებს შორის ნათესაური კავშირების დადგენა ზორციელდება აგრეთვე ჰემოგლობინის სტრუქტურით. ეს ცილა ყველა ხერხემლიან ცხოველს მოეპოვება. ჰემოგლობინი, რომელიც სისხლის წითელ ფერს განაპირობებს, ორგანიზმში ჟანგბადის გადამტანის ფუნქციას ასრულებს. ჰემოგლობინის მოლეკულა ოთხი პოლიპეპტიდური ჯაჭვისაგან შედგება: ორი ალფა-ჯაჭვის და ორი ბეტა-ჯაჭვისაგან. შესწავლამ უჩვენა, რომ მოზრდილ ადამიანსა და შიმპანზეს ერთნაირი ბეტა-ჯაჭვები აქვთ. გორილასა და ადამიანის ჰემოგლობინის ბეტა-ჯაჭვები თითო ამინომჟავით განსხვავდებიან, ადამიანისა და ლორის — 17 ამინომჟავათი, ადამიანის და ცხენის კი — 26-ით.

ჰემოგლობინის ალფა-ჯაჭვები ძალიან გვანან ბეტა-ჯაჭვებს. ბეტა-ჯაჭვი ჩანასახოვანი განვითარების ბოლო ეტაპზე ჩნდება. ალფა-ჯაჭვი აქვს როგორც ნაყოფს, ისე მოზრდილ ადამიანს. ნაყოფის ჰემოგლობინი (ალფა-ჯაჭვი) გამოირჩევა ჟანგბადის უფრო მეტი მიმღებლობით ვიდრე მოზრდილის, რაც ნაყოფს საშუალებას აძლევს დედის სისხლდარღვოვანი სისტემიდან ჟანგბადი მიიღოს. ამრიგად, ნაყოფისთვის განსაკუთრებული ჰემოგლობინის არსებობა ადაპტაციაა, რომლის წყალობითაც ნაყოფი საკმაო რაოდენობის ჟანგბადით არის უზრუნველყოფილი ისე, რომ ჰაერთან უშუალო კავშირი არ გააჩნია.

როგორ წარმოიშვა ასეთი მსგავსი სტრუქტურების მქონე სხვადასხვა ტიპის მოლეკულები? ყველაზე ბუნებრივი იქნება ვივარაუდოთ, რომ შორეულ ევოლუციურ წარსულში რომელიღაც

წინაპრის გენმა, რომელიც ჟანგბადის გადამტან ცილას აკოდირებდა, რამდენიმე ასლი მოგვცა. ასეთი ვარაუდის სასარგებლოდ ლაპარაკობს ის, რომ ამჟამად მცხოვრებ ორგანიზმებს უჯრედების ბირთვებში ზოგიერთი გენის ზედმეტი ასლი მოეპოვებათ. წარმოვიდგინოთ, რომ წინაპრის გენის ზოგიერთმა ასლმა მუტაცია განიცადა. ამის შედეგად წარმოიქმნა ცილები, რომლებსაც მცირედ განსხვავებული, მაგრამ ორგანიზმისთვის საჭირო ფუნქციები გააჩნდათ. სხვა სიტყვებით, გენების მრავალრიცხოვან ასლებს შესაძლოა განეცადათ ადაპტაციური რადიაცია, რის გამოც მოხდა ერთი სახის ცილის სინთეზიდან სხვა ტიპის ცილის სინთეზზე გადასვლა. თითოეული ცილა ადაპტირებული იქნებოდა მხოლოდ მისთვის დამახასიათებელ, სხვა ცილებისგან განსხვავებულ ფუნქციასთან. ასეთი განსხვავებული სპეციალიზაციის ცილების მქონე ორგანიზმს გადარჩევისას უპირატესობა ექნებოდა იმათთან შედარებით, ვისაც იმავე ფუნქციების შესასრულებლად ნაკლებად მრავალფეროვანი ცილები ჰქონდა.

ნარკვევი. ადამიანის „კლონები“

კლონს უწოდებენ ინდივიდების ჯგუფს, რომლებიც ერთმანეთისგან ან რომელიმე საერთო წინაპრისგან არის მიღებული უსქესო გამრავლების გზით. კლონის უმარტივესი მაგალითია ერთი საწყისი ბაქტერიის გაყოფის შედეგად წარმოქმნილი ბაქტერიების პოპულაცია. ამ კლონის ყველა ბაქტერიას საწყისი მშობლიური უჯრედის გენები აქვს.

თუ ბაყაყის კვერცხუჯრედს მოვაცილებთ ბირთვს და მის მაგივრად თევზკომალის ნაწლავის უჯრედის ბირთვს შევიყვანოთ, ასეთი კვერცხუჯრედიდან შეიძლება გაიზარდოს ნორმალური, ფერტილური ბაყაყი (სურ.15.11). თუ ერთი ბაყაყიდან დიდი რაოდენობის ბირთვებს გამოვყოფთ, მრავალ კვერცხუჯრედში შევიყვანოთ და ამ კვერცხუჯრედებს განვითარების საშუალებას მივცემთ, ბაყაყების კლონს მივიღებთ. ამ კლონის ყველა წევრი გენეტიკურად იდენტური იქნება, რადგანაც ყოველი მათგანი ატარებს დონორი უჯრედის ბირთვის გენებს. “სინჯარიდან“ განვითარებული ახალშობილების შესწავლისას ვრწმუნდებით, რომ ადამიანის კვერცხუჯრედს დედის ორგანიზმის გარეშეც შეუძლია ნორმალურად განვითარება (ყოველ შემთხვევაში, რამდენიმე დღე მანძი). ეს საშუალებას გვაძლევს ვივარაუდოთ, რომ ბაყაყებში წარმატებით ჩატარებული ბირთვების ტრანსპლანტაცია დროთა განმავლობაში ადამიანისთვისაც განხდება შესაძლებელი.

ასეთი გზით განვითარებულ ადამიანებს იმ ადამიანის ყველა გენეტიკური ნიშანი ექნებათ, რომლისგანაც იქნება გადანერგილი ბირთვი.

ტექნიკური თვალსაზრისით ადამიანთა კლონების მიღება არც თუ ისე ძნელია. პრობლემა ის არის, თუ ვისი ასლების (კლონების) მიღებას მოვინდომებთ და საერთოდ, გვინდა თუ არა ბევრი გიგლა ბერბიჭაშვილი ან, თუნდაც, ბევრი შოთა რუსთაველი?

XVI თავი

მენდელის გენეტიკა

ამ თავის დაშუქების შემდეგ თქვენ უნდა შესძლოთ:

1. შემდეგი ტერმინების ხმარება: მშობლიური თაობა (P), პირველი ჰიბრიდული თაობა (F₁), მეორე ჰიბრიდული თაობა (F₂), დომინანტური, რეცესიული, ჰომოზიგოტური, ჰეტეროზიგოტური, დათიშვა, დამოუკიდებელი განაწილება, არასრული დომინირება.
2. გენოტიპისა და ფენოტიპის განმარტება, ერთმანეთთან შედარება და ისეთი ცნებების ახსნა, როგორცაა “დომინანტური” და “რეცესიული”.
3. ერთი ან ორი ნიშნის მიხედვით შეჯვარების ილუსტრირება პენეტის ცხრილის გამოყენებით და იმის გარკვევა, თუ გენოტიპების და ფენოტიპების რა რიცხობრივი შეფარდება არის მოსალოდნელი ამ შეჯვარების შედეგად მიღებულ თაობაში.
4. შეჯვარებისას გენეტიკური ნიშან-თვისებების მემკვიდრეობის შედარება მეიოზისა და განაყოფიერების დროს ქრომოსომების ქცევასთან.
5. მემკვიდრეობის, დათიშვისა და ნიშან-თვისებათა დამოუკიდებელი განაწილების წესების საკუთარი სიტყვებით გადმოცემა.

უძველესი დროიდან ადამიანი ამჩნევდა, რომ მცენარეები და ცხოველები თავიანთი მშობლებისგან მემკვიდრეობით იღებდნენ გარკვეულ ნიშან-თვისებებს. უძველესი, რომელიც კიდე ისტორიამდელი ეპოქიდან ადამიანებს თვალში ხვდებოდათ მშობლებისა და შვილების მსგავსება. იმ დროიდანვე ისინი ცდილობდნენ ხბოების მიღებას კარგი მენეჯერი ძროხისგან, დასათესად კი მალაქროლეპტიული მცენარეების თესვებს არჩევდნენ. მაგრამ ცხოველთა და მცენარეთა სელექცია მენეჯერულ საფუძველზე მხოლოდ ჩვენი საუკუნის დასაწყისში დადგა.

1900-იან წლებში ბიოლოგებმა თავისთვის ხელახლა აღმოაჩინეს გრეგორ მენდელის (Gregor Mendel) შრომები. ამ პერიოდამდე 30 და მეტი წლის წინათ მენდელმა შეჯვარების გამოყენებით ჩაატარა მთელი რიგი ექსპერიმენტები და შემუშავა თეორია, რომელიც ხსნიდა თაობიდან თაობაში მემკვიდრეობითი ნიშან-თვისებების გადაცემას. სამწუხაროდ, იმ დროის ავტორიტეტულმა მენეჯერებმა, რომლებიც ჩაფლულნი იყვნენ საკუთარ, ძალიან რთულ თეორიებში, უარყვეს მენდელის თეორია, რადგანაც იგი დიდი სიმარტივის გამო ყურადღებას არ იქცევდა. მაგრამ უკვე 1900-იან წლებში ბიოლოგები მივიდნენ იმ აზრამდე, რომ ქრომოსომები გენეტიკური მასალის მატარებლები არიან. მათ დაინახეს, რომ მენდელის ცდების შედეგები ზუსტად მიესადაგებოდა ამ მოსაზრებას. მენდელის თეორია საფუძველად დაედო ახალ მენეჯერებს – გენეტიკას, რომელმაც სწრაფი ტემპით დაიწყო განვითარება.

მენდელის მთავარი დამსახურება იყო იმ ფაქტის დადგენა, რომ ნიშან-თვისებები მემკვიდრეობით გადაეცემა როგორც დისკრეტული, წყვეტილი ერთეულები. ეს სავესებით

ნათელი არ არის. მრავალ შემკვიდრებით ნიშანს, მაგალითად, სხეულის სიგრძეს, გონებრივ შესაძლებლობებს ან კანის ფერს განუწყვეტელი ცვალებადობის ფართო დიაპაზონი ახასიათებთ. ამიტომაც მენდელის დროის ბევრი ბიოლოგი მხარს უჭერდა შერწყმული შემკვიდრების თეორიას (ძალიან ძნელია ამ თეორიის შეთანხმება ბუნებრივი გადარჩევის ევოლუციურ თეორიასთან, რომლის თანახმადაც შემკვიდრებითი ვარიაციები თაობიდან თაობაში ინახება და არ ხდება მათი რაღაც საშუალოში შერწყმა. დარწმუნს, სხვა ევოლუციონისტების მსგავსად, არ მოსწონდა შერწყმული შემკვიდრების თეორია. სამწუხაროდ, მან ვერ შეძლო იმის გაგება, რომ მენდელის შრომებს შეეძლო გაექარწყლებინა ბუნებრივი გადარჩევის მოწინააღმდეგეთა ერთ-ერთი მთავარი არგუმენტი).

მენდელი შემკვიდრების ერთეულებს ვერ ხედავდა. მან მხოლოდ დაუშვა მათი არსებობის ფაქტი, რათა აეხსნა მშობლებისგან შთამომავლობაზე გენეტიკური ნიშან-თვისებების გადაცემის კანონზომიერებები. ახლა ჩვენთვის ცნობილია, რომ ეს შემკვიდრების ერთეულები, რომლებსაც დღეს გენებს უწოდებენ, წარმოადგენს დნმ-ის მოლეკულის ცალკეულ მონაკვეთებს (იხ. თავი 14 და 15). მრავალი გენი აკოდირებს გარკვეულ ცილას. სწორედ ასეთი გზით მიკროსკოპული გენი გამოვლინდება ორგანიზმის ამა თუ იმ კარგად შესაძინევი ნიშნის, მაგალითად, ბეწვის სიგრძის, მისი ფერის, და სხვათა სახით (სურ. 16.1). გენები, როგორც დნმ-ის მოლეკულის მონაკვეთები, ორმაგდებიან და შეილულ უჯრედებს გადაეცემათ. სწორედ ამიტომ შთამომავლობა იღებს თავიანთი მშობლების ამა თუ იმ ნიშან-თვისებას.

სქესობრივი გამრავლების დროს ახალი ინდივიდი გენების ნახევარს დედისაგან იღებს (კვერცხუჯრედის გზით), ნახევარს კი მამისაგან (სპერმატოზოიდის გზით). შემკვიდრებით მიღებული ნიშნები ხშირად შერწყმული გვეჩვენება, რადგანაც გენები ახალ კომბინაციაში ერთმანეთზე ურთიერთქმედებენ და გამოიძის, რომ შთამომავლობა მშობლებისაგან განსხვავდება როგორც გარეგნულად, ისე ბიოქიმიური თავისებურებებით და ქცევით.

უნდა ითქვას, რომ ჩვენ ცოტა აჭქარდით. ყველაფერ ამას მოგვიანებით შევიტყობთ. ამ თავში კი განვიხილავთ ცალკეული ინდივიდებისთვის დამახასიათებელ გენეტიკურ ნიშან-თვისებებს. ვნახავთ, თუ როგორ შეისწავლა მენდელმა შეჯვარების გამოყენებით ჩატარებულ ექსპერიმენტებში ნიშან-თვისებების შემკვიდრების ხასიათი მათი ერთი თაობიდან მეორეზე გადაცემისას.



სურ. 16.1. თითოეული ბეწვი ცილოვანი ძაფებისაგან შედგება. ბეწვის შეფერვას განსაზღვრავენ პიგმენტები. პიგმენტების სინთეზში მონაწილეობს ერთი სახის, ზოლო თმაში მათ დაგროვებას განსაზღვრავს მეორე სახის ფერმენტები. ბეწვის ცილება, რომლებიც მონაწილეობენ პიგმენტის და ფერმენტების სინთეზსა და დაგროვებაში სხვადასხვა გენებით არის კოდირებული. ამ კატას გრძელი ბეწვი აქვს. თითოეული ლაქები, ე. ი. ის ადგილები, სადაც ბეწვს პიგმენტები არა აქვს, დამოკიდებულია piebald (ჭრელი) გენის არსებობაზე.

16.1. მენდელის გენეტიკური ექსპერიმენტები

გრეგორ მენდელი ჯერ ბერი იყო, მოგვიანებით კი ქ. ბრიუნის (ამჟამად ჩეხოსლოვაკიის ქალაქი ბრნო) მონასტრის წინამძღვარი გახდა. თავის ცნობილ ცდებს იგი ატარებდა ჩვეულებრივ ბარდაზე, რომელიც მონასტრის ეზოში მოჰყავდა. იმ დროის ბერი ცნობილი ბოტანიკოსი ცდილობდა გაეგო, თუ როგორ გადაეცემა მშობლებიდან შთამომავლობას მცენარეების გენეტიკური ინფორმაცია, მაგრამ ამ კითხვაზე პასუხის გასაცემად მათი ყველა ცდა უშედეგო აღმოჩნდა. მენდელს კი მისმა ცდებმა საშუალება მისცა ჩამოეყალიბებინა მარტივი, მაგრამ ნათელი თეორია, რომელმაც დროის გამოცდას გაუძლო. როგორ შეძლო მარტოდმარტო მომუშავე მენდელმა იმის დანახვა, რისი დანახვაც ვერ შეძლეს სწავლულთა სამყაროსთან მჭიდროდ დაკავშირებულმა მისმა თანამედროვეებმა? მენდელის წარმატება რამდენიმე გარემოებით იყო განპირობებული:

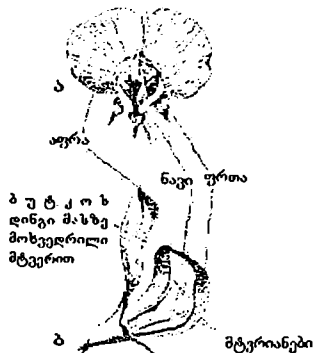
უპირველეს ყოვლისა იმით, ღრმ მენდელი უარესად ნიჭიერი და შრომისმოყვარე იყო. გარდა ამისა, მენდელმა თავის დროზე შეისწავლა მათემატიკა და ალბათობის თეორია. ამის გამო მას ესმოდა, რომ კვლევისათვის საჭიროა ცდების დიდი რიცხვი, რათა მინიმუმამდე იყოს დაყვანილი "არჩევანის" ეფექტი. გარდა ამისა, კვლევას იგი იწყებდა ცალკეული მემკვიდრეობითი ნიშან-თვისებების შესწავლით. თითო ექსპერიმენტში ირჩევდა თითო ნიშანს და სწავლობდა მის ბედს მრავალი თაობის განმავლობაში.

შეორებულ მენდელს ვაუშარტლა საექსპერიმენტო ობიექტის არჩევანში. სხვა მკვლევარები მუშაობდნენ მცენარე ხარნუყაზე, არ იცოდნენ, რომ მას თესვები ზოგჯერ დამტკვერვის გარეშეც წარმოექმნება, რის გამოც მათში მამისეული გენები არ არის. ცხადია, ძნელია შეისწავლო ნიშან-თვისებათა მემკვიდრეობის ხასიათი მაშინ, როცა გგონია, რომ მშობლიური ფორმები ცნობილია, სინამდვილეში კი ასე არ არის.

მენდელი ამ ხაზანგს ასცდა. მან რამდენიმე წელი მოანდომა საცდელი ობიექტისა და შესწავლისათვის ხელსაყრელი ნიშან-თვისებების არჩევას. ბოლოს იგი შეჩერდა ბარდაზე. ბარდის მრავალი ფერში არსებობდა და ყველა ჯიშში წმინდა ხაზი იყო, ანუ შვილები ყოველთვის იმეორებდნენ მშობლების ნიშნებს. მაგალითად, მაღალი მცენარეები ყოველთვის მაღალ შთამომავლობას იძლეოდნენ, ჯუჯები კი — მხოლოდ ჯუჯას. მენდელი აჯვარებდა ორი ასეთი კონტრასტული ჯიშის მცენარეს და აკვირდებოდა მათი ნიშან-თვისებების მემკვიდრეობას.

ბარდას ქონდა კიდევ ერთი კარგი თვისება, რომელიც მას ცდის საუკეთესო ობიექტად ხდიდა. მრავალ ჩვეულებრივ ყვავილს მამრობითი (სამტკვერეები) და მდედრობითი (ბუტკოები) რეპროდუქციული ორგანოები არაფრით არა აქვთ დაფარული. ამის გამო ბუტკოს ღინგზე შეიძლება მიხვდეს სხვა მცენარეებიდან ქართ და მწერებით მოტანილი მტკერი. ბარდას კი გვირგვინის ფურცლები ისე აქვს განლაგებული, რომ რეპროდუქციული ორგანოები მთლიანად დაფარულია, სხვა ყვავილის მტკერი მის შიგნით ვერ ხვდება და, ჩვეულებრივ, თითოეული ყვავილი თავისი მტკერით იმტკერება (სურ.16.2).

მენდელს შეეძლო ამ დაეშვა თვითდამტკვერვა, ან ეწარმოებინა ჯვარედინი დამტკვერვა — აეღო ერთი ჯიშის ბარდის მტკერი და მოეთავსებინა მეორე ჯიშის ბარდის ბუტკოს ღინგზე. ასეთი ჯვარედინი დამტკვერვისათვის მენდელი მტკერის ღირწარად გამიზნულ ყვავილს ხსნიდა და მას მტკერიანებს აცლიდა. შემდეგ ხსნიდა მეორე მონათესავე ყვავილს და მის ბუტკოს ღინგზე აყრიდა მტკერს. ამ ყვავილიდან მტკერიანებს მტკერის მომწიფებამდე აცლიდა, რათა დარწმუნებული ყოფილიყო, რომ არც ერთი ყვავილი არ იმტკვერებოდა საკუთარი მტკერით.

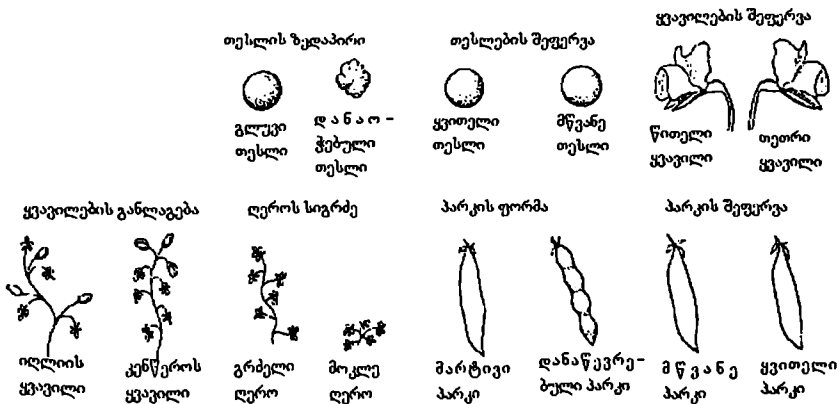


სურ.16.2. ბარდის ყვავილი - გენეტიკური ექსპერიმენტებისათვის მენდელის მიერ შერჩეული ობიექტი. ა-ყვავილის გარგანი სახე. მოდიფიცირებული გვირგვინის ფურცლები: აფრა, ნატი, ფრთები, ბ-ხედი გვერდიდან. ყვავილი ნაჩვენებია ჭრილში, რათა კარგად ჩანდეს გვერდითი ფურცლები და რეპროდუქციული ორგანოები. რეპროდუქციული ორგანოები (მტვრიანები და ბუტკო) დაფარულია ნატივით. ასე რომ, პარკონების ოჯახის ყვავილისთვის დამახასიათებელია თვითდამტვერვა.

მრავალრიცხოვანი შთამომავლობის მისაღებად მენდელი ასეთი გზით მრავალ ათეულ ყვავილს მტვერავდა. ეს საკმაოდ შრომატევადი სამუშაო იყო, მაგრამ, სამაგიეროდ, მენდელმა ზუსტად იცოდა თითოეული ბარდის თესლის წარმოშობა.

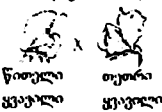
მენდელმა ორი წელი მონათვა სხვადასხვა მემკვიდრული თვისებების მქონე წმინდა ხაზების გამოყენებას. საბოლოოდ მან აირჩია შვიდი ნიშან-თვისებება (სურ.16.3).

მენდელმა მუშაობა დაიწყო ერთი ნიშნით განსხვავებული ბარდების შეჯვარებით. იგი ერთმანეთთან აჯვარებდა წითელი და თეთრი ყვავილების მქონე ბარდის ორ წმინდა ხაზს. ასეთი შეჯვარებისას, ე.ი. ორი გენეტიკურად განსხვავებული ჯიშის შეჯვარებისას, მიიღება შერეული თაობა, ე.წ. ჰიბრიდი. წითელი და თეთრყვავილიანი ბარდების შეჯვარებისას ჰიბრიდს ყველა ყვავილი წითელი აღმოაჩნდა (სურ.16.4). სად დაიკარგა თეთრი შეფერვა, რომელიც თეთრ ყვავილებიან მცენარეს შთამომავლობისათვის უნდა გადაეცა?

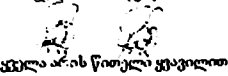


სურ.16.3. მენდელი სწავლობდა ბარდის 7 მემკვიდრულ ნიშანს, რომელთაგანაც თითოეული წარმოდგენილი იყო ორი განსხვავებული ფორმით. თითოეული ასეთი წველის დომინანტური ფორმა (იხ.განყ.16.2) ამ სურათზე ნაჩვენებია მარცხნივ.

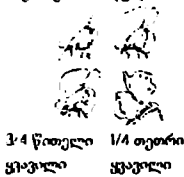
მშობლიური თაობები



პირველი ჰიბრიდული თაობა



მეორე ჰიბრიდული თაობა



ზურ. 16.4. წმინდა ხაზის წითელყვავილებიანი და თეთრყვავილებიანი მცენარეების შეჯვარებისას მიიღეს მხოლოდ წითელყვავილებიანი მცენარეების თაობა. ამ თაობის მცენარეების თვითდამტკურვის შედეგად მდებარე თაობაში მცენარეების დაახლოებით 3/4-ს ქონდა წითელი ყვავილება და 1/4-ს - თეთრი. (ნიშანი X, რომელიც ხურათის ზედა ნაწილშია აღნიშნული, შეჯვარების სიმბოლოს წარმოადგენს).

მენდელმა გააგრძელა ექსპერიმენტი და ჰიბრიდების თვითდამტკურვით 900-მდე თესლი მიიღო. როცა ეს თესლები დათესა, გაზრდილი მცენარეების უმეტესობას წითელი ყვავილები აღმოაჩნდა, მაგრამ მცენარეების დაახლოებით 1/4-ს თეთრი ყვავილები ჰქონდა. ცხადი გახდა, რომ თეთრი ფერი არ დაკარგულა, თუმცა იგი ჰიბრიდთა პირველ თაობაში არ გამოვლინდა.

მენდელი მიხვდა, რომ ამ ფაქტის ახსნა შეიძლება, თუ დაეუშვებთ, რომ ყოველგვარი მემკვიდრეობითი ნიშანი განისაზღვრება დამოუკიდებელი ფაქტორების წყვილით (მათ ახლა ჩვენ გენებს ვუწოდებთ). მენდელი თვლიდა, რომ წითელყვავილებიან წმინდა ნაზის მცენარეს ქონდა ორი გენი, რომელიც განსაზღვრავდა ყვავილის წითელ ფერს. თითოეული რეპროდუქციული უჯრედი ამ ორი გენიდან მხოლოდ ერთ გენს შეიცავდა. როცა განაყოფიერების დროს ორი რეპროდუქციული უჯრედი ერთმანეთს შეერწყა, მათში მოთავსებული წითელი შეფერალობის გენებიც გაერთიანდნენ. ასე რომ, შთამომავლობას კვლავ აღმოაჩნდა ორი ასეთივე გენი - ერთი კვერცხუჯრედიდან, მეორე კი მტერის მარც-

ვილიდან. ზუსტად ასევე, თეთრყვავილიანი ჯიშის მცენარეებიც ატარებდნენ და შთამომავლობას გადასცემდნენ მხოლოდ თეთრი შეფერვის გენებს. ამ ორი ჯიშის ერთმანეთთან შეჯვარებისას თითოეული თეთრყვავილიანი მცენარე ჰიბრიდულ თაობას გადასცემდა ერთ თეთრი ფერის გენს, წითელყვავილიანი კი - ერთ წითელი შეფერვის გენს. შესაბამისად, თითოეული ჰიბრიდული მცენარე ატარებდა ერთი წითელი და ერთი თეთრი ფერის გენს, თუმცა ჰიბრიდების ყველა ყვავილი წითელი ფერის იყო. ჰიბრიდული მცენარეების გამრავლებისას რეპროდუქციული უჯრედების ნახევარმა ყვავილის წითელი შეფერვის გენი მიიღო, ნახევარმა კი თეთრი შეფერვისა. განაყოფიერებისას ნებისმიერ ერთ რეპროდუქციულ უჯრედს შეეძლო შეერთებოდა ნებისმიერ მეორე რეპროდუქციულ უჯრედს, რომელიც ატარებდა ან წითელი, ანდა თეთრი შეფერვის გენს. თუ ორივე რეპროდუქციული უჯრედი ატარებდა თეთრი შეფერვის გენს, მათი შეერთებისას მიიღებოდა თეთრყვავილებიანი მცენარე.

ამგვარად, განაყოფიერების შედეგად მშობლების გენები ახალ ინდივიდში ერთიანდებიან, ხოლო შემდეგ კვლავ სცილდებიან ისე, რომ რეპროდუქციულ უჯრედში მოხვდება ან ერთი მათგანი, ან მეორე და ამგვარადვე გადაეცემა შემდეგ თაობას. ამ კანონზომიერებამ მენდლისეული დათიშვის კანონის სახელწოდება მიიღო.

16.2. დომინანტურობა და რეცესიულობა

მენდელის დომინირების კანონის თანახმად თუ ერთ ჰიბრიდულ ინდივიდში რომელიმე ნიშან-თვისებების განმსაზღვრელი ურთიერთგამომრიცხველი გენები ერთად მოხვდებიან, მაშინ მხოლოდ ერთი მათგანი გამოვლინდება, მეორე კი ითრგუნება. ის გენი, რომელიც გამოვლინდება, ანუ ექსპრესირდება, წოდებულია დომინანტურ გენად, ხოლო დათრგუნული გენი – რეცესიულად.

რეცესიული გენის ექსპრესია მხოლოდ იმ შემთხვევაშია შესაძლებელი, თუ მოცემული ინდივიდი ჰომოზიგოტურია ამ რეცესიული გენის მიხედვით, ანუ შეიცავს ორ იდენტურ რეცესიულ გენს. ამ შემთხვევაში რეცესიული ნიშან-თვისება გამოვლინდება. დომინანტური გენის მიხედვით ჰომოზიგოტურ ინდივიდებში (რომლებიც ორ იდენტურ დომინანტურ გენს ატარებს) და ჰეტეროზიგოტურ ინდივიდებში (რომლებიც ორ განსხვავებულ გენს ატარებს – ამ შემთხვევაში ერთ დომინანტურს და ერთ რეცესიულს) ექსპრესირდება მხოლოდ დომინანტური გენი და გარეგნულად მათი გარჩევა შეუძლებელია.

გენეტიკოსები გენების გამოსახვისასთვის ხშირად მიმართავენ ასოთა სიმბოლიკას: ამა თუ იმ ნიშნის გამომხატველ დომინანტურ გენს დიდი ასოთი აღნიშნავენ, ხოლო რეცესიულს – შესაბამისი პატარა ასოთი. ამ წესის მიხედვით, მენდელის ცდებში ბარდის ყვავილის წითელი შეფერვის გენი შეიძლება აღვნიშნოთ R ასოთი, თეთრი შეფერვისა კი – r ასოთი.

თუ ინდივიდში ექსპრესირდება დომინანტური გენი, ძნელი სათქმელია, ეს ინდივიდი ამ გენის მიხედვით ჰომოზიგოტურია თუ ჰეტეროზიგოტური. ასეთ ინდივიდზე ამბობენ, რომ მას დომინანტური ფენოტიპი აქვს, ანუ ისეთივე ფენოტიპი, როგორც ამ დომინანტური გენის ჰომოზიგოტურ ინდივიდს. გენოტიპების მიხედვით კი, ე.ი. გენეტიკური მასალის მიხედვით, ეს ინდივიდი შეიძლება იყოს ჰომოზიგოტიც, მაგალითად, RR (ყვავილების წითელი შეფერვის ორი გენი) და ასევე ჰეტეროზიგოტიც Rr (ერთი გენი ყვავილის წითელი შეფერვის და ერთი – თეთრი შეფერვის). რეცესიული ფენოტიპის მქონე ინდივიდს (ჩვენს მაგალითში თეთრი ყვავილები) უნდა ჰქონდეს რეცესიული გენოტიპი rr (ყვავილის თეთრი შეფერვის ორი გენი).

ინდივიდის გენოტიპი განისაზღვრება განაყოფიერების მომენტში, მისი ფენოტიპი კი ყველა გენის მისი ერთმანეთთან და გარემოს სხვადასხვა ფაქტორებთან ურთიერთქმედების შედეგია. მაგალითად, მცენარე შეიძლება დაბალი იყოს იმის გამო, რომ ის ატარებს “ჯუჯურობის გენებს”, ან იმიტომ, რომ მან ვერ მიიღო საკვები ნივთიერების საკმაო რომდენობა და ვერ გაიზარდა ისეთი, როგორსაც კარნახობდნენ მასში მყოფი “მაღალი სიმაღლის გენები”. (სხვა მაგალითებს, რომლებიც შეეხება გარემო ფაქტორების ფენოტიპზე გავლენას, მე-17 თავში განვიხილავთ).

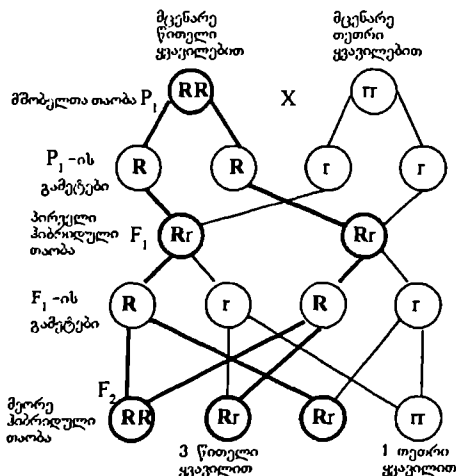
16.3. გენეტიკური შეჯვარების სქემები

სურათზე 16.5 წარმოდგენილია მენდელის მიერ ჩატარებული შეჯვარების სქემა, როდესაც ის აჯვარებდა წითელ და თეთრყვავილიან ბარდებს. მშობლიურ (P₁) თაობაში დედისეული და მამისეული ფორმები გენოტიპურად განსხვავდებოდნენ: წითელყვავილიან წმინდა ხაზის მცენარეს ჰქონდა RR გენოტიპი, თეთრყვავილიანი წმინდა ხაზისას კი – rr გენოტიპი.

რეპროდუქციულ უჯრედებს, რომლებიც სქესობრივ კვლავწარმოქმნას ემსახურებიან, გამეტებრ ეწოდებათ. მცენარეებში ესენია სპერმიები, რომლებიც სამტკერე მარცვლების მოძწიფებისას წარმოიქმნიებიან, და კვერცხუჯრედები. გამეტების წარმოქმნის წინ წყვილი გენები შორდება ერთმანეთს და თითოეულ გამეტაში ყვავილის შეფერილობის განმსაზღვრელი თითო გენი ზდება. ამ დროს გენი R მოხდება წითელყვავილიანი მცენარის გამეტებში, ხოლო გენი r – თეთრყვავილიანი მცენარის გამეტებში. განაყოფიერების დროს გამეტების შერწყმისას, პირველი ჰიბრიდული თაობის (მას F_1 ით აღნიშნავენ) თითოეული ეგ ზემპლარი ერთ R და ერთ r გენს მიიღებს, ე.ი. გახდება ყვავილის შეფერვის განმსაზღვრელი წყვილი გენის მფლობელი. F_1 თაობის მცენარეებში გამეტების წარმოქმნისას R და r გენები სხვადასხვა გამეტებში მოხვებიან. რადგანაც თითოეულ კვერცხუჯრედს თანაბარი ალბათობით შეუძლია R ან r გენის მიღება და R და r გენის შემცველი სპერმიებით მისი განაყოფიერების შანსი თანაბარია, ამიტომ ჰიბრიდთა მეორე თაობის (F_2) წარმოქმნისას შესაძლებელია გამეტების სხვადასხვა კომბინაცია:

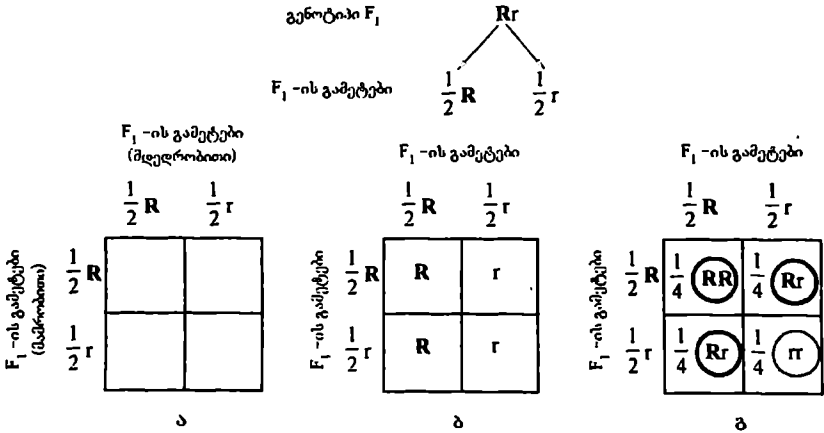
- 1) კვერცხუჯრედი R და სპერმატოზოიდი R (RR)
- 2) კვერცხუჯრედი R და სპერმატოზოიდი r (Rr)
- 3) კვერცხუჯრედი r და სპერმატოზოიდი R (rR)
- 4) კვერცხუჯრედი r და სპერმატოზოიდი r (rr)

განაყოფიერების დამთავრებისას მე-2 და მე-3 კომბინაციები გენეტიკურად არ განსხვავდებიან. ამიტომაც F_2 თაობაში შესაძლებელია სამი სახის გენოტიპის – RR, Rr და rr მიღება. მათი მოსალოდნელი შეფარდება იქნება 1RR 2Rr 1rr, რადგანაც გენოტიპ Rr-ის წარმოქმნის ორი, ხოლო RR-ის და rr-ის წარმოქმნის თითო გზა არსებობს. მოსალოდნელი ფენოტიპური შეფარდება სხვანაირი იქნება: 3 წითელყვავილებიან მცენარეზე მოვა 1 თეთრყვავილებიანი მცენარე, რადგანაც წითელი ყვავილები ექნებათ RR გენოტიპის და Rr გენოტიპის მცენარეებსაც. ეს შეფარდება 3:1 (ანდა 3/4 : 1/4) ტიპურია ისეთი შეჯვარებისათვის, სადაც გენების ერთი წყვილი მონაწილეობს (ე.ი. მონოჰიბრიდული შეჯვარებისას). აქ ერთი გენი დომინანტურია, მეორე – რეცესიული.



სურ. 16.5. რეპროდუქციული უჯრედის (გამეტების) და იმ შთამომავლობის გენოტიპები, რომლებიც მიღებულია ყვავილის წითელი შეფერილობის გენის მიხედვით (ჰომოზოტურ) და ყვავილის თეთრი შეფერილობის გენის მიხედვით (ჰომოზოტურ) შეჯვარების შედეგად. და აგრეთვე ჰიბრიდთა თვითდამტკერვით მიღებული შთამომავლობის გენოტიპები. აქ წარმოდგენილია იგივე შეჯვარება, რაც 16.4 სურათზე.

16.5 სურათზე ნაჩვენებია სქემების ნაცვლად შესაძლებელია უფრო თვალსაჩინო პენეტის ცხრილის გამოყენება, რომელმაც სახელი გენეტიკოს რუჯინალდ პენეტის (Reginald Grundall Punnett) პატივსაცემად მიიღო. პენეტის ცხრილს შემდეგნაირად აგებენ: ჯერ წერენ შშობლების გენოტიპებს და განსაზღვრავენ მათი გამეტების შესაძლო გენეტიკურ კომბინაციებს. შემდეგ ხაზავენ 16.6 სურათზე ნაჩვენებ ცხრილს. ერთი შშობლის გამეტებს ცხრილის ზემოთ წერენ, ხოლო მეორისას – ცხრილის მარცხენა რიგის გასწვრივ სივრძეზე. შეჯვარების შედეგად მიღებულ შესაძლო გენოტიპებს წერენ ცხრილში ისე, როგორც ეს განმარტებულია სურათის ქვევით მოცემულ წარწერაში. ასე ჩაიწერება ყველა გამეტა და თითოეულ უჯრაში მოხვდება ორი გამეტის შერწყმით მიღებული კომბინაცია, რის შედეგადაც ელებულობთ მომდევნო თაობის შესაბამის ინდივიდს. ეს კომბინაციები მოგვეცემს შთამომავლობის მოსალოდნელ გენოტიპებს, გენოტიპების მიხედვით კი შეგვეძლება მათი ფენოტიპების განსაზღვრა, თუ გვეცოდინება, რომელი გენია დომინანტური და რომელი – რეცესიული.



სურ. 16.6. პენეტის ცხრილის აგება პეტეროზიგოტური F_1 თაობის ინდივიდთა შესაჯვარებლად. ჩაწერეთ შშობლების გენოტიპი (გენოტიპები), განსაზღვრეთ გამეტების ტიპები და ურთიერთდამოკიდებულება, ისარგებლეთ შემდეგი მითითებებით: ა – ერთ-ერთი შშობლის გამეტები ჩაწერეთ ცხრილის ზემოთ, მეორე კი – მისი მარცხენა მხარის გასწვრივ. უნიშვნელობა არა აქვს, თუ რომელს დაწერეთ ზემოთ და რომელს – მარცხნივ. მთავარია, რომ თითოეული შშობლის გამეტები ცხრილის ერთ-ერთ მხარეზე მოხვდეს. ბ – დაიწყეთ გამეტების ზევითა რიგით და თითოეული გამეტის გენები ჩაწერეთ ყველა უჯრაში მის ქვემოთ. გ – ახლა ჩაწერეთ მარცხენა რიგის გამეტების გენები იმ უჯრებში, რომლებიც თითოეული გამეტის მარჯვნივ მდებარეობს. ორი გამეტისაგან შემდგარი თითოეული კომბინაცია (წრეში) – ეს არის შესაძლო განაყოფიერება, რომელიც იძლევა აქ მითითებული თაობის გენოტიპს. შთამომავლობაში თითოეული კომბინაციის წილის გასაგებად ერთმანეთზე გადაამრავლეთ მასში შემავალი გამეტების სისშირეები.

16.4. დამოუკიდებელი განაწილება

მონოჰიბრიდული შეჯვარების გარდა, როცა შეჯვარებაში გენების მხოლოდ ერთი წყვილი მონაწილეობდა, მენდელი ატარებდა აგრეთვე ორი წყვილი კონტრასტული გენით

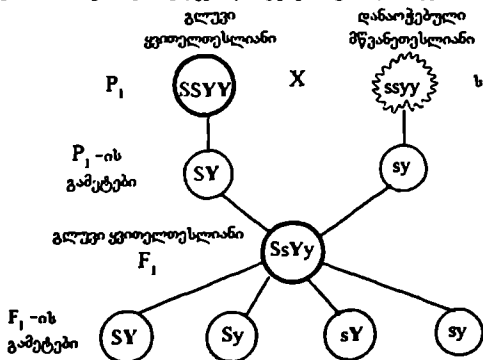
განსხვავებული შმობლიური ფორმების შეჯვარებას. ერთ-ერთ ასეთ ცდაში მან გამოიყენა ბარდის ჯიში, რომლის ინდივიდებიც თესლის ზედაპირით (გლუვი ან დანაოჭებული) და თესლის შეფერილობით (ყვითელი ან მწვანე) განსხვავდებოდნენ. ის აჯვარებდა გლუვი ზედაპირის და ყვითელი ფერის თესლიან ჰომოზიგოტურ მცენარეს დანაოჭებულ ზედაპირიან და მწვანე ფერის თესლიან ჰომოზიგოტურ მცენარესთან. F_1 თაობის ყველა მცენარეს ყვითელი და გლუვი თესლი ჰქონდა. ეს მიუთითებდა იმაზე, რომ თესლის გლუვი ზედაპირის ნიშანი დომინირებს დანაოჭებულზე, თესლის ყვითელი შეფერვა კი - მწვანეზე. F_1 თაობის მცენარეთა თვითდამტკერვის გზით მან მიიღო F_2 თაობა შემდეგი ფენოტიპებით:

- 315 გლუვი და ყვითელი თესლებით
- 101 დანაოჭებული და ყვითელი თესლებით
- 108 გლუვი და მწვანე თესლებით
- 32 დანაოჭებული და მწვანე თესლებით

F_2 თაობის ფენოტიპების ურთიერთშეფარდების გასარკვევად თითოეულ ჯგუფში მყოფი თაობების რიცხვი იყოფა ყველაზე მცირერიცხოვანი ჯგუფის სიდიდეზე. F_2 -ში შეფარდება დაახლოებით 9:3:3:1 შეადგინა. მენდელი მიუთითებდა, რომ ასეთი შეფარდება შეიძლება აიხსნას რეპროდუქციის პროცესში თესლის ზედაპირისა და შეფერილობის განმსაზღვრელი გენების დამოუკიდებელი განაწილებით. გენების თითოეული წყვილი მოქმედებდა მეორისაგან დამოუკიდებლად და მასზე მეორე წყვილის მემკვიდრეობა არავითარ გავლენას არ ახდენდა. ავიღოთ, მაგალითად, ყვითელი და მწვანე თესლები. ყვითელი თესლების რიცხვი უდრიდა $315+101=416$, მწვანესი კი - $108+32=140$, ე.ი. მათი შეფარდება იყო 2,97:1, რაც ძლიერ ახლოსაა მონოჰიბრიდული შეჯვარების დროს მიღებულ შეფარდებასთან 3:1. ასეთივე შედეგებია მიღებული გლუვი და დანაოჭებული თესლების შემთხვევაშიც.

ჩვენს მაგალითში გლუვი თესლები აღენიშნოთ S-ით, დანაოჭებული - s-ით, თესლის ყვითელი შეფერვა Y-ით, მწვანე კი - y-ით. შმობლიური გენოტიპები იქნებოდა SSYY (გლუვი, ყვითელი) და ssyy (დანაოჭებული, მწვანე). ისინი წარმოქმნიდნენ შესაბამისად SY და sy გამეტებს. F_1 თაობის ყველა მცენარეს ექნებოდა SsYy გენოტიპი.

F_1 თაობის მცენარეების თვითდამტკერვის დროს სურათი უფრო რთულდება. გენების დამოუკიდებელი განაწილების მენდელის კანონის თანახმად, ერთი წყვილის გენები გამეტაში განაწილდება მეორე წყვილის გენებისგან დამოუკიდებლად. გენ S-ს თანაბარი შანსი აქვს, რომ



სურ. 16.7. ორი ჰეტეროზიგოტური წყვილი გენის დამოუკიდებელი განაწილება გამეტების წარმოქმნის დროს. F_1 თაობის ინდივიდები თანაბარი შეფარდებით წარმოქმნიან 4 სხვადასხვა ტიპის გამეტას. გამეტების ნაწილი ატარებს გენების ისეთივე კომბინაციებს, როგორიც P_1 (SY და sy) გამეტებისგან იყო მიღებული, მაგრამ გამოჩნდა 2 ახალი კომბინაცია (Sy და sY). F_2 -ს გენოტიპები და ფენოტიპები 16.8 სურათზეა ნაჩვენები.

















გამეტაში მოხვდეს Y გენთან ან y გენთან ერთად. ამიტომაც F_1 თაობის ყველა მცენარე წარმოქმნის 4 ტიპის გამეტას: SY, sy, Sy და sY – თანაბარი შეფარდებით (სურ.16.7). თითოეულმა გამეტამ უნდა მიიღოს თითო წყვილიდან თითო გენი. თაობის ყველა შესაძლო გენეტიკური კომბინაციის გამოსავლენად ეს გამეტები უნდა ჩაეწეროთ პენტის ცხრილის ორივე მხარის გასწვრივ. რადგანაც ნებისმიერი მდებარეობითი გამეტა შეიძლება გაანაყოფიეროს ნებისმიერმა მამრობითმა გამეტამ, F_2 თაობაში შესაძლო გენოტიპების რიცხვი 9–ის ტოლი იქნება, შესაძლო ფენოტიპებისა კი – 4–ისა. (სურ.16.8).

16.1 ცხრილში ნაჩვენებია ამ დიჰიბრიდული შეჯვარების (ანუ როდესაც მშობლიური ფორმები ორი ნიშნით განსხვავდებიან) ფენოტიპებისა და გენოტიპების ურთიერთდამოკიდებულება. ფენოტიპური შეფარდება 9:3:3:1 ტიპურია დიჰიბრიდული შეჯვარებისთვის.

ცხრილი 16.1. SsYy გენოტიპების მქონე მცენარეების თვითდამტკერვის შედეგად მიღებული თაობის ფენოტიპები, გენოტიპები და მათი ურთიერთშეფარდება.

ფენოტიპი	შეფარდება	გენოტიპი
გლეჯი, ვიოლეტი	9/16	1/16SSYY : 2/16SSYy : 2/16SsYY : 4/16SsYy
გლეჯი, მწვანე	3/16	1/16SSyy : 2/16Ssyy
დანაოჭებული, ვიოლეტი	3/16	2/16ssYy : 1/16ssYY
დანაოჭებული, მწვანე	1/16	1/16ssyy

F_1 -ის გამეტები

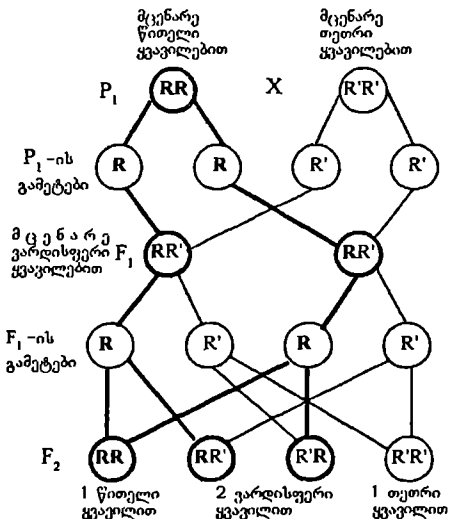
	$\frac{1}{4} Sy$	$\frac{1}{4} Sy$	$\frac{1}{4} sy$	$\frac{1}{4} sy$
$\frac{1}{4} Sy$	$\frac{1}{16}$ 	$\frac{1}{16}$ 	$\frac{1}{16}$ 	$\frac{1}{16}$ 
$\frac{1}{4} Sy$	$\frac{1}{16}$ 	$\frac{1}{16}$ 	$\frac{1}{16}$ 	$\frac{1}{16}$ 
$\frac{1}{4} sy$	$\frac{1}{16}$ 	$\frac{1}{16}$ 	$\frac{1}{16}$ 	$\frac{1}{16}$ 
$\frac{1}{4} sy$	$\frac{1}{16}$ 	$\frac{1}{16}$ 	$\frac{1}{16}$ 	$\frac{1}{16}$ 

F_1 -ის გამეტები

სურ.16.8. პენტის ცხრილი ყველა იმ შესაძლო კომბინაციის განსაზღვრისათვის, რომლებიც 16.7 სურათზე ნაჩვენებია გამეტების განაყოფიერების დროს შეიძლება იქნას მიღებული. F_1 -ის ინდივიდების მკურ წარმოქმნილი გამეტები მოთავსებულია ცხრილის ზემოთა ნაწილში და მისი მარცხენა მხარის გასწვრივ. უჯრედების შიგნით ასოებით აღნიშნულია F_2 -ს გენოტიპები, ხოლო წრეებით – F_2 -ის ფენოტიპები. შავი მუქი წრეებით აღნიშნულია ვიოლეტი თესლები, შავი წრეებით კი – მწვანე. წრეები გლეჯი თესლებია, ტალღისებური კი – დანაოჭებული.

16.5. არასრული დომინირება

მენდელის მიერ შესწავლილი გენების ყველა წყვილში ერთი გენი დომინანტური იყო, მეორე – რეცესიული. არსებითად, მენდელმა ეს წყვილები იმიტომაც აირჩია, რომ გამოსაკვლევი ნიშნები ერთმანეთისგან მკვეთრად განსხვავდებოდნენ: არცერთ მცენარეს არ ჰქონდა, მაგალითად, “მოწითალო” ყვავილები ან “მოყვითალო-მომწვანო” თესლები. ამჟამად ჩვენთვის ცნობილია, რომ გენების მრავალი წყვილისთვის დამახასიათებელია კოდომინირება ანუ არასრული დომინირება, რომლის დროსაც ჰეტეროზიგოტის ფენოტიპიც (არა მარტო გენოტიპი) განსხვავდება ორივე ჰომოზიგოტის ფენოტიპისაგან. მაგალითად, ღვეისპირას ყვავილების შეფერვას აკონტროლებენ კოდომინანტური გენები. ჰომოზიგოტ მცენარეს აქვს ან წითელი, ან თეთრი ყვავილები, ჰეტეროზიგოტს კი – ვარდისფერი. წითელი და თეთრი ყვავილებიანი მცენარეების შეჯვარებისას მიღებული F_1 თაობის ინდივიდებს ყველა ყვავილი ვარდისფერი აქვთ და ყველანი ჰეტეროზიგოტებია ყვავილების წითელი და თეთრი შეფერვის მიხედვით. მათი გამეტების ნახევარი ატარებს ყვავილების წითელი შეფერვის გენს, ნახევარი კი – თეთრი შეფერვისას. F_2 თაობაში როგორც გენოტიპური, ისე ფენოტიპური შეფარდება არის 1:2:1, ე.ი. მონოჰიბრიდული შეჯვარების გენოტიპური შეფარდების მსგავსია (სურ.16.9). რადგანაც ჰეტეროზიგოტურ მცენარეებს ვარდისფერი ყვავილები აქვთ, წითელი, ვარდისფერი და თეთრი ყვავილების მქონე მცენარეების მოსალოდნელი ფენოტიპური შეფარდება იქნება 1:2:1.



R – წითელი ყვავილები **R'** – თეთრი ყვავილები

სურ.16.9. მცენარე ღვეისპირას ყვავილის წითელი და თეთრი შეფერვის გენები კოდომინანტურია: ჰეტეროზიგოტურ ინდივიდებს ყვავილები ვარდისფერი აქვთ. თეთრი შეფერვის გენი აღნიშნულია R' ასოთი და არა r -ით, რადგანაც ეს რეცესიული გენი არ არის.

16.6. მეიოზი

შეჯვარების შედეგების ახსნისას მენდელი გამოდიოდა იმ დაშვებიდან, რომ მცენარის სომატურ უჯრედში არის ამა თუ იმ ნიშან-თვისების განმსაზღვრელი 2 გენი (მაგალითად, ყვავილის ფერის ან თესლის ზედაპირის განმსაზღვრელი), ხოლო გამეტებში თითო გენი ამ წყვილიდან. ჩვენთვის ახლა ცნობილია, რომ გენები ქრომოსომებშია ლოკალიზებული და თითოეული ქრომოსომა მრავალ გენს შეიცავს.

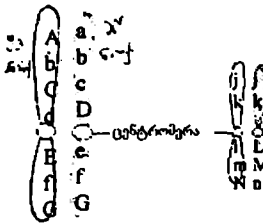
მცენარე ბარდას, ისევე როგორც ყველა სხვა უმაღლეს მცენარეს და ცხოველს, სომატურ უჯრედებში ქრომოსომები წყვილის სახით აქვს წარმოდგენილი. წყვილ ქრომოსომებს პომოლოგიური ქრომოსომები, ანუ მარტივად – ჰომოლოგები ეწოდებათ. თითოეული პომოლოგიური ქრომოსომა წყვილი გენიდან თითო გენს ატარებს. ჩვეულებრივად, პომოლოგიური ქრომოსომები ერთნაირი სიგრძისაა. მათი ცენტრომერები ერთმანეთის მოპირდაპირედ დგანან, ხოლო თვით ქრომოსომები ერთი და იმავე ნიშან-თვისებების განმსაზღვრელ გენებს ატარებენ. ეს გენები ქრომოსომებში ერთნაირი თანმიმდევრობით არის განლაგებული (სურ.16.10). მაგალითად, ბარდას ქრომოსომის ის მონაკვეთი, რომელიც მისი ყვავილის ფერს განსაზღვრავს, ატარებს R გენს, მეორე ქრომოსომა კი (პირველის პომოლოგი) მის შესაბამის მონაკვეთზე ატარებს ან R გენს, ან r გენს. ორგანიზმის ქრომოსომული წყვილების რაოდენობა მის სახეობაზეა დამოკიდებული (ცხრილი 16.2).

ცხრილი 16.2. სხვადასხვა ორგანიზმის ქრომოსომათა რაოდენობა

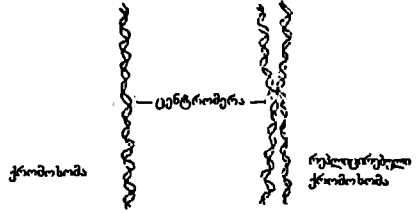
ორგანიზმი	ქრომოსომული წყვილების რიცხვი	ქრომოსომების საერთო რიცხვი
ბარდა	7	14
სიძინდი	10	20
ხილის ბუზი (<i>Drosophila</i>)	4	8
კატა	19	38
ძაღვი	39	78
ადამიანი	23	46

გამეტები პომოლოგიური წყვილიდან თითო ქრომოსომას და, შესაბამისად, გენების წყვილიდან თითო გენს შეიცავენ. ეს ადასტურებს მენდელის თეორიას. სომატური უჯრედები დიპლოიდურია (ე.ი. ქრომოსომების ორ კომპლექტს შეიცავს), გამეტები კი ჰაპლოიდური (ერთ კომპლექტს შეიცავს).

იმ ორგანიზმებისათვის, რომლებიც სქესობრივი გზით მრავლდება, ამ კანონზომიერებებს სასიცოცხლო მნიშვნელობა აქვს. თითოეული გამეტა რომ ქრომოსომთა დიპლოიდურ რაოდენობას შეიცავდეს, მაშინ განაყოფიერებულ კვერცხუჯრედს და შისგან განვითარებულ ორგანიზმს ორჯერ მეტი გენი ექნებოდა, ვიდრე თითოეულ მშობელს. შესაბამისად, ქრომოსომების (და გენების) რიცხვი ყოველ მომდევნო თაობაში გაორმაგდებოდა. სქესობრივი გამრავლების უნარის მქონე ორგანიზმებს გააჩნიათ ბირთვის გაყოფის განსაკუთრებული ფორმა, ე.წ. მეიოზი, რომლის დროსაც ბირთვში მოთავსებული ქრომოსომების დიპლოიდური კომპლექტი ჰაპლოიდურამდე მცირდება. მეიოზის შედეგად თითოეულ ჰაპლოიდურ გამეტაში უჯრედის დიპლოიდური კომპლექტის წყვილი ქრომოსომიდან თითო ქრომოსომა ზედება.



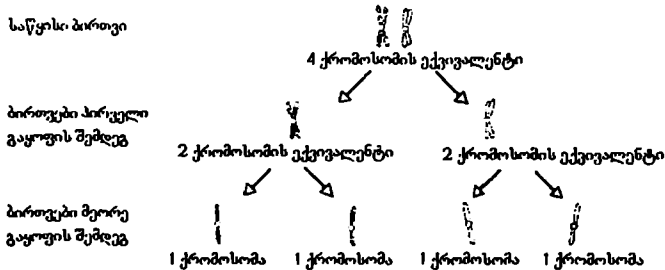
სურ.16.10. პოპულაციური ქრომოსომების ორი წყვილი. თითოეულ ქრომოსომაში არის მრავალი გენი (ასხვებით არის აღნიშნული). უფრო გრძელი ქრომოსომული წყვილი ატარებს A და a გენებს. ეს იმას ნიშნავს, რომ ასეთი ქრომოსომების მქონე ინდივიდი ამ ნიშნის მიხედვით ჰეტეროზიგოტურია. გენების მეორე წყვილის მიხედვით (რეცესიულები) b და b ქომოზიგოტურია და ა.შ.



სურ.16.11. ქრომოსომა შედგება დნმ-ის და ცილისგან. დნმ-ის მოლეკულა ორმაგდება ისე, როგორც ეს 14.11 სურათზეა ნაჩვენები. დნმ-ის ორი იდენტური მოლეკულა შეერთებული რჩება ცენტრომერის უბანში. ქრომოსომების ეს ასლები (კალკულ ქრომოსომებად მოგვიანებით იქვეყიან - ბირთვის გაყოფისას (მეიოზის დროს, რომლის შესახებაც აქ არის საუბარი, ან მიტოზის დროს, რომელიც წვენ 10.10 განყოფილებაში განვიხილოთ).

მეიოზის დაწყების წინ ქრომოსომა ორმაგდება (იხ.განყ.14.3). გარკვეული დროის განმავლობაში ახლად წარმოქმნილი ორი ასლი ერთმანეთთან დაკავშირებული რჩება სტრუქტურით, რომელსაც ცენტრომერა (სურ.16.11) ეწოდება. შესაბამისად, თითოეული ბირთვი, რომელშიც მეიოზი იწყება, შეიცავს პოპულაციური ქრომოსომების ოთხი კომპლექტის ტოლ რაოდენობას. ამიტომაც, ბირთვებში ერთჯერადი (ჰაპლოიდური) ქრომოსომული კომპლექტის მქონე გამეტების მისაღებად საჭიროა ბირთვის ორჯერ ისე გაყოფა, რომ თითოეული გაყოფისას ქრომოსომების რიცხვი ორჯერ შემცირდეს. ბირთვის ამ გაყოფას ასეც ეწოდება: პირველი მეიოზური გაყოფა და მეორე მეიოზური გაყოფა.

მეიოზის პროცესი განვიხილოთ ქრომოსომების ერთი წყვილის გაყოფის მაგალითზე:



1 მეიოზური გაყოფისას თითოეული ქრომოსომა თავისი პოპულაციის პირდაპირ დგება. რადგანაც ამ დროისათვის ქრომოსომები უკვე გაორმაგებულია, მიიღება ქრომოსომების ჯგუფი, თითოეული შეიცავს 4 ქრომოსომის ექვივალენტს (სურ.16.12). ასე ერთმანეთის პირისპირ მდგომი პოპულაციური ქრომოსომები მიემარგებიან თითისტარას შუა ნაწილს, რომელიც მიკრომილაკების სისტემას წარმოადგენს. შემდეგ პოპულაციური ქრომოსომების თითოეული წყვილის წევრები ერთმანეთს სცილდებიან და თითისტარას პოლუსებისაკენ მიემართებიან. ამრიგად, პირველი მეიოზური გაყოფის დროს ქრომოსომების კომპლექტი ორად იყოფა, რომლის

თითოეული ნახევარი შეიცავს თითო ქრომოსომას ჰომოლოგიური წყვილადან. მეორე მეიოზური გაყოფის დროს პირველი გაყოფის შემდეგ წარმოქმნილი ბირთვები ისევე იყოფა. გაორმაგებული ქრომოსომები ემაგრება თითისტარას და მათი ცენტრომერებიც იყოფა. ამრიგად, თითოეული გაორმაგებული ქრომოსომისგან მიიღება ორი ცალკეული ქრომოსომა, რომლებიც უჯრედის მოპირდაპირე პოლუსებისაკენ მიემართებიან. თითოეულ პოლუსთან მისული ქრომოსომებისგან იქმნება ჰაპლოიდური ბირთვი, რომელშიც ჰომოლოგიური ქრომოსომების საწყისი წყვილიდან თითო ქრომოსომა არის წარმოდგენილი.

ახლა ჩვენთვის ნათელი უნდა იყოს, თუ როგორ ხდება იმ გენების სხვადასხვა წყვილების მემკვიდრეობა, რომელთაც მენდელი შეისწავლიდა. პირველი მეიოზური გაყოფის დროს ჰომოლოგიური ქრომოსომები და, შესაბამისად, მათში ლოკალიზებული გენები, ერთმანეთს სცილდებიან (სურ.16.13). არაჰომოლოგიურ ქრომოსომებში ლოკალიზებული წყვილი გენების დამოუკიდებელი განაწილება შესაძლებელი ხდება იმიტომ, რომ ქრომოსომების სხვადასხვა წყვილს პირველი მეიოზური გაყოფის წინ სხვადასხვა უჯრედში სხვადასხვანაირად განლაგება შეუძლია (სურ.16.14).

მეიოზის პროცესში ქრომოსომების (და მათში ლოკალიზებული გენების) დამოუკიდებელი განაწილება მრავალი სხვადასხვა გენეტიკური კომბინაციის წარმოქმნის საშუალებას იძლევა. ამის გარდა, ახალი კომბინაციები განაყოფიერების დროსაც მიიღება, როდესაც ორი გამეტის ქრომოსომული კომპლექტების შერწყმა და ახალი ინდივიდის პირველი დიპლოიდური ბირთვის წარმოქმნა ხდება. ამრიგად, მეიოზის მნიშვნელობა მარტო იმაში კი არ მდგომარეობს, რომ ის თავიდან გვაცილებს ყოველ ახალ თაობაში გენეტიკური მასალის გაორმაგებას, არამედ იმაშიც, რომ უზრუნველყოფს ახალი გენური კომბინაციების წარმოქმნას.

16.7. შექცეულობა, კრისინგიოვერი და გენეტიკური რუქების შედგენა

მენდელის შრომები უცნობი იყო თითქმის 1900 წლამდე, ამ დროს ისინი ბიოლოგებმა „ხელახლა აღმოაჩინეს“ სამ სხვადასხვა ევროპულ ქვეყანაში. მეცნიერებმა ნახეს, რომ მენდელის მიერ მიღებული შედეგები შესანიშნავად ესადაგებოდა ქრომოსომების ქცევას მეიოზის პროცესში. ეს უკანასკნელი კი მენდელის შრომების გამოქვეყნებიდან 34 წლის შემდეგ იქნა შესწავლილი. მკვლევარები სწრაფად მივიდნენ დასკვნამდე, რომ მენდელის მიერ შესწავლილი გენები ქრომოსომებში იყვნენ ლოკალიზებული.

სხვადასხვა ორგანიზმზე მენდელის შეხედულებების შემოწმებისას გენეტიკოსებმა აღმოაჩინეს, რომ არსებობს გენების ისეთი წყვილები, რომელთა დამემკვიდრება არ ემორჩილება მენდელის მიერ დადგენილ შეფარდებებს. მენდელმა ნახა, რომ ორი წყვილი გენის მიხედვით ჰეტეროზიგოტური ინდივიდები (მაგალითად, AaBb) გამეტების 4 ჯგუფს წარმოქმნიან: AB, Ab, aB და ab. ეს გამეტები თანაბარი სიხშირით წარმოიქმნებიან. ამან საშუალება მისცა მას ჩამოეყალიბებინა კანონი, რომელსაც ამჟამად გენების სხვადასხვა წყვილის დამოუკიდებელი განაწილების კანონი ეწოდება (იხ. განყ.16.4.). მაგრამ მოკვიანებით მკვლევარებმა აღმოაჩინეს გენების მრავალი წყვილი, რომლებიც ამ კანონს არ ექვემდებარებიან: შთამომავლობაში ამ კომბინაციებიდან ორი უფრო ხშირად გამოვლინდებოდა, ვიდრე დანარჩენი 2 კომბინაცია.

**მეიოზის პირველი
გაყოფა**

**მეიოზის მეორე
გაყოფა**

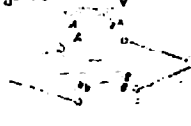
პროფაზა I



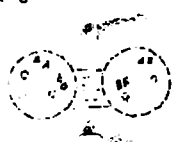
მეტაფაზა I



ანაფაზა I



ტელოფაზა I



პროფაზა II



მეტაფაზა II



ანაფაზა II



ტელოფაზა II

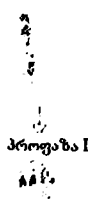


16.12. მეიოზის მთავარი ფაზები. სხვადასხვა ორგანიზმში ეს პროცესი დეტალებით განსხვავდება. I მეიოზური გაყოფისას კომპლოგიური ქრომოსომები ერთმანეთს სცილდებიან. პროფაზა I - გაორმაგებული ქრომოსომები ერწყმინან (კონუგირდებიან) თავიანთ კომპლოგიურ ქრომოსომებს. ეს კონუგაცია აუცილებელია შემდგომი ფაზებისათვის, რომლებშიც თითოეული კომპლოგიური წყვილის წევრები სცილდებიან ერთმანეთს ისე, რომ წარმოქმნილი ბირთვები თითოეული წყვილი კომპლოგიური ქრომოსომიდან თითო ქრომოსომას იღებენ. მეტაფაზა I - შერწყმული კომპლოგიები ემაგრებიან მიკრომილაკებს თითისტარას სხვადასხვა მხარეზე (ბირთვის გარსი ქრება). ანაფაზა I. კომპლოგიური

ქრომოსომები სცილდებიან ერთმანეთს და თითისტარას მოპირდაპირე პოლუსებისაკენ მიდიან. ტელოფაზა I. ქრომოსომები ორ ჯგუფად იკრიბებიან. ზოგიერთ სახეობაში ხელახლა წარმოიქმნება ბირთვის გარსი და ციტოპლაზმა იყოფა. სხვებში ნელ-ნელა, ბირთვის გარსის წარმოქმნის გარეშე, იწყება მეტაფაზა II.

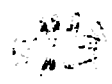
II მეიოზური გაყოფისას თითოეული ბირთვი ისევ იყოფა და მიიღება ჰაპლოიდური ბირთვები. ცენტრომერის გაყოფის შემდეგ თითოეული გაორმაგებული ქრომოსომიდან მიიღება ორი განცალკევებული ქრომოსომა. პროფაზა II - გაორმაგებული ქრომოსომები ეშვადებიან მომდევნო გაყოფისათვის. მეტაფაზა II - ისევ წარმოიქმნება თითისტარა. გაორმაგებული ქრომოსომები მიემართებიან ეკვატორისაკენ და მიკრომილაკებს ემაგრებიან. შემდეგ იყოფა ცენტრომერები ისევე, როგორც მეტაფაზა I-ში და თითოეული გაორმაგებული ქრომოსომა იქცევა ორ ცალკეულ ქრომოსომად. ანაფაზა II - ახლანაირ ერთმანეთისგან გამოცალკევებული ქრომოსომები თითისტარას მოპირდაპირე პოლუსებისაკენ მიემართებიან. ტელოფაზა II - მიიღება 4 ჰაპლოიდური ბირთვი. ისინი საწყისი ბირთვის (რომელშიც მეიოზური გაყოფა დაიწყო) ქრომოსომული წყვილიდან თითო ქრომოსომას შეიცავენ.

A და a გენის შემცველი პომოლოგიური ქრომოსომები



პროფაზა I

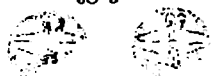
მეტაფაზა I



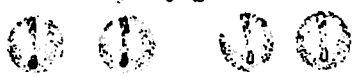
ტელოფაზა I



მეტაფაზა II



მეიოზი მთავრდება



სურ. 16.13. დათიშვის კანონი გამოხატავს მეიოზის დროს მიმდინარე მოვლენებს. პომოლოგიური ქრომოსომები ერთმანეთს სცილდებიან ისე, რომ ქრომოსომების თითოეული წყვილდან თითო წევრი ცალკე გამეტაში ხვდება. ორი წყვილი გენი (ამ შემთხვევაში A და a, რომლებიც ორ პომოლოგიურ ქრომოსომაში იმყოფებოდა, საბოლოო ეტაპში ცალკეულ გამეტაში უნდა მოხდეს.

Aa და Bb წყვილი გენების შემცველ ქრომოსომებს მეტაფაზაში შეუძლიათ დალაგდნენ ორი სხვადასხვა წესით



სურ. 16.14. დამოუკიდებელი განაწილება შესაძლებელი ხდება იმიტომ, რომ პომოლოგიური ქრომოსომების კომპლექტს ნებისმიერ მდგომარეობაში შეუძლია განლაგება მანამ, სანამ პომოლოგიური ქრომოსომები დაცილდებიან ერთმანეთს I მეიოზური გაფოფის დროს. აქ გამოსახულია ორი წყვილი გენის მიხედვით პეტეროზიგოტური (Aa და Bb) უჯრედი. ნაჩვენებია, რომ პომოლოგიური ქრომოსომების ორ წყვილს, ერთმანეთისგან დაცილებამდე, შეუძლიათ ორი სხვადასხვა სახით განლაგება. ეს ისე ხდება, რომ მეიოზის შემდეგ წარმოქმნილ გამეტებში შესაძლებელია გენების 4 განსხვავებული კომბინაციის მიღება.

როგორ შეიძლება ამის ახსნა? თუ ისევ 16.14 სურათს მივმართავთ, უნახავთ, რომ A და a გენები ნაწილდებიან B და b გენებისგან დამოუკიდებლად, რადგანაც გენების ეს ორი წყვილი პომოლოგიური ქრომოსომების სხვადასხვა წყვილში მდებარეობს. მაგრამ ჩვენ ვიცით (იხ. სურ. 16.10), რომ თითოეული ქრომოსომა მრავალ გენს შეიცავს. როგორ გადაეცემა შთამომავლობას ერთ ქრომოსომაში მოთავსებული ორი წყვილი გენი? უნდა მოველოდეთ, რომ მეიოზის პროცესში ისინი დამოუკიდებლად არ განაწილდებიან ისევე, როგორც ამას სხვადასხვა ქრომოსომაში მყოფი გენების შემთხვევაში აქვს ადგილი. ერთ ქრომოსომაში ლოკალიზებული

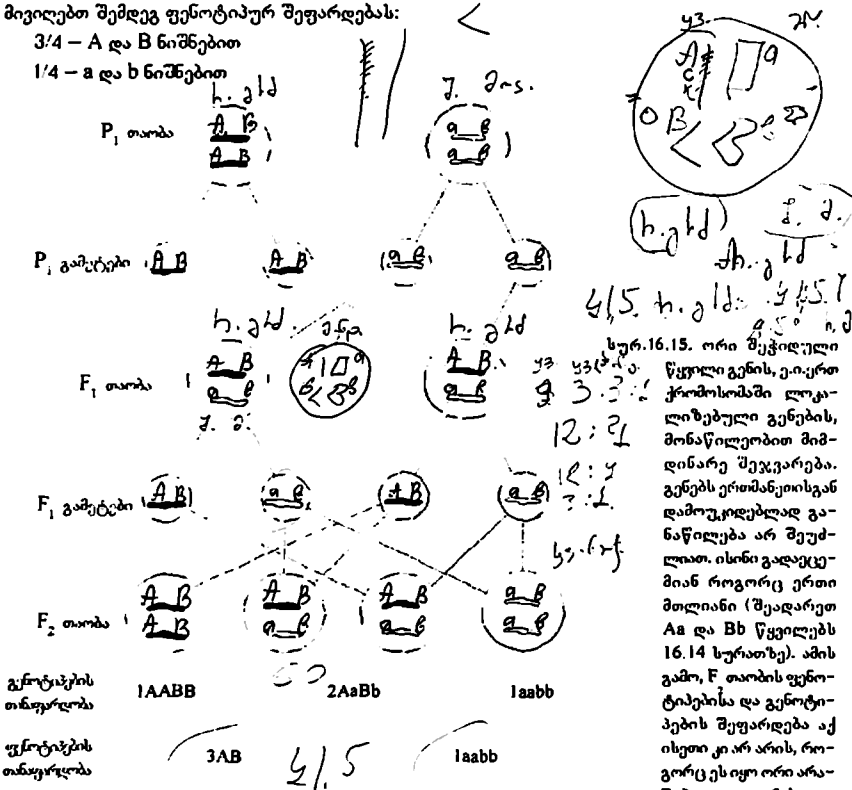
12. კვება, კარმა, პირველობა, ტ.2

გენები ყოველთვის ერთად იქნებიან და საბოლოოდ ერთი და იმავე ჰაპლოიდურ ბირთვში მოხვდებიან. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, ისინი ისე მოიქცევიან, თითქოს ერთმანეთთან იყვნენ შეჭიდულები.

განვიხილოთ გენეტიკური შეჭიდულობის ერთი მაგალითი. წარმოვიდგინოთ, რომ A და B გენები ლოკალიზებულია ჰომოლოგიური ქრომოსომების ერთსა და იმავე წყვილში (სურ.16.15). ორივე ნიშნის მიხედვით ჰომოზიგოტური დომინანტური გენების მქონე ინდივიდი (AABB) შეჯვარდით რეცესიული გენების მქონე ჰომოზიგოტურ ინდივიდთან (aabb). შეჯვარების შედეგად მიღებულ ყველა ჰიბრიდს AaBb გენოტიპი ექნება, რადგანაც ერთ შშობელს ექნება AB გენების შემცველი გამეტები, მეორეს – ab-სი. ამ ჰიბრიდების ერთმანეთთან შეჯვარებისას მივიღებთ შემდეგ ფენოტიპურ შეფარდებას:

3/4 – A და B ნიშნებით

1/4 – a და b ნიშნებით



გენოტიპის თანაფარდობა

ფენოტიპის თანაფარდობა

გასაღები:

<u>A B</u>	A და B გენის შემცველი ქრომოსომები
<u>a b</u>	a და b გენის შემცველი ქრომოსომები

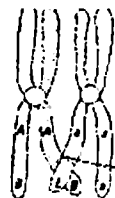
სურ.16.15. ორი შეჭიდული წყვილი გენის, ე.ი. ერთ ქრომოსომში ლოკალიზებული გენების, მონაწილეობით მიმდინარე შეჯვარება. გენებს ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად განაწილება არ შეუძლიათ. ისინი გადაცემიან როგორც ერთი მთლიანი (შეადარეთ Aa და Bb წყვილებს 16.14 სურათზე). ამის გამო, F თაობის ფენოტიპებისა და გენოტიპების შეფარდება აქ ისეთი კი არ არის, როგორც ეს იყო ორი არა-შეჭიდული გენის დიჰიბრიდული შეჯვარების დროს, არამედ ისეთი, როგორიც დამახასიათებელია მონოჰიბრიდული შეჯვარებისთვის.

ამრიგად, დიჰიბრიდული შეჯვარებისათვის დამახასიათებელი შეფარდების 9:3:3:1- ნაცულად (იხ. განყ. 16.4), მივიღეთ შეფარდება 3:1, რომელიც მონოჰიბრიდული შეჯვარებისათვის არის დამახასიათებელი (იხ. განყ. 16.3). თუ განვიხილავთ F_2 თაობის ინდივიდებში წარმოქმნილ გამეტებს, ვნახათ, რომ რადგანაც A და B გენები შეჭიდულეობა (ე.ი. ერთ ქრომოსომაშია ლოკალიზებული), და ასევე შეჭიდულეობა a და b გენებიც, Aa და Bb წყვილების დამოუკიდებელი განაწილება შეუძლებელია. A და B გენები მათ მატარებელ ქრომოსომასთან ერთად ერთ გამეტაში მოხვებიან, a და b გენები კი, ამ ქრომოსომის ჰომოლოგიურ ქრომოსომასთან ერთად - მეორე გამეტაში (სურ. 16.15).

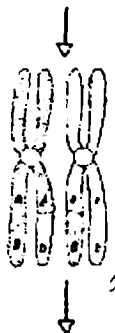
ამრიგად, შეჭიდულობის გამოვლენა შესაძლებელია F_2 თაობის ფენოტიპური შეფარდების მიხედვით. თუ ის ემთხვევა მენდელისეული დიჰიბრიდული შეჯვარების დროს მიღებულ ფენოტიპურ შეფარდებას 9:3:3:1, ეს ნიშნავს, რომ მოცემული გენები ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად მემკვიდრეობენ და სავარაუდოა, რომ ისინი სხვადასხვა წყვილ ქრომოსომებში მდებარეობენ (გამონაკლისი ხდება კროსინგოვერის გამო. იხ. ქვემოთ). თუ ამის მაგივრად მივიღებთ შეფარდებას 3:1, მაშინ ცხადია, რომ ეს გენები შეჭიდულია.

მეოზის პროცესში ჰომოლოგიური ქრომოსომები, სანამ სხვადასხვა ბირთვებში განაწილდებოდნენ, ერთმანეთის პირდაპირ განლაგდებიან. ამ დროს ჰომოლოგიური ქრომოსომების მონაკვეთებს შეუძლიათ გადაჯვარედინება, თავისი ქრომოსომისგან მოწყვეტა და მეორესთან მიერთება. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, ქრომოსომებს შეუძლიათ დნმ-ის მონაკვეთების გაცვლა. ამ მოვლენას კროსინგოვერი ეწოდება. კროსინგოვერის შედეგად გენები გადაჯვარედინება ისე, რომ ადრე შეჭიდული გენები ახლა სხვადასხვა ქრომოსომებში მოხვებიან (სურ. 16.16).

როგორც ცნობილია, კროსინგოვერი თანაბარი ალბათობით შეიძლება მოხდეს ქრომოსომათა ნებისმიერ წყვილში. აქედან გამომდინარე, რაც უფრო ახლოსაა განლაგებული მოცემულ ქრომოსომაში ორი გენი, მით უფრო ნაკლებია მათ შორის კროსინგოვერის შესაძლებლობა. თუ გენები ახლოსაა ერთმანეთთან, მაშინ ისინი ერთ ქრომოსომაში დარჩებიან და უფრო ხშირად მემკვიდრეობით გადაეცემიან ერთად და არა ცალ-ცალკე. გენებს შორის მანძილის გაზრდით სულ უფრო მატულობს იმის ალბათობა, რომ კროსინგოვერი მათ გაუფხვს და ისინი სხვადასხვა ჰომოლოგიურ ქრომოსომაში მოხვებიან.



ერთი ქრომოსომიდან ფრაგმენტები წყდება და უერთდება მეორეს



სურ. 16.16 კროსინგოვერი მიმდინარეობს მეოზის დასაწყისში, როცა გავრმაგებული ჰომოლოგიური ქრომოსომები ერთმანეთის პირისპირდებიან. ამ დროს ჰომოლოგიური ქრომოსომების მონაკვეთები გადაჯვარედინდებიან, მოწყვებიან და შემდეგ მეორე ქრომოსომას მიემაგრებიან. საბოლოო ეტაპში მიიღება 4 ქრომოსომა გენების განსხვავებული კომბინაციებით. აქ დასახელებული „რეკომბინირებული“ ქრომოსომები გენთა ახალი კომბინაციების (Ab და aB) მატარებელია, რომლებიც საწყის ქრომოსომებში არ იყო (AB და ab).

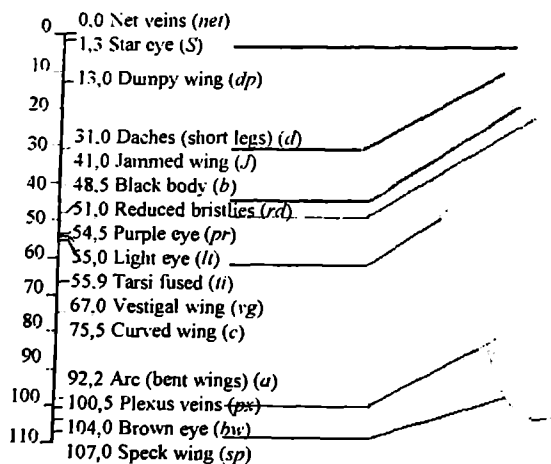


რეკომბინანტები

ერთ ქრომოსომაში ლოკალიზებულ ორ გენს შორის შეფარდებითი მანძილის განსაზღვრა შესაძლებელია დიდი რაოდენობით შეჯვარების ჩატარებისას. ამასთან დათვლილი უნდა იყოს ცალკეული ფენოტიპის მქონე შთამომავლების რიცხვი და გამოითვალოს გენების კროსოვერული კომბინაციების მქონე შთამომავლების პროცენტი. (ზემოთ განხილულ მაგალითში დაგვიჯირდებოდა იმ შთამომავლების პროცენტის გამოთვლა, რომელთა ფენოტიპი მიუთითებს იმაზე, რომ მათ შობილებს გამეტებით მიიღეს Ab და aB ქრომოსომა ნაცეკლად მათ სომატურ უჯრედებში არსებული AB და ab ქრომოსომებისა).

დიდი რაოდენობით შეჯვარების შემდეგ მიღებული მონაცემების საფუძველზე გენეტიკოსებს სხვადასხვა ორგანიზმების გენეტიკური რუკების აგების შესაძლებლობა ეძლევათ. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, მათ შესაძლებლობა ეძლევათ განსაზღვრონ, თუ რომელ ქრომოსომაში რომელი გენია ლოკალიზებული და დაახლოებით რა მანძილზეა ეს გენები ერთმანეთისაგან დაცილებული (სურ. 16.17.).

ამჟამად შედგენილია ხილის ბუზის (*Drosophila*), ლაბორატორიული თავვის, პურის ობის (*Neurospora*), აგრეთვე ზოგიერთი ბაქტერიის და ვირუსის გენეტიკური რუკები. ეს ის ორგანიზმებია, რომლებიც უფრო მეტად გამოიყენებან გენეტიკური ექსპერიმენტებისათვის (ქრომოსომულ რუკას, რომელიც 16.17 სურათზეა ნაჩვენები, სწორი ხაზის ფორმა აქვს, რადგანაც ეუკარიოტებს ქრომოსომებიც სწორხაზობრივი აქვთ. შეგახსენებთ, რომ ბაქტერიული უჯრედების დნმ-ის მილეკულა წრიული ფორმისაა (იხ. სურ. 14. 12). ამიტომაც მათი გენეტიკური რუკებიც რგოლური ფორმისაა).



სურ. 16.17. დროზოფილას (*Drosophila melanogaster*) ერთ-ერთი ქრომოსომის გენეტიკური რუკა. ნაჩვენებია მოცემულ წერტილებში იდენტიფიცირებული მუტანტური გენების განლაგება. ამ მუტაციებიდან ორი — *ქროზი*, *star eye* და *Jammed wing* — დომინანტურია, მაგრამ მათი დიდი ნაწილი რეცესიულია. რუკაში გენების განლაგება დაკავშირებული არ არის ბუზის ორგანიზმის შესაბამისი მორფოლოგიური სტრუქტურების განლაგებასთან, თუმცა თეალსაინოების მიზნით ამ სტრუქტურებისა კენ მიმავალი ხაზები ისეა გატარებული, რომ ისინი არ გადაკვეთენ ერთმანეთს.

XVI თავის მოკლე შინაარსი

მენდელის შრომები საუქუვლად დაედო გენეტიკას – მეცნიერებას, რომელიც შეისწავლის, თუ როგორ გადაეცემა შთამომავლობას გენები – მემკვიდრეობითი ნიშან-თვისებების განმსაზღვრელი ფაქტორები. მენდელმა შეძლო მემკვიდრეობის კანონზომიერებათა გამოვლენა იმის წყალობით, რომ მან სწორად შეარჩია საცდელი ობიექტი (ბარდა), ასობით მცენარის გამოყენებით ჩაატარა მრავალრიცხოვანი შეჯვარება და ბოლოს, არა მარტო აღწერა მიღებული შედეგები, არამედ მათმატიკურადაც დაამუშავა. თუ მოვიხზმართ თანამედროვე ტერმინოლოგიას, მენდელის დასკვნები შემდეგი სახით შეიძლება ჩამოვყავალობთ:

1. მემკვიდრეობითი ნიშან-თვისებები განისაზღვრება ცალკეული ერთეულებით – გენებით, რომლებიც მშობლებიდან შეიღებს გამრავლების პროცესში გადაეცემათ.

2. ნებისმიერი მცენარის თითოეული მემკვიდრეობითი ნიშან-თვისება წყვილი გენით განისაზღვრება.

3. ამა თუ იმ ნიშან-თვისების განმსაზღვრელი გენები შესაძლებელია ორ განსხვავებულ ფორმაში იმყოფებოდნენ: ჰეტეროზიგოტურ ინდივიდში ერთ-ერთმა მათგანმა (დომინანტურმა) შეიძლება შენიღბოს მეორის (რეცესიულის) არსებობა. ეს არის დომინირების კანონი.

4. მეიოზის დროს გენების თითოეული წყვილის ორი წევრი ერთმანეთს სცილდება და ორ სხვადასხვა უჯრედში ნაწილდება (დათიშვის კანონი).

5. განაყოფიერების დროს ყოველი მემკვიდრე გამეტების საშუალებით იღებს ნიშან-თვისების განმსაზღვრელ თითო გენს – ერთს თითოეული მშობლისაგან.

6. თითოეული მშობლისაგან მიღებული გენი ინახება მის შთამომავლობაში და შეიძლება იგი უფრო დაშორებულ თაობებში გამომჟღავნდეს. შუალედურ თაობებში (ზოგიერთ ინდივიდში) ეს გენი შეიძლება ვერ გამოვლინდეს, რადგან შენიღბული იყოს დომინანტური გენის მოქმედების გამო.

7. თუ წყვილი გენები ლოკალიზებულია ჰომოლოგიური ქრომოსომების სხვადასხვა წყვილში, ისინი მეიოზის დროს მემკვიდრეობენ გენების სხვა წყვილისაგან დამოუკიდებლად (დამოუკიდებელი განაწილების კანონი).

მემკვიდრეობითი ნიშან-თვისებების ქცევა შეჯვარების დროს ჩატარებულ ცდებში ეთანხმება ქრომოსომების ქცევას მეიოზის დროს. ეს იმის დადასტურებაა, რომ გენები ქრომოსომებშია ლოკალიზებული. ერთ ქრომოსომშია ლოკალიზებული გენები შეჭიდულია და მემკვიდრეობით ერთად გადაეცემა. გამონაკლისია ის შემთხვევები, როდესაც ისინი ერთმანეთს სცილდებიან მეიოზის პროცესში მომხდარი კროსინგოვერის დროს.

შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა

1. ადამიანში ფენილთიოზარდოვანას გემოს აღქმის უნარი დომინანტური ნიშანია. “გემოს შეგრძნების უნარის მქონე“ ინდივიდები (TT ან Tt) ძალიან მწარედ აღიქვამენ ძლიერ განზავებულ ხსნარსაც კი, რომელიც სულ მცირე რაოდენობით შეიცავს ფენილ-თიოზარდოვანას. ის ინდივიდები კი, რომლებიც ვერ შეიგრძნობენ ამ ნივთიერების გემოს, ვერ გრძობენ ძალიან ძლიერი კონცენტრაციის ხსნარის გემოსაც კი.

ა) როგორია მეუღლეთა გენოტიპები, თუ ისინი შეიგრძნობენ ფენილთიოზარდოვანას გემოს, მათი სამი შვილიდან ერთ-ერთი კი ამ ნივთიერების გემოს ვერ გრძობს?

ბ) როგორ ფენოტიპებს და როგორი შეფარდებით უნდა მოველოდეთ შემდეგი შეჯვარებით მიღებულ თაობაში:

ჰეტეროზიგოტა X ჰეტეროზიგოტასთან?

ჰომოზიგოტური „გემოს შეგრძნები“ ინდივიდი X ჰეტეროზიგოტასთან?

ჰეტეროზიგოტა X „გემოს შეგრძნების არმქონე“ ინდივიდთან?

2. ორი ნორმალური ფრთებიანი დროზოფილას შეჯვარებისას თაობის 123 ინდივიდიდან 88-ს ჰქონდა ნორმალური ფრთები, ხოლო 35-ს - დამოკლებული.
- როგორ მემკვიდრეობენ ნორმალური და დამოკლებული ფრთების გენები?
 - როგორი იყო ამ შეჯვარებისას მშობელთა გენოტიპები?
3. თუ დამოკლებულ ფრთებიან მდედრს (იხ.მე-2 პუნქტი) შევაჯვარებთ თავის „მამასთან“, მაშინ მიღებული თაობის 80 ინდივიდიდან რამდენ ბუზს ექნება ნორმალური ფრთები?
4. ზოგიერთი სახეობის მცენარეში არის ალბინიზმის რეცესიული გენი. ამ გენის მიხედვით ჰომოზიგოტურ მცენარეებს (თეთრებს) ქლოროფილის სინთეზის უნარი არ გააჩნიათ. თუ ალბინიზმის ნიშნის მიხედვით ჰეტეროზიგოტურ თამბაქოში თვითდამტკევერა მოხდება და მისი 500 თესლი გაიღებდა, მაშინ როგორი იქნება:
- მშობლიური ფორმის გენოტიპის მქონე თაობის ინდივიდების მოსალოდნელი რიცხვი.
 - თეთრი ინდივიდების მოსალოდნელი რიცხვი.
5. თაგვი - სნიფლის, რომელსაც აქვს ნორმალური შეფერილობის ბეწვი, ალბინოს თაგვთან - ესმერალდასთან შეჯვარების შედეგად დაიბადა 6 თაგვი ბეწვის ნორმალური შეფერვით. შემდეგ ესმერალდა შეაჯვარეს ვისკერსთან, რომელსაც სნიფლის მაგვარი შეფერვის ბეწვი ჰქონდა. ამ შემთხვევაში ზოგიერთი წრწუნა თეთრი აღმოჩნდა.
- როგორია სნიფლის, ვისკერის და ესმერალდას გენოტიპები?
 - როგორი ფენოტიპური შეფარდება არის მოსალოდნელი, თუ შევაჯვარებთ პირველი თაობიდან მიღებულ მამრს და მეორე თაობიდან მიღებულ ნორმალური შეფერვის ბეწვის მქონე მდედრს?
 - როგორ შედეგს უნდა მოველოდეთ პირველი თაობის მამრის და მეორე თაობის ალბინოსი მდედრის შეჯვარებისას?
6. ირლანდიური სეტერის პატრონმა გადაწყვიტა აიკის ხედი ძაღლის შეჯვარება. მაგრამ მისთვის ცნობილია, რომ მისი ძაღლის წინაპრებს ჰქონდათ რეცესიული გენი, რომელიც თვალის ბადურის ატროფიას იწვევს. ჰომოზიგოტურ მდგომარეობაში ეს გენი სიბრძნის გამოძევება. სანამ თავის ძაღლს შეაჯვარებდეს, პატრონს სურს დარწმუნდეს, რომ დედალი ძაღლი ამ გენის მატარებელი არ არის. როგორ შეუძლია მას ამის გაკეთება?
7. კატებში ბალნის შავი შეფერვის გენი (B) დომინირებს წითელი შეფერვის გენზე (b), მოკლე ბეწვის გენი (S) დომინირებს გრძელი ბეწვის გენზე (s).
- შეადგინეთ პენტის ცხრილი თითოეული შეჯვარებისთვის:
 - BbSs X Bbss
 - BBsS X bbss
 - BbSs X bbss
 - რამდენ შავი ფერის და მოკლე ბეწვის მქონე ინდივიდს უნდა მოველოდეთ მე-2 შეჯვარებისას?
8. ჰომოდორში ღეროს მწვაშული შეფერვის გენი (A) დომინირებს მწვანე ფერის გენზე (a), ნაყოფის წითელი ფერის გენი (R) დომინირებს ყვითელი ფერის გენზე (r). ამ ნიშნების მიხედვით ჰეტეროზიგოტური ორი მცენარის შეჯვარებისას რა რაოდენობით მიიღება მცენარეები:
- მწვაშული ღეროთი და ყვითელი ნაყოფებით
 - მწვანე ღეროთი და წითელი ნაყოფებით
 - მწვაშული ღეროთი და წითელი ნაყოფებით
9. მე-8 პუნქტში მიმდინარე შეჯვარების შედეგად მიღებული და დათესილია 640 თესლი. განსაზღვრეთ შემდეგი მცენარეების მოსალოდნელი რაოდენობა:
- წითელი ნაყოფებით
 - მწვანე ღეროთი
 - მწვანე ღეროთი და ყვითელი ნაყოფებით

10. თუ მე-8 პუნქტში აღნიშნულ ერთ-ერთ მშობლიურ მცენარეს შევაჯვარებთ მწვანე ღეროიან და ნაყოფის წითელი ფერის მიხედვით ჰეტეროზიგოტურ მცენარესთან, მაშინ როგორი იქნება შთამომავლობაში შემდეგი მცენარეების რაოდენობა:
- მეწამული ღეროით და ყვითელი ნაყოფებით
 - მწვანე ღეროით და ყვითელი ნაყოფებით
 - მწვანე ღეროით და წითელი ნაყოფებით
11. ბეწვის ნორმალური შეფერვის ვეფხეების (რომლებსაც ზოლები განივად ჰქონდათ) პატრონმა შეიძინა ვეფხვი, რომელსაც ზოლები სიგრძეზე ჰქონდა. ამ უკანასკნელის ერთ-ერთ ვეფხვთან შეჯვარების შედეგად დაბადა ვეფხვები, რომელთაც „კვადრატული“ შეფერვის ბეწვი გააჩნდა. ამ „კვადრატული“ ბეწვის მქონე ვეფხვების ერთმანეთთან შეჯვარების შემდეგ მიღებულ თაობაში ჭარბობდნენ „კვადრატული“ ცხოველები, მაგრამ რამდენიმე ცხოველი იყო სიგრძივი და განივი ზოლებით. შეადგინეთ ჩატარებული შეჯვარებების სქემა და განსაზღვრეთ ყველა მიღებული შეფერვის გენოტიპი.
12. ძროხებში ბეწვის წითელი (RR) და თეთრი (R'R') შეფერვის გენები კოდომინანტურებია. ჰეტეროზიგოტ ინდივიდებში (RR') ბეწვი წითელი ფერისაა და თეთრი ბეწვები აქვს შერეული წითლად ჭრელი. ერთ-ერთ ფერმას ძროხების სამი ჯოგი ჰყავდა: თეთრები ძველდნენ სამყურან მინდორზე, წითლები – ირჩვიან მინდორზე, ხოლო წითლად ჭრელი – სიმინდიან მინდორზე. ფერმარს ჰყავდა აგრეთვე წითლად ჭრელი ბუღა – ფერდინანდი, რომელიც სამივე მინდორის ძროხებს ემსახურებოდა.
- როგორი ფერის ხბოებს უნდა ველოდეთ თითოეულ ჯოგში და რა შეფარდებით?
 - ფერდინანდი მოკვდა ფუტკრის კბენის შემდეგ და ფერმერმა თავისი საყვარელი ბუღას მოსაგონებლად გადაწყვიტა შეექმნა ჯოგი, რომელშიც მხოლოდ წითლად ჭრელი ძროხები იქნებოდნენ. მან გაიღო ყველა წითელი და თეთრი ძროხა და გადაწყვიტა ყველა წითელი და თეთრი ხბოს გაყიდვა, რომლებიც მომავალში დაიბადებოდნენ. როგორი ფერის ბუღა უნდა ყვოდა მას ფერდინანდის მაგივრად, რომ რაც შეიძლება ბევრი ხბო გაეყიდა?
13. ქათმებში მუხულოს ფორმის ბიბილო (P) დომინირებს მარტივი ფორმის ბიბილოზე (p), შავი (B) და თეთრი (B') შეფერვის გენებში კი შეიძინევა არასრული დომინირება. BB' გენოტიპის მქონე ინდივიდებს აქვთ „ცისფერი“ შეფერილობა. თუ შევაჯვარებთ ორივე ნიშნის მიხედვით ჰეტეროზიგოტურ ქათმებს, შთამომავლობის რა ნაწილს ექნება:
- მარტივი ფორმის ბიბილო?
 - ცისფერი შეფერილობა?
 - თეთრი შეფერილობა?
 - თეთრი შეფერილობა და მუხულოს ფორმის ბიბილო?
 - ცისფერი შეფერილობა და მარტივი ბიბილო?
14. სხეულის მუქი შეფერილობის და ჩანასახოვანი ფრთების რეცესიული გენების მიხედვით ჰეტეროზიგოტური მდედრი დროზოფილა შეაჯვარეს მუქსხეულიან და ჩანასახოვან ფრთებიან მამრ დროზოფილას. ამ შეჯვარების შედეგად მიიღეს:
- 249 ბუზი მუქი სხეულით და ნორმალური ფრთებით.
 20 ბუზი სხეულის ნორმალური შეფერილობით და ნორმალური ფრთებით.
 15 ბუზი მუქი სხეულით და ჩანასახოვანი ფრთებით.
 216 ბუზი სხეულის ნორმალური შეფერილობით და ჩანასახოვანი ფრთებით.
- ამ მონაცემებიდან გამომდინარე გენების ამ ორ წყვილს შეჭიდულად თვლით თუ არა? თუ თქვენ ჩათვლით, რომ ისინი შეჭიდულია, მაშინ მიუთითეთ, ქვემოთ მოყვანილი ორი დებულებიდან რომელი ასახავს სწორად მათ შეჭიდულობას მდედრ დროზოფილაში:
- სხეულის მუქი შეფერილობისა და ჩანასახოვანი ფრთების გენები ერთ ქრომოსომაშია, ნორმალური შეფერილობის და ნორმალური ფრთების გენები – მის ჰომოლოგში. მეიოზის დროს მოხდა კროსინგოვერები.

ბ) სხეულის მუქი შეფერილობის და ნორმალური ფრთების გენები ერთ ქრომოსომაშია, 'სხეულის ნორმალური შეფერილობის და ჩანასახოვანი ფრთების გენები – მის პომოლოგში. მეიოზის დროს მოხდა კროსინგოვერები.

15. დროზოფილაში თვალის წითელი ფერის გენი დომინირებს მეწამული შეფერილობის გენზე, გრძელი ფრთების გენი კი – დამოკლებული ფრთების გენზე. ორივე ნიშნის მიხედვით ჰეტეროზიგოტური მდედრი დროზოფილა შეაჯვარეს მეწამული ფერის თვალებიან და დამოკლებულფრთებიან მამრ დროზოფილას. F თაობაში მიიღეს:

109 ბუზი წითელი თვალებით და გრძელი ფრთებით.

114 ბუზი წითელი თვალებით და დამოკლებული ფრთებით.

122 ბუზი მეწამული ფერის თვალებით და გრძელი ფრთებით.

116 ბუზი მეწამული ფერის თვალებით და დამოკლებული ფრთებით.

ამ მონაცემებიდან გამომდინარე, თქვენ ამ ორ წყვილ გენს შეჭიდულად თვლით თუ არა? თუ თქვენ დაუშვით, რომ ისინი შეჭიდულებია, მაშინ მიუთითეთ, ქვემოთ მოყვანილი ორი მტკიცებიდან რომელი აღწერს სწორად მათ შეჭიდულობას მდედრ დროზოფილაში:

ა) წითელი თვალების და გრძელი ფრთების გენები ერთ ქრომოსომაშია, თვალის მეწამული ფერის და დამოკლებული ფრთების გენები – მის პომოლოგში. მეიოზის დროს მოხდა კროსინგოვერები.

ბ) წითელი თვალის და დამოკლებული ფრთების გენები ერთ ქრომოსომაშია, თვალის მეწამული ფერის და გრძელი ფრთების გენები – მის პომოლოგში. მეიოზის დროს მოხდა კროსინგოვერები.

კითხვები განხილვისათვის

1. ანალიზური შეჯვარებისას დომინანტური ფენოტიპის და უცნობი გენოტიპის მქონე ინდივიდს აჯვარებენ ამ ნიშნის მიხედვით რეცესიულ პომოზიგოტურ ინდივიდთან. ასეთი შეჯვარება უცნობი გენოტიპის განსაზღვრის საშუალებას იძლევა. დავუშვათ, შეაჯვარეს ინდივიდები R და R- (სადაც – შეიძლება იყოს ან R, ან r). რა შედეგს მოგვცემს ანალიზური შეჯვარება, თუ საცდელ ინდივიდს: ა) აქვს გენოტიპი RR? ბ) აქვს გენოტიპი Rr? რამდენად შეიძლება ვიყოთ დარწმუნებული, რომ ამ ინდივიდს ექნება RR გენოტიპი, თუ შეჯვარების შედეგად მიღებულ შთამომავლობაში R გენოტიპის მქონე ინდივიდები არ აღმოჩნდნენ?
2. 16.14 სურათზე ჩანს, რომ ქრომოსომების ორ წყვილს პირველი გაყოფის მეტაფაზაში ორი სხვადასხვა სახით განლაგება შეუძლია. ასე რომ, ქრომოსომების სხვადასხვა წყვილში მოთავსებული ორი წყვილი გენით ჰეტეროზიგოტური ინდივიდი (AaBb) 4 ტიპის გამეტას წარმოქმნის. განვიხილოთ 3 წყვილი გენის მიხედვით ჰეტეროზიგოტური ინდივიდი (AaBbCc), სადაც გენები ქრომოსომების 3 სხვადასხვა წყვილშია მოთავსებული. რამდენი სახით შეუძლიათ ამ ქრომოსომების მეტაფაზა I-ში განლაგება და რამდენი განსხვავებული ტიპის გამეტის წარმოქმნა არის შესაძლებელი ამ დროს? რამდენი განსხვავებული ტიპის გამეტის წარმოქმნა შეუძლია ადამიანს, თუ მას 23 წყვილი ქრომოსომა გააჩნია?
3. მენდელი სწავლობდა ერთ ქრომოსომაში მოთავსებული ორი წყვილი გენის ქცევას. ამ დროს მან მიიღო შედეგები, რომელიც ახლოს იყო შეფარდებასთან 9:3:3:1. ეს შეფარდება შეესაბამება ისეთ გენებს, რომლებიც შეჭიდული არ არის. რა სიხშირით შეიძლება ამ გენების მონაწილეობა კროსინგოვერში, რომ შეჭიდულობა შეუმჩნეველი დარჩეს ისეთი სახის ცდებში, როგორსაც მენდელი ატარებდა?
4. როგორ დავრწმუნდეთ, რომ ის გენები, რომელთა შესახებაც ლაპარაკი იყო მე-3 პუნქტში, საბოლოო ჯამში მანც შეჭიდულია?

XVII თავი

მემკვიდრეობის ტიპები და გენების ექსპრესია

ამ თავის დამუშავების შემდეგ თქვენ უნდა შესძლოთ:

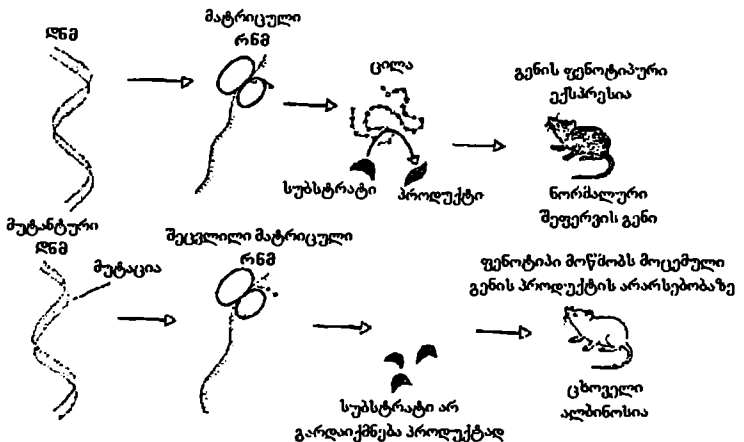
1. იმის ახსნა, თუ როგორ შეიძლება მუტაციებმა გავლენა მოახდინონ ამა თუ იმ გენის მიერ კოდირებულ ცილაზე და როგორ არის ეს დაკავშირებული მუტანტური გენების ფენოტიპურ ექსპრესიასთან?
2. შესაბამისი შეჯვარებებით ლეტალური გენებისათვის დამახასიათებელი გამოვლენა შეფარდებებით 1:2:1 და 2:1, შეჯვარების სწორი სქემების შედგენით მემკვიდრეობის ტიპების ცოდნის ილუსტრირება იმ შემთხვევებისთვის, როცა მშობლიური ინდივიდები ლეტალურ გენებს შეიცავენ.
3. იმ ადამიანების შესაძლო გენოტიპების დასახელება, რომლებსაც გააჩნიათ **A**, **B**, **AB** და **O** ჯგუფების სისხლი, ამ გენოტიპების გათვალისწინებით გენეტიკური ამოცანების ამოხსნა.
4. მრავლობითი გენების სერიებსა და პოლიგენურ ნიშნებს შორის განსხვავების ახსნა, მათი მაგალითების მოყვანა.
5. სქესის განსაზღვრის მექანიზმის მითითება (თითოეული სქესისათვის დამახასიათებელი “სასქესო ქრომოსომების” კომპლექტის დასახელება) და ძუძუმწოვრებში სქესთან შეჭიდული გენების დამემკვიდრების ტიპების დასახელება. ამ მონაცემების გამოყენებით გენეტიკური ამოცანების ამოხსნა.
6. ახსნა, თუ რაში გამოიხატება განსხვავება სქესთან შეჭიდულ ნიშნებსა და სქესზე დამოკიდებულ ნიშნებს შორის, ორივე შემთხვევის მაგალითების მოყვანა.
7. დასახელება არა ნაკლებ 5 ფაქტორისა, რომლებიც გავლენას ახდენს მოცემული ორგანიზმის განსაზღვრული გენის ექსპრესიაზე.
8. ახსნა, თუ როგორ მემკვიდრეობენ ადამიანის ისეთი დაავადებები, როგორცაა: ჰემოფილია, დალტონიზმი, ნამგლისებურუჯრედოვანი ანემია, თვა-საქისის დაავადება და ფენილკეტონურია.

გენეტიკური ინფორმაციის მატარებლები – გენები არიან ქრომოსომული დნმ-ის მონაკვეთები, რომლებშიც კოდირებულია პოლიპეტიდების ანუ ცილების ამინმჟავური თანმიმდევრობა (იხ. განყ. 5.2 და 3). მე-9 თავიდან ვიცით, რომ ცილას ნორმალური ფუნქციონირება მხოლოდ მაშინ შეუძლია, როცა მისი მოლეკულა სათანადოდ არის დახვეული. ამისათვის კი საჭირო ამინმჟავები საჭირო თანმიმდევრობით უნდა იყოს განლაგებული.

გენურ მუტაციას უწოდებენ ღწმ-ის მრავალრიცხოვანი ნუკლეოტიდებიდან ერთ-ერთის შეცვლას. ამ დროს ადგილი აქვს რიმელიმე ნუკლეოტიდის ამოვარდას, ახალი ნუკლეოტიდის ჩამატებას ან ერთი ნუკლეოტიდის მეორედ გარდაქმნას. ამას, თავის მხრივ, ამ გენით განსაზღვრული ცილის შეცვლაზე მივყავართ. მუტაციის წყალობით შესაბამისი ცილის სინთეზი საერთოდ შეუძლებელი ხდება, ანდა უჯრედი ასინთეზებს სხვა ამინმჟავური თანმიმდევრობის მქონე ცილას. ასეთი შეცვლილი ცილა თავის ფუნქციებს ნაკლებ ეფექტურად ასრულებს (სურ.17.1). მუტაციით გამოწვეული დარღვევების სერიოზულობა იმაზეა დამოკიდებული, თუ რამდენად ძლიერ არის შეცვლილი ცილა და იმაზე, თუ რამდენად მნიშვნელოვანია აღნიშნული ცილა ორგანიზმისთვის.

XX საუკუნეში ცხადი გახდა, რომ ზოგიერთი თანდაყოლილი დაავადება სხვა არაფერია, თუ არა მუტანტური გენების ფენოტიპური ექსპრესია. ამან მეცნიერები განაწყო მუტაციების ბუნების, მუტაციური გენების მემკვიდრეობის და ექსპრესიის, მათზე გარემო ფაქტორების შესაძლო მოქმედების შესასწავლად.

ამ თავში განვიხილავთ მემკვიდრეობის ზოგიერთ ტიპს, რომლებიც მენდელისთვის უცნობი დარჩა. საუბარი ძირითადად გვექნება იმ მაგალითებზე, რომლებიც ადამიანს შეეხება. ჩვენ აგრეთვე გავიგებთ, თუ მემკვიდრეობის ეს ტიპები როგორაა დაკავშირებული იმ ფაქტთან, რომ გენები ექსპრესირდებიან თავიანთი პროდუქტების, ე.ი. გენური ღწმ-ის მიერ კოდირებული ცილების მეშვეობით.



სურ.17.1. მუტაციის შედეგად რეცესიული გენის გამოჩენა. ღწმ აკოდირებს ფერმენტს, რომელიც აუცილებელია ბუნების შეფერვის პიგმენტის სინთეზისათვის. მუტაციის შედეგად სინთეზირდება ანორმალური, არააქტიური ფერმენტი. ამიტომ პიგმენტის სინთეზი აღარ ხდება და ცხოველი ალბინოსია გამოდის.

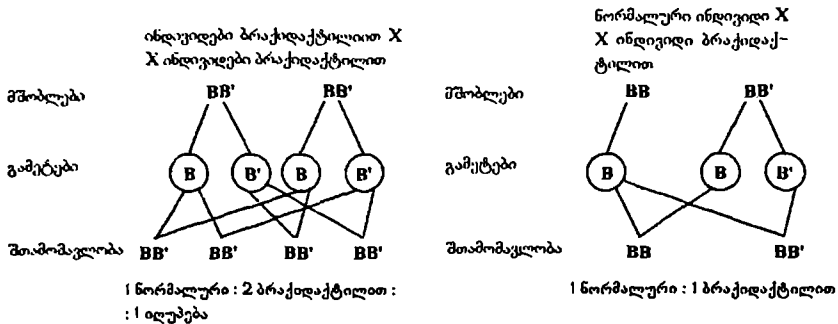
17.1. ლეტალური გენები

მე-16 თავში ჩვენ გავეცანით გენების რამდენიმე წყვილს, რომელშიც ერთი გენი დომინანტური იყო, მეორე – რეცესიული. რატომ არის ერთი გენი დომინანტური და მეორე რეცესიული? ამ კითხვაზე პასუხის გაცემა ხშირად არც ისე ადვილია, მაგრამ ხანდახან მიზეზი ნათელი ხდება. მუტანტური დნმ, რომელიც არავითარ ცილას არ აკოდირებს, ან აკოდირებს არააქტიურ ცილას, არ ექსპრესირდება, ე.ი. რეცესიული გენია. პეტეროზიგოტურ ინდივიდებში ნორმალური გენი წარმართავს ნორმალური ცილის სინთეზს, რეცესიულ გენს კი ფუნქციური ცილის სინთეზში არავითარი წვლილი არ შეაქვს. ასეთ ინდივიდს ნორმალური ფენოტიპი გააჩნია. ამ შემთხვევაში ნორმალური გენი დომინანტურია. მოკემული რეცესიული გენის მიხედვით ჰომოზიგოტურ ინდივიდებში შესაბამისი ცილა არ სინთეზირდება და ამიტომაც ამ ნიშნის ნორმალური ექსპრესია შეუძლებელია. რეცესიულ ფენოტიპს ნორმალური ნიშანი არ გააჩნია. მაგალითად, თეთრი მცენარე არის „ქლოროფილის არარსებობის“ შედეგი, ხოლო „ზრდის ნეთიერების არარსებობის“ შედეგი კი მცენარის ჯუჯა ტანია.

თუ ცილა, რომელსაც ჩვენ განვიხილავთ, მოკემული ორგანიზმის სიცოცხლისთვის აუცილებელია, ხოლო ორგანიზმს ამ ცილის აქტიური ფორმის სინთეზი არ შეუძლია, დასაღუპად არის განწირული. დომინანტურ გენს ამ შემთხვევაში ლეტალური გენი ეწოდება. არსებობს დომინანტური ლეტალური გენები, მაგრამ უმეტეს შემთხვევაში ისინი სწრაფად ელიმინირდებიან, რადგანაც მათი შემცველი ორგანიზმი კვდება. რეცესიულ ლეტალურ გენებს პეტეროზიგოტური ორგანიზმისათვის ზიანის მიყენება არ შეუძლიათ. ამიტომაც ისინი მემკვიდრეობით გადაეცემიან და პოპულაციაში ფართოდ ვრცელდებიან. გამოთვლილია, რომ ადამიანი პეტეროზიგოტურია საშუალოდ 30 ლეტალური გენის მიმართ, მაინც. ლეტალური გენების ეს რაოდენობა ბევრად აღემატება სხვა ორგანიზმების ლეტალური გენების რაოდენობას. ალბათ ამით არის განპირობებული ის ფაქტი, რომ ადამიანების ახლონათესაური ქორწინების შედეგად მემკვიდრული ლეტალური ნიშნების პროცენტი უფრო მაღალია, ვიდრე სხვა სახეობების ცხოველთა ახლონათესაური შეჯვარებისას.

თუ „ნორმალური“ გენის ერთი ასლი საჭირო ცილაზე არ აკმაყოფილებს ორგანიზმის მოთხოვნილებებს მისი ნორმალური ფუნქციონირებისათვის, მაშინ გენი არასრულად დომინირებს. ასეთ შემთხვევებში პეტეროზიგოტა ფენოტიპურად განსხვავდება ორივე ჰომოზიგოტისაგან. მაგ., ადამიანს აქვს ლეტალური გენი, რომელიც პეტეროზიგოტურ მდგომარეობაში იწვევს ბრაქიდაქტილიას, ანუ თითების შუა ფალანგების დამოკლებას. ამ დროს თითი ისე გამოიყურება, თითქოს იგი შედგებოდეს ორი და არა 3 ფალანგისაგან. ჰომოზიგოტებში ეს გენი იწვევს ჩონჩხის ანომალურ განვითარებას. ამ გენის მიხედვით ჰომოზიგოტი ბავშვები იბადებიან თითების გარეშე ან ჩონჩხის სხვა დარღვევებით, რასაც ნაადრევი სიკვდილი მოსდევს.

თუ ბრაქიდაქტილიით დაავადებული ორივე შშობელი, უნდა მოველოდეთ, რომ ყოველი ოთხი შვილიდან ერთი იქნება ამ ნიშნის მიხედვით ჰომოზიგოტი და მოკვდება ადრეულ ასაკში, ორი იქნება პეტეროზიგოტი და ბრაქიდაქტილიით დაავადებული, ერთი კი – ნორმალური (სურ.17.2). ეს არის შეფარდება 1:2:1, რომელსაც ადგილი აქვს ნორმალური გენის არასრული დომინირებისას.



ხურ. 17.2. ადამიანის ერთ-ერთი ლეტალური გენი. ნორმალური გენი B არასრულად დომინირებს ბრაქიდაქტილიის B' გენზე. აქ ყურადღება უნდა მიექცეს გენოტიპებისა და ფენოტიპების დამახასიათებელ შეფარდებას კომინაციებისათვის: "ჰეტეროზიგოტა X ჰეტეროზიგოტა" და "ნორმალური ინდივიდი X ჰეტეროზიგოტა".

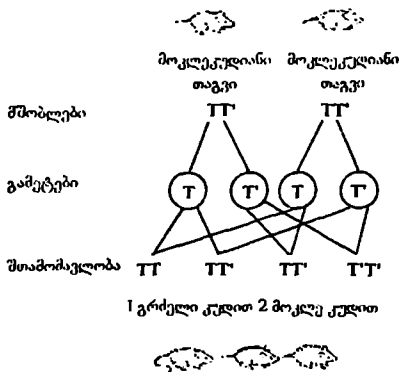
ზოგიერთი ლეტალური გენი მიიღება ისეთი გენების მუტაციის შედეგად, რომლებიც აკოდირებენ ორგანიზმისთვის მეტად საჭირო ცილებს. მათ გარეშე ჩანასახი ნორმალურად ვერ ვითარდება. ცხოველებში, რომლებიც ერთდროულად მრავალ შვილს შობენ, განვითარების ადრეულ ასაკში დაღუპული ჩანასახები საშვილოსნოშივე შეიწოვებიან და დარჩენილი შთამომავლობა იძლევა შეფარდებას 2:1, ე.ი. ნორმალური შთამომავლობის 2/3 იქნება ჰეტეროზიგოტური და 1/3 ჰომოზიგოტური (ხურ. 17.3). მაგ., თავგებში მოკლევადიანობის გენი (T') ჰომოზიგოტურ მდგომარეობაში იწვევს ჩანასახის სიკვდილს განვითარების ადრეულ ასაკში. დაღუპული ჩანასახები გაიწოვება. თუ მაკეობის ადრეულ ეტაპზე ამ ჩანასახებს საშვილოსნოდან ამოვიღებთ, დავრწმუნდებით, რომ მათ არა აქვთ ზერხემალი, აგრეთვე ის ქსოვილები, რომლებისგანაც მოგვიანებით ვითარდება კუნთები, თირკმელები და მრავალი სხვა სასიცოცხლო ორგანო. ჰეტეროზიგოტებს (TT') კული უფრო მოკლე აქვთ, ვიდრე ნორმალური ინდივიდებს (TT).

მსგავსი ლეტალური გენი გააჩნიათ კატებსაც. უკულო კატები ამ გენის მიმართ ჰეტეროზიგოტურია. მათი ზერხემალი დამოკლებულია და ამიტომ კული არა აქვთ. განვითარების დარღვევაში შეიძლება მოიცვას არა მარტო ბოლო მალეები, არამედ ნაწლავების უკანა განყოფილებაც. რა თქმა უნდა, ასეთი კატა დაიღუპება.

ფართოდ არის ცნობილი ადამიანის გენი, რომელიც ჰომოზიგოტურ მდგომარეობაში ხშირად ლეტალური ხდება. იგი იწვევს ნამგლისებურუჯრედოვან ანემიას. შესაბამისი ნორმალური გენი აკოდირებს ჰემოგლობინის ერთ-ერთ პოლიპეპტიდურ ჯაჭვს (ბეტა-ჯაჭვი). ჰემოგლობინი ცილა, რომლის ფუნქციაც ყანგზადის გადატანაა. იგი ერთთროციტებში იმყოფება და მის წითელ ფერს განაპირობებს. მუტაციის დროს დნმ-ის ერთ-ერთი ნორმალური ნუკლეოტიდი შეცვლილია მეორეთი, რის გამოც ჰემოგლობინის ბეტა-ჯაჭვში ერთ-ერთი ამინომჟავა იცვლება მეორეთი.

ამ თითქოსდა უმნიშვნელო ცვლილებას მძიმე შედეგი მოაქვს. როცა სისხლში ჟანგბადის შემცველობა ძალიან დაბალია, ერთროციტებში ჰემოგლობინ S-ის მოლეკულები ერთმანეთს ეწებებიან და ბოჭკოებს წარმოქმნიან. ამის გამო ერთროციტები ღეფორმირდება და ნამგლის ფორმას მიიღებს (სურ.17.4). ეს ერთროციტები წერილ სისხლძარღვებში იჭვლებიან და იმ უბნებში, რომლებსაც ამ ძარღვებით სისხლი მიეწოდებათ, სისხლის მიწოდება ფერხდება. ამას კი სხვადასხვა სიმპტომები მოჰყვება: დაღლის გრძობა, კრუნჩხვა, გაღიზიანებულობა.

ნამგლისებურუჯრედიანობის გამომწვევი და მისი შესატყვისი ნორმალური გენი კოდომინანტურებია. ამიტომ პეტეროზიგოტურ ინდივიდებში სინთეზირდება როგორც ნორმალური, ისე მუტანტური ბეტა-ჯაჭვები. ასეთი ადამიანების ერთროციტები ნამგლის ფორმას იღებენ ჟანგბადის მხოლოდ ძალიან დაბალი კონცენტრაციის დროს (მაგალითად, ღიდ სიმაღლეზე). სპეციალური ტესტების გამოყენების გარეშე ასეთმა ადამიანებმა შეიძლება არც კი იცოდნენ, რომ ისინი ნამგლისებურუჯრედოვანი ანემიის გენის მატარებლები არიან. ჰომოზიგოტური ინდივიდები უფრო ძლიერ იტანჯებიან, რადგანაც მათი ყველა ბეტა-ჯაჭვი ღეფექტურია.



სურ.17.3. ლეტალური გენი, რომლის მიხედვითაც შთამომავლებში შეიძლება შეფარდება 2:1. მოკლეკუდიანობის გენი (T) თავჯებში განვითარების ადრეულ ეტაპზე მათი ჩანასახების დაღუპვას იწვევს. ისინი ამ გენის მიმართ ჰომოზიგოტური არიან (ნაჩვენებია მუქად). თუ მშობლები მოკლეკუდიანებია, მათ შთამომავლობაში არასოდეს არ ჩნდება ინდივიდები, ჰომოზიგოტები მოკლეკუდიანობის რეცესიული გენით. თაობის 1/3-ს კული ნორმალური; სივრძის აქვს, 2/3-ს კი მოკლე კული გააჩნია.

სურ.17.4. ნამგლისებურუჯრედული ანემიით დაავადებულის ერთროციტები. ნორმალური ერთროციტებს ორმხრავ ჩახ-ნეკილი დისკოს ფორმა აქვთ. ნამგლისებურ ფორმას უჯრედები მხოლოდ სისხლში ჟანგბადის ძალიან დაბალი კონცენტრაციის დროს იღებენ (Carolina Biological Supply Company).

ამა თუ იმ გენეტიკური დარღვევის მიმართ პეტეროზიგოტურ ინდივიდებს მატარებლებს უწოდებენ, ხოლო ჰომოზიგოტებს – ავადმყოფებს. ნამგლისებურუჯრედოვანი ანემიის გენის

მიმართ ჰეტეროზიგოტურ ადამიანებზე ხშირად იტყვიან ხოლმე, რომ ისინი ავად არიან ნამგლისებურუჯრედოვანი ანემიით. იგულისხმება, რომ ამ გენის მტარებელი ადამიანი ნაკლებად სიცოცხლისუნარიანია ნორმალურ ჰომოზიგოტურ ინდივიდთან შედარებით. სინამდვილეში კი, ასე არ არის.

ნამგლისებურუჯრედოვანი ანემიის გენის მიმართ ჰომოზიგოტური ინდივიდების 90% ადრეულ ასაკში კვდება მოსალოდნელი იყო, რომ ასეთი ლეტალური გენი გაიცხრილებოდა ბუნებრივი გადარჩევის გზით, რადგანაც ამ გენის მიმართ ჰომოზიგოტები ადრეულ ასაკში კვდებიან და შიამომაველობას ამ გენს ვერ გადასცემენ. მაგრამ ტროპიკულ აფრიკაში საკმაოდ დიდ ტერიტორიაზე ადამიანების 20–40%—მდე ამ გენის მიმართ ჰეტეროზიგოტურია. 50–იან წლებში მკვლევარებმა ყურადღება გაამახვილეს ერთ მეტად საყურადღებო ფაქტზე: აღმოჩნდა, რომ ეს ადამიანები იმ ადგილებში ცხოვრობენ, სადაც მალარიის განსაკუთრებით ძლიერი ფორმა არის გავრცელებული.

ნამგლისებურუჯრედოვანი ანემიის თუნდაც ერთი ასლის არსებობის შემთხვევაში ადამიანი მალარიის წინააღმდეგ უფრო გამძლე ხდება. ჰემოგლობინ S-ის შემცველი ერითროციტები ნამგლისებურ ფორმას უფრო ადვილად იღებენ, თუ ისინი მალარიის პლაზმოდიუმით არიან დაავადებული. როცა ერითროციტი დეფორმირდება, მასში მყოფი პარაზიტი იღუპება. ეს ორგანიზმის დამცველ ძალებს საშუალებას აძლევს, რომ გაუმკლავდეს არადეფორმირებულ, ნორმალურ ერითროციტებში დარჩენილ პარაზიტებს მანამ, სანამ დაავადება სრულ ფორმაში შევა. ამრიგად, იმ რაიონებში, სადაც მალარია არის გავრცელებული, ნამგლისებურუჯრედოვანი ანემიის მიმართ ჰეტეროზიგოტურობა ადამიანს გარკვეულ უპირატესობას ანიჭებს. მართალია, ჰომოზიგოტურ მდგომარეობაში ეს გენი ლეტალურია, მაგრამ ჰეტეროზიგოტურ მდგომარეობაში იგი ადამიანს იცავს მძიმე დაავადებისაგან, რომელიც ხშირად სიკვდილითაც მთავრდება.

თეა-საქსის დაავადება თავის ტვინის განვითარების დარღვევას იწვევს და ადამიანი დაახლოებით 4 წლის ასაკში იღუპება. ეს დაავადება განპირობებულია რეცესიული ლეტალური გენის არსებობით. ამ გენის მიმართ ჰომოზიგოტურ ინდივიდებში არ არის ფერმენტის, რომელიც ახდენს თავის ტვინის გარკვეული ლიპიდების მეტაბოლურ გარდაქმნას. ამ ფერმენტის გარეშე ხდება ლიპიდების დაგროვება და უჯრედები კარგავენ ნორმალური ფუნქციონირების უნარს. ამ დაავადებას ჯერჯერობით ვერ კურნავენ. ცნობილია, რომ აღმოსავლეთ ევროპის ებრაულ მოსახლეობაში ყოველი 30 კაციდან ერთი ამ გენის მიმართ ჰეტეროზიგოტურია. მაგრამ აშშ-ში ამ დაავადების 1/3 სხვა ეროვნების ბავშვებზე მოდის.

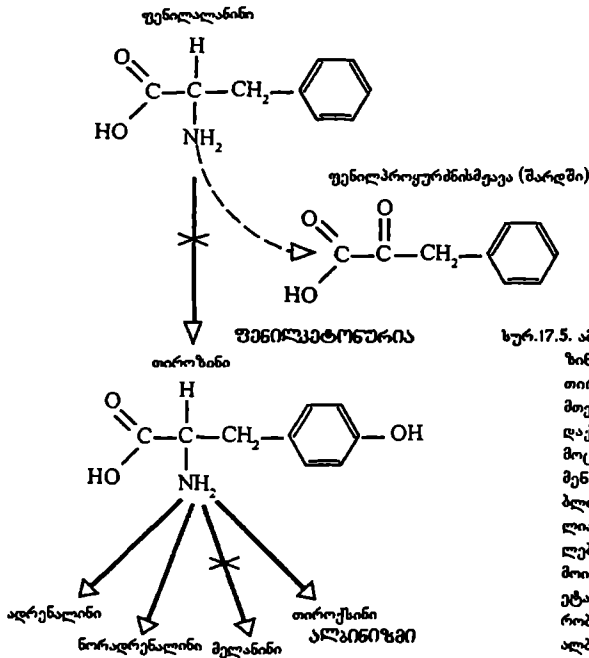
აშშ-ის თეთრ მოსახლეობაში ძალიან ხშირია ლეტალური გენით გამოწვეული ავადმყოფობა — კისტოზური ფიბროზი. ამ დაავადების დროს ბრონქიოლები, კუჭქვეშა ჯირკვლის და ღვიძლის სადინარები სქელი ლორწოთი ივსება. ამ გენის მქონე ადამიანები ხშირად ბავშვობის ან ახალგაზრდობის ასაკში იღუპებიან ინფექციური რესპირატორული დაავადებებით ისე, რომ 20 წლამდეც ვერ აღწევენ. ვარაუდობენ, რომ ამ დაავადების გამოწვევი გენი ელექტრონების გადამტანების ჯგუფში ერთ-ერთ ფერმენტს აკოდირებს (იხ. განყ. 12.4).

17.2. მეტაბოლიზმის თანდაყოლილი დარღვევები

მეტაბოლიზმი ეწოდება ორგანიზმში მიმდინარე რეაქციათა ერთობლიობას. მრავალი გენი აკოდირებს ცილებს, რომლებიც ამა-თუ იმ მეტაბოლურ რეაქციაში მონაწილეობენ როგორც ფერმენტები. ასეთ გენში მომხდარი მუტაციის შედეგად ორგანიზმში გამოუმუშავდება ნაკლებად აქტიური ან სრულიად ინერტული ფერმენტები, ზოგჯერ კი მათი სინთეზი საერთოდ წყდება. ამის შედეგად ამ ფერმენტის მიერ კატალიზებული რეაქცია ან ნელდება, ან საერთოდ ჩერდება. ეს კი განაპირობებს მეტაბოლიზმის ერთ-ერთ თანდაყოლილ დარღვევას, რომელიც მემკვიდრეობით ხასიათს ატარებს. ცნობილია მრავალი ასეთი დარღვევა. ფენილტიპზე მათი მოქმედების ხარისხი დამოკიდებულია იმ ფერმენტის მნიშვნელობაზე ორგანიზმისთვის. ზემოთ ჩვენ ვნახეთ, რომ თეა-საქსის დაავადება და კისტოზური ფიბროზი ნაადრევი სიკვდილით მთავრდება. ზოგიერთი სხვა გენეტიკური ანომალია ორგანიზმში სხვადასხვა სერიოზულ დარღვევას იწვევს, მაგრამ ლეტალური არ არის.

ფენილკეტონურია და ალბინიზმი მოქმედებენ ერთსა და იმავე მეტაბოლურ პროცესებზე (სურ.17.5). ფენილკეტონურიით ავადდებიან ინდივიდები, რომლებიც რეცესიული გენის მიხედვით ჰომოზიგოტურნი არიან. მათ არ შეუძლიათ ერთ-ერთი იმ ფერმენტის სინთეზირება, რომლის მოქმედებითაც ამინმჟავა ფენილალანინი გარდაიქმნება მეორე ამინმჟავად – თიროზინად. თიროზინის ნაცვლად ფენილალანინი გარდაიქმნება ფენილპიროფურმინის მჟავად, რომელიც ტოქსიკური რაოდენობით გროვდება სისხლში, აზიანებს თავის ტვინს და (თუ დროზე არ ეუმკურნალებთ) გონებრივ ჩამორჩენილობას იწვევს. ფენილპიროფურმინის მჟავას ავადმყოფების შარდიც შეიცავს, რის გამოც მას დამახასიათებელი სუნი აქვს. დღეისათვის ფენილკეტონურიას მკურნალობენ სპეციალური დიეტის საშუალებით. ამისათვის ბავშვის სიცოცხლის პირველ წლებში მისი კვების რაციონიდან თითქმის მთლიანად გამორიცხავენ ფენილალანინს. თავის ტვინის განვითარების დამთავრების შემდეგ ფენილკეტონურიით დაავადებული ადამიანი გადააყვთ კვების ჩვეულებრივ რაციონზე. ქალი, რომელსაც ასეთი გენეტიკური დარღვევები აქვს, ფეხმძიმობის დროს უნდა იცავდეს შესაბამის დიეტას. მისი საკვები ნაკლებად უნდა შეიცავდეს ფენილალანინს, რათა თავიდან იქნას აცილებული ნაყოფის თავის ტვინის ანომალური განვითარება. აშშ-ის მრავალ შტატში ყველა ახალშობილი აუცილებლად გადის სპეციალურ ტესტირებას ფენილკეტონურიის და მეტაბოლიზმის ზოგიერთი თანდაყოლილი დარღვევის გამოსაყენებლად.

ალბინიზმის გენის მხრივ ჰომოზიგოტურ ინდივიდებში არ არის ფერმენტი, რომელიც ნორმაში აკატალიზებს ამინმჟავა თიროზინის გარდაქმნას პიგმენტ მელანინად, რომელზეც დამოკიდებულია თვალის, თმის და კანის ფერი. ალბინოსებს თეთრი თმა, ძალიან ღია ფერის კანი და თვლები აქვთ. ბუნებრივია იბადება კითხვა, ხომ არ არიან ფენილკეტონურიით დაავადებული ადამიანები ალბინოსები, რადგანაც მათ ორგანიზმში არ წარმოიქმნება თიროზინი, რომლისგანაც საბოლოო ჯამში სინთეზირდება მელანინი. მაგრამ ასეთი ავადმყოფები ალბინოსები არ არიან, რადგანაც თიროზინი მარტო ფენილალანინისაგან კი არ წარმოიქმნება, არამედ მისი მიღება საკვებთან ერთადაც ხდება. თუმცა აღსანიშნავია, რომ ფენილკეტონურიით დაავადებულებს ჩვეულებრივ ღია ფერის თვლები, კანი და თმა აქვთ. შესაძლოა, მათ შორისაც იყვნენ ალბინოსები, მაგრამ მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ მოცემული ინდივიდი ორივე რეცესიული გენის მიმართ ჰომოზიგოტი იქნება.



სურ.17.5. ამინმჟავა ფენილალანინის თიროზინად გარდაქმნის მეტაბოლური გზა. თიროზინს თავის შხრივ შეუძლია მთელ რივ სხვა ნივთიერებად გარდაქმნა. სქელი ისრები აღნიშნავენ მოცემული მეტაბოლური გზის ფერმენტებით კატალიზებულ ეტაპებს. ბლოკირებული ეტაპები გადასაზღვრია შავი ჯვრით. მათი განზორციელებისთვის საჭირო ფერმენტები არ მოიპოვება. აქ ნაჩვენებია ორი ასეთი ეტაპი: ერთ-ერთი მათგანი განაპირობებს ფენილკეტონურიას, მეორე — ალბინიზმს.

17.3. მრავლობითი გენების სერები

რადგან გენი ასობით ნუკლეოტიდისაგან შედგება, მუტაცია შეიძლება გენის მრავალ მონაკვეთში მოხდეს და მისი მრავალი განსხვავებული ფორმა მოგვეცეს.

ერთ-ერთ ფელაზე ცნობილ მაგალითად შეგვიძლია ავიღოთ გენი, რომელიც განსაზღვრავს ადამიანის სისხლის ABO ჯგუფებს. ეს გენი სამი მათგარი ფორმით გვხვდება: I^A, I^B და i. I^A და I^B აკოდირებენ ორ სხვადასხვა ფერმენტს, რომელთაგან თითოეული ერთი რეცესიური ზედაპირზე ერთ-ერთ ცილასთან გარკვეულ შაქარს აკავშირებს. ფორმა i არც ერთ ფერმენტს არ აკოდირებს. I^A და I^B გენების მქონე ინდივიდებში ორივე ფერმენტი სინთეზირდება, ე.ი. I^A და I^B გენები კოდომინანტურებია. გენი i ორივე ამ გენის მიმართ რეცესიულია. 17.1 ცხრილში წარმოადგენილია სისხლის ამ ჯგუფების სისტემისათვის შესაძლო გენოტიპები და ფენოტიპები.

ABO სისტემის გარდა სისხლის ჯგუფების მრავალი სხვა სისტემა არსებობს, რომელიც ქრომოსომების სხვა უბნებში მყოფი გენებით არის განსაზღვრული. მათ შორის უფრო მეტად ცნობილია სისხლის ჯგუფი Rh, რომელიც მედიცინის თვალსაზრისით ძალზე მნიშვნელოვანია.

ცხრილი 17.1 სისხლის სხვადასხვა ჯგუფებისათვის (ფენოტიპებისათვის) შესაძლო გენოტიპები ადამიანის ABO სისტემაში

სისხლის ჯგუფი (ფენოტიპი)	გენოტიპი	სიხშირე აშშ-ის მოსახლეობისათვის
O	ii	45 %
A	I ^A I ^A (ან I ^A i)	41 %
B	I ^B I ^B (ან I ^B i)	10 %
AB	I ^A I ^B	4 %

სისხლის ჯგუფებმა საინტერესო გამოყენება ჰპოვა მამობის დადგენის დროს, როცა მაგ. სავარაუდო მამის წინამძღვე აღძრულია სარჩელი, ანდა როცა ეჭვი ეპარებათ, რომ სამშობიარო სახელში ბავშვები ერთმანეთში აურიათ. თუ, მაგალითად, ადამიანს AB ჯგუფის სისხლით აქვს გენოტიპი I^A I^B, მაშინ ის ვერ იქნება O ჯგუფის სისხლის მქონე ბავშვის მამა. ბავშვს O ჯგუფის სისხლით აქვს ii გენოტიპი და მის მამას გენოტიპში ერთი i მაინც უნდა ჰქონდეს, რომ მან ეს i გადასცეს თავის შვილს (იხ. ცხრილი 17.1). ამავე დროს, ეს კაცი შეიძლება იყოს A ან B ჯგუფის სისხლის მქონე ბავშვის მამა. მაგრამ ქვეყანაზე მრავალი ადამიანია, ვინც თავისი სისხლის ჯგუფის მიხედვით შეიძლება იყოს ამ ბავშვის მამა. ამიტომაც მხოლოდ სისხლის ჯგუფებზე დაყრდნობით მამობის დადგენა არ შეიძლება.

არც ისე დიდი ხნის წინათ მამობის დასადგენად დაიწყო მრავლობითი გენების მიერ კოდირებული ცილების გამოყენება. ეს ის ცილებია, რომლებიც ლეიკოციტების ზედაპირზე იმყოფებიან. არსებობს 4 განსხვავებული გენი, რომლებიც ამ ცილებს აკოდირებენ. თითოეული მათგანი წარმოდგენილია განსხვავებული ფორმების დიდი რიცხვით – 9–დან 16–მდე. ეს შესაძლო გენოტიპური კომბინაციების ისეთი დიდი მრავალფეროვნების შესაძლებლობას იძლევა, რომ ნებისმიერი ინდივიდი (ერთი კვერცხიდან წარმოშობილი ტყუპების გარდა) თავისი ლეიკოციტების უჯრედულ მემბრანებზე ატარებს სრულიად უნიკალურ „თითების ქიმიურ ანაბეჭდებს“. ამის გამო ლეიკოციტური ცილების ტესტის გამოყენება ისეთ დროსაც შეიძლება, როცა სისხლის ABO ჯგუფის ტესტი მამობის დასადგენად გამოუსადეგარია.

17.4. პოლიგენური ნიშან-თვისებები

ცალკეული გენების გვერდით, რომლებიც მრავალი ფორმითაა წარმოდგენილი, არსებობს პოლიგენური გენებიც. ამ ნიშან-თვისებების გამოვლენას აკონტროლებს მრავალი გენი, რომლებიც ქრომოსომის სხვადასხვა მონაკვეთში ან ზოგჯერ სხვადასხვა ქრომოსომაშიც მდებარეობენ. ასეთი ნიშნებია: სიმაღლე, გონებრივი შესაძლებლობა, სხეულის წყობა, თმის და კანის ფერი. ადამიანის კანის ფერი პოლიგენური ნიშანია, რომლის შესწავლას ყოველთვის

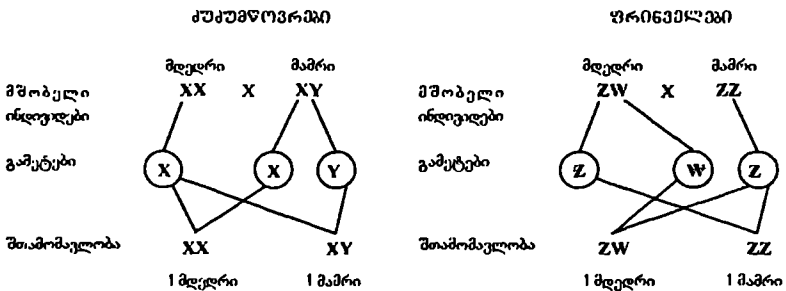
დიდი ყურადღება ეთმობოდა. დღესაც ამნიშნის მაკონტროლებელი გენების რიცხვის დადგენა დავის საგანია. ძალიან მუქი ფერის კანის მქონე ადამიანებს კანის ფერის განმსაზღვრელი ქრომოსომის ყველა მონაკვეთში მოთავსებული აქვთ გენები, რომლებიც აკოდირებენ პიგმენტ მელანინის სინთეზს. თეთრკანიან ადამიანებს კი ქრომოსომის ანალოგიურ მონაკვეთებში აქვთ გენები, რომლებიც არ აკოდირებენ ამ სინთეზისთვის საჭირო ფერმენტებს. ფიქრობენ, რომ ეს გენები ადითიურია: რაც მეტი აქვს ადამიანს მელანინის სინთეზისთვის პასუხისმგებელი გენები, მით მეტი მელანინი წარმოიქმნება მის ორგანიზმში და მით მუქია მისი კანი.

პოლიგენური ნიშნები ძნელი შესასწავლია, რადგანაც ძნელია მოცემულ ფენოტიპურ ნიშანში თითოეული გენის ეფექტის სხვებისაგან გამოყოფა (სურ.17.6).

17.5. სქესის განსაზღვრა

ინდივიდებს შორის მკვეთრი ფენოტიპური განსხვავება ძირითადად სქესთან არის დაკავშირებული, რადგან სქესი მრავალ ისეთ ორგანოზე მოქმედებს, რომელიც გამრავლების პროცესთან უშუალოდ არ არის დაკავშირებული. სასქესო ჰორმონები მრავალი გენის ექსპრესიაზე ახდენს გავლენას.

უმარტივესი შეჯვარება, რომლის შედეგადაც თაობის ნახევარი მდედრია და ნახევარი მამრი (შეფარდება 1:1), ჰომოზიგოტებისა და ჰეტეროზიგოტების შეჯვარებაა. ადამიანებში, ბევრ სხვა ძუძუმწოვარში, აგრევე ფრინველებში, ქრომოსომების ერთი წყვილის მიხედვით (რომლებსაც სასქესო ქრომოსომები ეწოდებათ) ერთი სქესი ჰეტეროზიგოტურია, მეორე – ჰომოზიგოტური (სურ.17.7).



სურ.17.7. სქესის განსაზღვრა ძუძუმწოვრებსა და ფრინველებში ორი სხვადასხვა ქრომოსომის მემკვიდრეობის მეშვეობით.

ძუძუმწოვართა უმრავლესობაში სასქესო ქრომოსომის მიხედვით ჰეტეროზიგოტურია მამრი, რომელსაც ერთი X და ერთი Y ქრომოსომა აქვს, მდედრს კი ორი X ქრომოსომა გააჩნია. ძუძუმწოვრებისაგან განსხვავებით, ფრინველებში ჰეტეროზიგოტურია მდედრები, რომლებსაც ერთი Z და ერთი W ქრომოსომა აქვთ, მამრებს კი – ორი Z ქრომოსომა ახასიათებთ.

როგორ განსაზღვრავენ სასქესო ქრომოსომები სქესს?

განვითარების ადრეულ ფაზაში ჩანასახს წარმოექმნება ჩანასახოვანი რეპროდუქციული ორგანოები, რომლებიც ჯერ არც მდებრობითა და არც მამრობითი. თუ რა განვითარდება მათგან, სასქესო ქრომოსომებზე არის დამოკიდებული. ადამიანს Y ქრომოსომაში აქვს გენი, რომლის კონტროლის ქვეშაც განსაზღვრული უჯრედები ასინთეზებენ განსაკუთრებულ ცილას, რომელიც უჯრედების ზედაპირზე მდებარეობს. ამ ცილის არსებობისას რეპროდუქციული ორგანოებიდან ვითარდება სათესლეები (მამრობითი ორგანოები, რომლებშიც გარკვეული დროის შემდეგ გამოუმუავდება სპერმატოზოიდები). სათესლეები, თავის მხრივ, გამოიშუშავენ პორმონებს, რომლებიც ხელს უწყობენ მამრობითი სასქესო გზების დიფერენცირებას.

სათესლეები დიფერენცირებას ჩანასახის განვითარების მე-4 კვირას იწყებენ. თუ ეს არ მოხდება, მაშინ რეპროდუქციული ორგანოებიდან მომდევნო კვირას დიფერენცირდება საკვერცხეები (მდედრობითი ორგანოები, რომლებშიც წარმოიქმნება კვერცხუჯრედები). შემდგომში მდედრობითი სასქესო გზების განვითარება ავტომატურად, საკვერცხეებიდან ყოველგვარი პორმონალური სივანალების გარეშე ხდება.

ამრიგად, Y ქრომოსომა ატარებს სულ მცირე ერთ გენს, რომელიც ჩანასახს აძლევს პირველ "ზიძეს", რათა იგი მამრად იქცეს. Y ქრომოსომის არსებობა უზრუნველყოფს მამრობით ბუნებას, ხოლო X ქრომოსომის მქონე ჩანასახები ფენოტიპურად მდედრობით არსებებად ვითარდებიან (ცხრილი 17.2). სქესის განსაზღვრაში მონაწილე ყველა გენიდან მხოლოდ სათესლეების დიფერენციაციის „გამშვები“ Y ქრომოსომის გენი არის სასქესო ქრომოსომაში ლოკალიზებული. მოგვიანებით ამოქმედდება სხვა გენებიც, მაგრამ ისინი ყველა არასასქესო ქრომოსომებში, ე.წ. აუტოსომებში იმყოფება.

ჩანასახის განვითარების ადრეულ ეტაპზე მდებარე თუთუშოვრებში ფუნქციონირებს ორივე X ქრომოსომა. მოგვიანებით ყველა უჯრედში (გარდა იმ უჯრედებისა, რომლებისგანაც საკვერცხეები და სათესლეები ვითარდებიან) ორი X ქრომოსომიდან ერთი ინაქტივირდება. უჯრედის თუ რომელი X ქრომოსომა დაკარგავს აქტიურობას, ეს შემთხვევით ხასიათს ატარებს. ცნობილია მხოლოდ, რომ ამ უჯრედის ყველა შთამომავალს არააქტიური აქვს ერთი და იგივე X ქრომოსომა. ასეთი არააქტიური X ქრომოსომა კონდენსირებული ფორმით რჩება. მიკროსკოპით მისი გარჩევა ძალიან ადვილია. ის ქმნის განსაკუთრებულ სტრუქტურას, რომელსაც ბარის სხეულაკი ეწოდება (სურ.17.8).

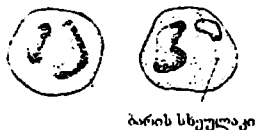
ასეთი ინაქტივაციის გამო თუთუშოვართა მდედრების ნებისმიერ უჯრედში არის მხოლოდ ერთი აქტიური X ქრომოსომა. თუთუშოვართა მამრების უჯრედები ასევე თითო აქტიურ Y ქრომოსომას შეიცავს, რადგანაც მათ უჯრედებში ერთი X და ერთი Y ქრომოსომაა. ბარის სხეულაკის არსებობით ან არარსებობით შესაძლებელი ხდება თუთუშოვრების მამრობითი და მდედრობითი უჯრედების გარჩევა. სქესის შემოწმება ამ მეთოდით ხდება.

სასქესო ქრომოსომების ანომალური რიცხვი (იხ. ცხრილი 17.2) გვხვდება იმ შემთხვევებში, როცა მეიოზის დროს ირდევება ქრომოსომების დაცილების პროცესი და გამეტაში ერთი ქრომოსომით მეტი ან ნაკლები ხდება. იმ უჯრედებში, რომლებშიც ორ X ქრომოსომაზე მეტია, ბარის სხეულაკების რიცხვიც ერთს აჭარბებს, რადგანაც მათში, როგორც ყოველთვის, აქტიურია მხოლოდ ერთი X ქრომოსომა.

ფურცელი № 2. ადამიანის ფენოტიპებსა სასქესო ქრომოსომების სხვადასხვა კომპლექტის შემთხვევაში

სასქესო ქრომოსომები	ფენოტიპი ¹⁾
XX	ნორმალური ქალი
XY	ნორმალური მამაკაცი
XXX	ქალი; ფერტილური ანუ სტერილური
X (ტერნერის სინდრომი)	ქალი; სტერილური (საკვერცხეები რუდიმენტულია ან არ გააჩნია)
XXY (კლინფელტერის სინდრომი)	მამაკაცი; შესაძლებელია გონებრივი ჩამორჩენილობა
XXXY	მამაკაცი
XYY	მამაკაცი; მაღალი, მიდრეკილება ფერისმკვამელების წარმოშობისაკენ

¹⁾ იმ გენებში წარმოქმნილ დეფექტებს, რომლებიც პორმონების გამომუშავებას აკონტროლებენ, შეუძლიათ ხასქესო ქრომოსომების მოცემულ კომბინაციაში ნორმისთვის დამახასიათებელი ფენოტიპების შეცვლა.



ზურ. 17.8. მამაკაცის (A) და ქალის (B) ლეიკოციტების ბირთვები. ქალის ლეიკოციტის ბირთვში ჩანს ბარის სხეულაკი, რომელიც ტუტუმწოვრების მდედრების უჯრედებშიც გვხვდება. ბარის სხეულაკი არის ძლიერ კონდენსირებული X ქრომოსომა.

17.9. სქესთან შეჭიდული გენები

ჩვენთვის სქესის განმსაზღვრელი მხოლოდ ერთი გენი არის ცნობილი. ეს გენი Y ქრომოსომაში მდებარეობს. X ქრომოსომაში ასეთი გენები არ არის, მაგრამ იგი სხვა გენებს შეიცავს და უნდა ვიფიქროთ, რომ ასეთი რამდენიმე გენი Y ქრომოსომაშიც არის ლოკალიზებული. ტუტუმწოვრებში X ქრომოსომის ნაწილი Y ქრომოსომის ნაწილის ჰომოლოგიურია. ამ ჰომოლოგიური მონაკვეთების გენები ისევე იტყვიან, როგორც ნებისმიერი სხვა გენი. X ქრომოსომის დანარჩენი მონაკვეთების შესატყვისი მონაკვეთები Y ქრომოსომას არ გააჩნია. აქ მოთავსებულ გენებს სქესთან შეჭიდულებს უწოდებენ (სურ. 17.9). ტუტუმწოვრების მამრებისათვის ნებისმიერი რეცესიული გენი, რომელიც X ქრომოსომის ერთ-ერთ არაჰომოლოგიურ მონაკვეთთან მოთავსებული, ფენოტიპში ექსპრესირდება იმიტომ, რომ Y ქრომოსომაში არ არის ისეთი გენი, რომელსაც მისი შენიღბვა შეეძლებოდა. მდებარე ასეთი რეცესიული გენი გამოჟღერდება იმ შემთხვევაში, თუ ის ორი ასლის სახით იარსებებს. სქესთან შეჭიდული რეცესიული გენის ფენოტიპური გამოვლინება მამრებში უფრო ხშირად ხდება, ვიდრე მდედრებში ამის გამო ტუტუმწოვრების მამრების სიკვდილიანობა ნებისმიერ ასაკში მტრია, ვიდრე მდედრებისა, რადგანაც მრავალ რეცესიულ გენს მავნე ეფექტი აქვს.

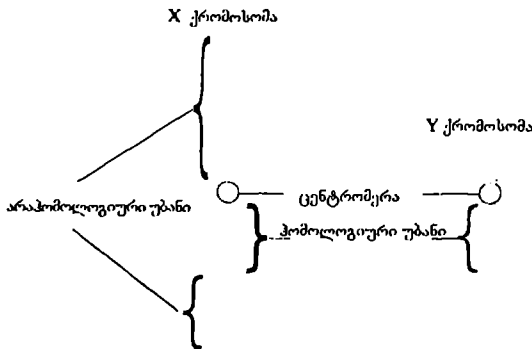
ადამიანის შემთხვევაში კარგად არის ცნობილი სქესთან შეჭიდული ისეთი რეცესიული ნიშან-თვისებები, როგორცაა: დალტონიზმი (ფერების სიბრმავე), ჰემოფილია და კუნთური დისტროფიის ერთ-ერთი სახე. განვიხილოთ ქორწინების შემთხვევა ნორმალური ფერითი მხედველობის მქონე ქალსა და დალტონიზმით დაავადებულ მამაკაცს შორის. ამ ქორწინებიდან გარენილ ყველა ბავშვს ნორმალური ფერითი მხედველობა ექნება, რადგანაც ისინი დედისაგან მიიღებენ ნორმალური გენის მატარებელ თითო X ქრომოსომას (სურ.17.10). ახლა წარმოვიდგინოთ, რომ ამ ოჯახის ყველა ქალიშვილი გათხოვდება ნორმალური ფერითი მხედველობის მქონე მამაკაცზე, ყველა ვაჟიშვილი კი მოიყვანს დალტონიზმის გენის მატარებელ მეუღლეს. მომდევნო F თაობაში ნორმალური ფერით მხედველობის მქონე ინდივიდთა შეფარდება დალტონიზმის მქონე ინდივიდებთან 3:1 ტოლი იქნება, ე.ი. ისეთი, როგორც მოსალოდნელია მონოჰიბრიდული შეჯვარების დროს. მაგრამ აქ გამოჩნდება ერთი თავისებურება: ფერითი სიბრმავეთ დაავადებულ ბავშვებს შორის არც ერთი გოგონა არ იქნება, იქნებიან მხოლოდ ბიჭები. უნდა აღინიშნოს, რომ შესაძლებელია ფერითი სიბრმავეთ გოგონების დაავადებაც, მაგრამ ამ შემთხვევაში მათ ფერითი სიბრმავეს გენების შემცველი X ქრომოსომა უნდა მიიღონ როგორც დედისაგან, ისე მამისაგან. ამიტომაცაა, რომ ფერითი სიბრმავეთ დაავადებული გოგონები ნაკლებად გვხვდებიან, ვიდრე ბიჭები. თუ რომელიმე რეცესიული ნიშანი ერთ სქესში უფრო ხშირია, ვიდრე მეორეში, ეს მიუთითებს იმაზე, რომ ეს ნიშანი სქესთან არის შეჭიდული.

ჰემოფილიაც X ქრომოსომაში მთავსებული რეცესიული გენით არის განსაზღვრული. ამ გენის მატარებელ ქალს მეორე X ქრომოსომაში აქვს დომინანტური ნორმალური გენი. ამის გამო იგი ფენოტიპურად ჯანმრთელია და მას ჰემოფილია არა აქვს. სხვაგვარად არის საქმე მამაკაცებში. მათ არ გააჩნიათ მეორე X ქრომოსომა, რომელსაც შეიძლება ნორმალური გენი ჰქონოდა. ამიტომაც მათში ჰემოფილიის გენი ექსპრესირდება. ჰემოფილიით დაავადებულ ორგანიზმში თითქმის არ გამოუმუშავდება სისხლის შედელებისთვის საჭირო ცილა. ასეთი ადამიანი შეიძლება სისხლისაგან დაიკალოს უმნიშვნელო განაკაწრითაც კი. ამჟამად ხერხდება ჰემოფილიის კონტროლირება (მაგრამ არა მისგან განკურნება) ჯანმრთელი ადამიანის სისხლიდან გამოყოფილი ე. წ. შედელების ფაქტორის შეყვანის გზით. ამის წყალობით ზოგიერთი მამაკაცი ისეთ ასაკამდე ცოცხლობს, რომ შთამომავლობის დატოვებას ასწრებს. თუ ასეთი მამაკაცი დაქორწინდება ჰემოფილიის გენით ჰეტეროზიგოტურ ქალზე, მაშინ შესაძლებელია, რომ მათ დაებალოთ ჰემოფილიით დაავადებული გოგონა (ამისთვის გოგონამ ორივე მშობლისაგან მემკვიდრეობით უნდა მიიღოს ჰემოფილიის გენის მატარებელი X ქრომოსომა. წარსულში ჰემოფილიით დაავადებული მამაკაცები ადრეულ ასაკში, შთამომავლობის დაუტოვებლად კვდებოდნენ. ამიტომაც ჩვენ არ ვიცნობთ ჰემოფილიით დაავადებული ქალების შემთხვევებს).

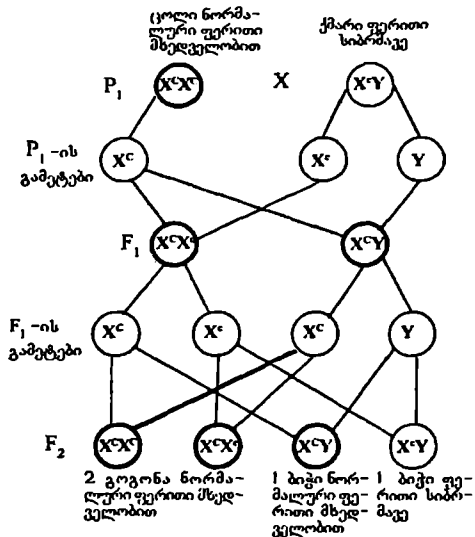
მთელ მსოფლიოში არის ცნობილი ჰემოფილიის გენის მატარებელი დიდი ბრიტანეთის დედოფალი ვიქტორია. მისი ჰემოფილიით დაავადებული ვაჟიშვილის – ლეოპოლდის და ორი ქალიშვილის – ალისას და ბეატრისას (რომლებიც იყვნენ ჰემოფილიის გენის მატარებლები)

მეშვეობით ამ დაავადებამ ევროპის ზოგიერთ სამეფო ოჯახში შეაღწია, მოხვდა რუსეთში, პრუსიასა და ესპანეთში. ამიტომ ჰემოფილიას წინათ „სამეფო დაავადებას“ უწოდებდნენ.

სქესთან შეჭიდული ერთ-ერთი კარგად ცნობილი გენია კატების ბეწვის შეფერვის განმსაზღვრელი გენი. სქესთან შეჭიდული გენი orange X ქრომოსომაშია ლოკალიზებული. ამ გენის მოქმედების შედეგად ხდება მეტაბოლური ცვლილებები, რომლის დროსაც გენის ზოგიერთი შუალედური პროდუქტი მეტაბოლურ პროცესებს სხვა გზით წარმართავს. ამის შედეგად წარმოიქმნება არა შავი, არამედ ნარინჯისფერი პიგმენტი. ამ დროს ბეწვი შავ პიგმენტს არ შეიცავს. მამრი კატები, რომლებსაც X ქრომოსომაში აქვთ გენი orange, ან მღვდრი კატები ორი ასეთი გენით (ორივე X ქრომოსომაში), ქერა ბეწვის მქონენი არიან. როცა არის გენი non-orange, წარმოიქმნება შავი პიგმენტი და ამ გენის მქონე მამრ კატას ან ამ გენის მიმართ პეტეროზივოტურ მღვდრ კატას ბეწვი მუქი ფერის აქვს (რუხი, ყავისფერი და ა.შ.). თუ ცხოველს ერთ X ქრომოსომაში აქვს გენი orange და მეორეში კი non-orange, იგი იქნება ლაქებიანი. ასეთ შეფერვას კუსებურს უწოდებენ (სურ.17.11). თითქმის ყოველთვის ეს ინდივიდი მღვდრობითი სქესისაა, რადგანაც ნორმაში მხოლოდ მღვდრებს აქვთ ორი X ქრომოსომა (გაომონაკლისია მამრი ზედმეტი X ქრომოსომით (იხ.ცხრილი 17.2). კუსებური შეფერვა წარმოიქმნება ერთ-ერთი X ქრომოსომის ინაქტივაციის და ბარის სხეულაკის წარმოქმნის გამო. თუ რომელიმე უჯრედში დარჩება აქტიური X ქრომოსომა გენ orange-ს შემცველობით, მაშინ ამ უჯრედების შთამომავლობა ქმნის ქერა ლაქას. თუ თავის ფუნქციას ინარჩუნებს ქრომოსომა გენით non-orange, მაშინ წარმოიქმნება “შავი” ლაქა. რადგანაც X ქრომოსომის ინაქტივაცია შემთხვევით ხასიათს ატარებს, ამიტომ კუსებური შეფერვის კატები ძალიან მრავალგვარები არიან.



სურ.17.9. ადამიანის X და Y ქრომოსომაში არის ჰომოლოგიური მონაკვეთები, რომლებიც წყვილ გენებს შეიცავენ. X ქრომოსომაში ცნობილია აგრეთვე ორი არაჰომოლოგიური მონაკვეთი ისეთი გენებით, რომელთა შესატყვისიც Y ქრომოსომაში არ მოიპოვება. საკარავლოა, რომ არაჰომოლოგიური გენები არის Y ქრომოსომაშიც, მაგრამ მათი ლოკალიზაცია ჩვენთვის უცნობია.



სურ.17.11. ხქესთან შეჭიდული გენის orange-ს გააღენა კატების ბეწვის შეფერვაზე. გენ orange-ს არსებობისას კატას ქერა შეფერვა აქვს. გენ non-orange-ს არსებობა განსაზღვრავს სხვადასხვა ხარისხის მუქ შეფერვას (შავი პიგმენტის წარმოქმნა კოდირდება აუტოსომებში ლოკალიზებული სხვადასხვა გენებით). კუსებური შეფერვა (ქერა და მუქი ფერის ლატების მორიგებით) პეტეროზიგოტურ კატებში იმით არის გამოწვეული, რომ ემზოოგენების დროს X ქრომოსომის ინაქტივაცია თითოეულ უჯრედში შემთხვევით ხასიათს ატარებს.

სურ.17.10. X ქრომოსომაში ლოკალიზებული გენებით განსაზღვრული ფერითი სიბრმავის (დალტონიზმის) მეშვიდედრობა. ნორმალური ფერითი მხედველობის მქონე პომოზიგოტური ქალისა და ფერითა სიბრმავეთა დააუღებელი მამაკაცის შთამომავლებს ნორმალური მხედველობა აქვთ. თუ შემდეგ ისინი დაქორწინდებიან თავიანთი მსგავსი გენოტიპების მქონე ადამიანებზე, მაშინ მათ შთამომავლობაში ბიჭების ნახევრისთვის მოსალოდნელია დალტონიზმი, რადგანაც ისინი დედისაგან მიიღებენ დომინანტური გენების მტარებელ X ქრომოსომას. გოგონებს, დედისაგან ასეთივე გენის მიღების შემთხვევაში კი, მაინც ნორმალური ფერითი მხედველობა ექნებათ, რადგანაც მამისაგან მიიღებენ ნორმალური გენის მქონე X ქრომოსომას.

17.7. გენების ექსპრესიაზე მოქმედი ზოგიერთი ფაქტორი

ორგანიზმისთვის დამახასიათებელი ყველა გენი მხოლოდ მის გენეტიკურ პოტენციალს განსაზღვრავს, ე.ი. განსაზღვრავს იმას, თუ როგორი შეიძლება იყოს ორგანიზმი. სხვა საქმეა, თუ სინამდვილეში როგორი აღმოჩნდება იგი. ჩანასახოვანი განვითარება დამოკიდებულია გენების ურთიერთქმედებაზე მათი ექსპრესიის მომენტში, ან სხვა ხიტყვებით – მაშინ, როცა

ისინი უზრუნველყოფენ ან არ უზრუნველყოფენ ამა თუ იმ პოლიმეპტიდის და ცილის წარმოქმნას. განვითარების დროს უდიდესი მნიშვნელობა ენიჭება აგრეთვე გარემოს ფაქტორებს. ორი უკანასკნელი ათწლეულის მანძილზე ჩვენ არაერთხელ გავხდით მოწმენი საშინელი შემთხვევებისა, როდესაც სამკურნალო პრეპარატების გავლენით, რომლებსაც ორსული ქალები ღებულობდნენ, ირღეეოდა ნაყოფის ნორმალური განვითარება და იბადებოდნენ მახინჯი ბავშვები ანდა ასეთი ქალის შვილები ადრეულ ასაკში კიბოთი ავადდებოდნენ (მათი ორგანიზმის მიერ უჯრედების გაყოფის უნარზე კონტროლის დაკარგვის გამო).

სასქესო პორმონები ძირითადად მოქმედებს რეპროდუქციულ სისტემაზე და მასთან დაკავშირებულ ორგანოებზე, მაგრამ მათ ორგანიზმის სხვა ნიშნებზე მოქმედებაც შეუძლიათ. იმ გენებს, რომელთა ექსპრესიის ზარისხი სასქესო პორმონებით განისაზღვრება, სქესზე დამოკიდებულ გენებს უწოდებენ (ჩვეულებრივ, მაგრამ არა ყოველთვის, ეს გენები ლოკალიზებულია აუტოსომებში). მამრებიც და მდედრებიც ფლობენ გენეტიკურ პოტენციალს საწინააღმდეგო სქესისთვის დამახასიათებელი ორგანოების განსავითარებლად, მაგრამ განვითარების პროცესში მათ წარმოექმნებათ თავიანთი სქესისთვის დამახასიათებელი ორგანოები, რადგანაც შესაბამისი პორმონების კონცენტრაცია უფრო მაღალი აქვთ (მდედრებს და მამრებს გამოუმუშავდებათ აგრეთვე საწინააღმდეგო სქესისთვის დამახასიათებელი პორმონებიც. მაგრამ მათი შემცველობა გაცილებით ნაკლებია).

მამაკაცებისთვის ტიპური გამელოტების განმსაზღვრელი გენი ლოკალიზებულია აუტოსომში, მაგრამ მისი ექსპრესია მამაკაცის სასქესო პორმონებზე დამოკიდებულია. მათში ეს გენი დომინანტური ბუნებისაა მამრობითი სასქესო პორმონების არსებობის გამო. ქალებში ის რეცესიულ გენს წარმოადგენს. ამიტომაც ქალები იმ შემთხვევაში მელიტდებიან, როცა მათ ამ გენის ორმაგი დოზა გააჩნიათ. სქესი გავლენას ახდენს ადამიანის ისეთ დაავადებაზეც, როგორცაა ნიკრისი. ნიკრისის დროს ქსოვილებში, ძირითადად სახსრებში (ყველაზე ხშირად ფეხის ცერის მიდამოში), გროვდება შარდის მჟავას მარილები, რაც ადამიანს ძლიერ ტკივილს აყენებს. ამ დაავადების განმსაზღვრელი გენი ექსპრესირდება მამაკაცის სასქესო პორმონების გავლენით უფრო ძლიერად, ვიდრე მდედრობითი სასქესო პორმონების გავლენით.

სასქესო პორმონები არ წარმოადგენს გენების ექსპრესიაზე მოქმედ ერთადერთ ფაქტორს. ერთი წყვილი გენით განსაზღვრული მრავალი ნიშანი გარკვეულად განიცდის სხვა გენების გავლენასაც. ამ გენებს მოდიფიკატორები ეწოდება. დიდი ხნის განმავლობაში თვლიდნენ, რომ ადამიანის თვალის ფერი გენების ერთი წყვილით განისაზღვრება და ყაყისფერი დომინირებს ცისფერზე. ამჟამად ჩვენ ვიცით, რომ თვალის ფერის განსაზღვრაში მონაწილეობს გენი-მოდულიკატორების არანაკლებ ორი წყვილი. ამის გამო შესაძლებელია, რომ ცისფერთვალეობა ადამიანებს მუქთვალეობიანი ბავშვი გაუჩნდეთ, თუმცა ეს ძალიან იშვიათად ხდება.

ორგანიზმი სხვადასხვა ასაკში სხვადასხვა პორმონებს გამოიმუშავებს. ასე რომ, გენების ექსპრესიაზე ასაკიც მოქმედებს. საკმარისია გავიხსენოთ სქესობრივი განვითარების თანმხლები მრავალი ცვლილება: ბიჭვებში ხმის "გარდატეხა" და სათესლეების ზრდა. გოგონებში – სარძევე ჯირკვლების გადიდება და გასუქება, რომელიც მათ სხეულს ქალისთვის დამახასიათებელ ფორმას აძლევს და, ბოლოს, ილღის ქვეშ ფოსოში და ბოქვენზე თითოეული

სქესისთვის დამახასიათებელი თმის საფარველის გაზრდა. გენების ექსპრესიაზე მოქმედებს აგრეთვე გარემო პირობების ფაქტორებიც. ასეთებია, მაგალითად, საკვები, სინათლე და ტემპერატურა. ადამიანები, რომლებიც ცუდად იკვებებიან, უფრო დაბლები იზრდებიან. ამჟამად მრავალ ქვეყანაში ახალგაზრდებმა თავიანთ მამებს სიმაღლეში გაუსწრეს იმის გამო, რომ ისინი ბავშობიდანვე მათზე უკეთესად იკვებებოდნენ.

გენების ექსპრესიაზე მოქმედი ერთ-ერთი ფაქტორია სინათლე. განსაკუთრებით დიდ გავლენას ახდენს იგი მცენარეთა ზრდაზე. მზის სხივებზე დიდხანს ყოფნის შემდეგ ადამიანის კანი მუქდება (ზოგიერთი კი მხოლოდ წითლდება). ზოგიერთ ცხოველს, მაგალითად, კიშკლის ბოცკრებს ან სიამის კატებს, ტემპერატურის გაუღებით ეცვლება ბეწვის შეფერვა. ამ ცხოველებს მუქი ფერის ბეწვი სხეულის იმ ნაწილებში ეზრდებათ, სადაც კანის ტემპერატურა საკმაოდ დაბალია. ზოგიერთი ქვეწარმავლის სქესის განსაზღვრისას მნიშვნელობა ენიჭება იმ ტემპერატურას, რომელზედაც მისი ჩანასახის განვითარება ხდება.

XVII თავის მოკლე შინაარსი

გენების ექსპრესია იმის წყალობით ხდება, რომ ისინი აკოდირებენ გარკვეულ პოლიპეტიდებს ანუ ცილებს. მუტაციებით მიყენებული ზიანი დამოკიდებულია იმაზე, თუ რა დონით მოიცავს იგი მოცემული გენის მიერ კოდირებულ ცილებს. ზოგიერთი მუტაცია ლეტალურია, ე.ი. მუტანტი გენები იწვევენ ორგანიზმის დაღუპვას, თუ იგი არ შეიცავს ამ გენის ნორმალურ ასლსაც. ცნობილი ლეტალური გენების უმეტესობა რეცესიულია და სიკვდილს მხოლოდ ჰომოზიგოტურ მდგომარეობაში იწვევს.

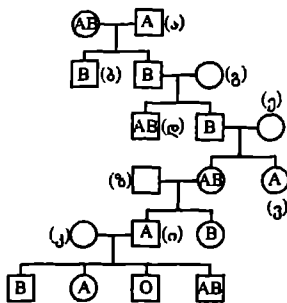
თუ მუტაციით მიღებული ცილა ძლიერი სასიცოცხლო მნიშვნელობისა არ არის, მუტაცია იწვევს ამა თუ იმ მეტაბოლურ დარღვევას, მაგალითად, ალბინიზმს ან ფენილკეტონურიას.

გენის სხვადასხვა მონაკვეთში მომხდარი მუტაციის შედეგად მოცემული გენის რამდენიმე სხვადასხვა ფორმა მიიღება. გენების ასეთ მრავლობით ფორმასთან დაკავშირებულია ადამიანის ABO სისხლის ჯგუფების არსებობა, აგრეთვე ლეიკოციტების ზედაპირზე მყოფი ცილების მრავალგვარობა. ორგანიზმის მრავალი ნიშან-თვისება განისაზღვრება ერთდროულად რამდენიმე წყვილი გენის მოქმედებით. ასეთ პოლიგენურ ნიშნებს ფენოტიპური ცვალებადობის ფართო დიაპაზონი ახასიათებთ.

შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა

1. გვიამბეთ ყველაფერი, რაც იცით ბრაქიდაქტილიის შესახებ (იხ. განყ. 17.1) და უპასუხეთ შემდეგ კითხვებზე:
 - ა) როგორი ალბათობით არის შესაძლებელი ბრაქიდაქტილიით დაავადებული მშობლებისათვის ნორმალური ბავშვის შექმნა?

- ბ) როგორი ფენოტიპური შეფარდება არის მოსალოდნელი ნორმალური ქალისა და ბრაქიდაქტილიით დაავადებული მამაკაცის შთამომავლობაში?
2. გენეტიკოსი, რომელიც განსაზღვრავდა თავგების ბეწვის შეფერილობას, ცდილობდა თითოეული ფერის მიხედვით შესაძლო წმინდა ხაზის გამოყვანას. მუშაობის პროცესში იგი რამდენიმე თაობის მანძილზე ერთმანეთთან აჯვარებდა ყვითელი ფერის თავგებს ყველა თაობაში თავგების რაღაც ნაწილს მაინც განსხვავებული ფერისას იღებდა.
- ა) რა დასკვნები შეიძლება გავაკეთოთ აქედან ყვითელი თავგების გენოტიპების თაობაზე?
- ბ) შეჯვარების შემდეგ რამდენიმე თაობის ინდივიდებიდან მიიღეს სულ 184 ყვითელი და 95 სხვა შეფერვის თავგი. ამ მონაცემების მიხედვით რა შეგვიძლია ვთქვათ ყვითელი შეფერვის გენის ბუნების თაობაზე?
- გ) რატომ ვერ მიიღეს ამ ცდებში კომოზიგოტური ყვითელი ფერის თავგები?
- დ) რა ემართებოდა კომოზიგოტურ ყვითელ თაობას? როგორ შეგვიძლია ამის დამტკიცება?
3. ქვემოთ მოყვანილია ადამიანების რამდენიმე თაობის საგვარტომო ნუსხა სისხლის ჯგუფების მიხედვით. წრეებით აღნიშნულია ქალები, კვადრატებით – კაცები. ქორწინება აღნიშნულია ორი ინდივიდის შემაერთებული კორიზონტალური ხაზებით, მშობლებსა და შვილებს შორის კაცშირი კი – ქორწინების აღნიშნული ხაზებიდან ჩამომამავალი ვერტიკალური ხაზებით. მიუთითეთ ფრჩხილებში პატარა ასოებით ჩაწერილი თითოეული ინდივიდის შესაძლო გენოტიპი (გენოტიპები).



4. B სისხლის ჯგუფის მქონე ქალმა აღძრა სარჩელი მისტერ M-ის წინააღმდეგ მისი მამობის დასადგენად. მისტერ M-ის სისხლის ჯგუფია O. ქალი ამტკიცებს, რომ ეს კაცი მისი ბავშვის მამაა. ბავშვს აქვს სისხლის O ჯგუფი. როგორი გადაწყვეტილება უნდა გამოიტანოს სასამართლო?
5. როგორი გენოტიპის მქონე შვილები ეყოლება ქალს, თუ მისი მამა ავად იყო ჰემოფილიით, ქმარი კი ჯანმრთელი?
6. რა შემთხვევაში გაუნდება ჰემოფილიით დაავადებულ მამაკაცს ჰემოფილიით დაავადებული ვაჟი?

7. ადამიანში დალტონიზმი სქესთან შეჭიდული რეცესიული ნიშანია.
- ა) როგორია შშობლების სავარაუდო გენოტიპები, თუ დიდი ოჯახის ყველა გოგონას ნორმალური მხედლეობა აქვს, ხოლო ყველა ბიჭი – დალტონიკა?
 - ბ) ქალს ნორმალური მხედლეობა აქვს, მის მამას კი დალტონიზმი ჰქონდა. ქალი თხოვდება ფერითი სიბრმავეთ დაავადებულ მამაკაცზე. როგორი ალბათობა არსებობს, რომ მათი ვაჟიშვილიც ფერითი სიბრმავეთ იქნება დაავადებული?
 - გ) როგორი ალბათობაა ფერითი სიბრმავეთ დაავადებული გოგონას დაბადებისა ბ) პუნქტში მითითებული ქორწინების შედეგად?
8. თუ ძუძუმწოვრების რომელიმე სახეობის წარმომადგენლებში ზოგიერთი მათგანი ატარებს სქესთან შეჭიდულ ლეტალურ გენს, რომელიც განვითარების ადრეულ პერიოდში იწვევს ჩანასახის სიკვდილს და შეწოვას, მაშინ სქესთა როგორ შეფარდებას უნდა მოველოდეთ ამ გენის მატარებელი ნორმალური მამრისა და ნორმალური მდედრის შეჯვარებისას?
9. ხშირად ამბობენ, რომ მამაკაცები გამელოტებისადმი მიდრეკილებას მემკვიდრეობით იღებენ თავისი ბებიისაგან დედის გზით. გამოიყენეთ თქვენი ცოდნა ამ ნიშნის შესახებ და განმარტეთ – შეიძლება თუ არა ასეთი მტკიცება სწორად ჩაითვალოს? მოგვეცით სრული პასუხი.

კითხვები გახსილვისათვის

1. 17.2 ცხრილიდან ჩანს, რომ ზოგიერთი ადამიანის უჯრედში მხოლოდ ერთი X ქრომოსომაა, მაგრამ ისეთი ადამიანები, რომლებსაც მხოლოდ Y ქრომოსომა ექნებოდათ, არ არსებობენ. თქვენი აზრით, რა შეიძლება იყოს ამის მიზეზი?
2. გაზეთებში ხანდახან მოდის ქალების წერილები, რომლებშიც ისინი ჩივიან, რომ ქმრები და ნათესალები მათ საყვედურობენ იმის გამო, რომ ვაჟების ნაცვლად მათ გოგონები უჩნდებათ. სამართლიანია თუ არა ასეთი საყვედურები? თუ არა, მაშინ რატომ?
3. დაასახელეთ ფაქტორები (ამ თავში ჩამოთვლილი ფაქტორების გარდა), რომლებსაც გენების ექსპრესიაზე მოქმედების უნარი გააჩნიათ.

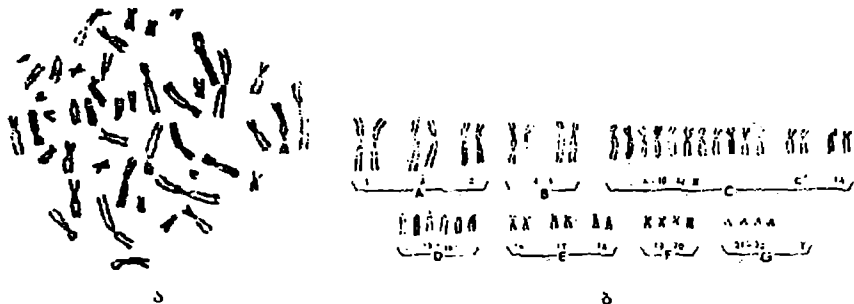
ნარკვევი. გენეტიკური კონსულტაცია

გენეტიკური დაავადებისაგან იტანჯებიან არა მარტო ამ დაავადებებით შეპყრობილი ადამიანები, არამედ მათი ოჯახებიც. შშობლებს ხშირად ტანჯაუთ დანაშაულის შეგრძნება. აუადმყოფი ბავშვის მოვლა დიდ დროს, ენერგიას და სახსრებს მოითხოვს, რითაც ხშირად ამ ბავშვის ნორმალური და-ძმა იჩაგრება.

გენეტიკური კონსულტაციები მეუღლეებს დაეხმარება გაარკვიონ, თუ რამდენად დიდია მათთვის აუადმყოფი ბავშვის გაჩენის რისკი. ეს რისკი მატულობს, თუ მათ ან მათ ნათესალებს უკვე ჰყავთ ასეთი ბავშვი. დღეისათვის სისხლის ანალიზის მიხედვით შესაძლებელი ხდება

ისეთი გენეტიკური ანომალიების განსაზღვრა, როგორცა თეა-საქის დაავადება და ნამგლისებურუჯრედოვანი ანემია.

ზოგიერთი გენეტიკური ანომალია განპირობებულია არა მუტანტური გენების არსებობით, არამედ მეიოზის დროს ქრომოსომების ქცევის დარღვევით. ასეთი ქრომოსომული ანომალიის ერთ-ერთი ძალიან ცნობილი მაგალითია დაუნის სინდრომი. მისი მიზეზი, ჩვეულებრივ, იმაში მდგომარეობს, რომ მეიოზის პროცესში 21-ე ან 22-ე წყვილის ქრომოსომები ერთმანეთს არ სცილდებიან და გამეტაში ერთად გადაეცემა (სურ.17.12).



სურ.17.12. უჯრედებში ქრომოსომული ანომალიების გამოვლენა. ა-გაორმაგებული ქრომოსომები, შედეგად და გამოყოფილი იმ უჯრედებთან, რომლებშიც გაყოფა დაიწყო. ბ-იგივე ქრომოსომები, განლაგებული ისე, რომ ადვილი შესაძლებელი იყოს ზეკომპლექსური ქრომოსომების ანდა ცალკეული ქრომოსომების ნაკლებობის გამოვლენა. აქ ნაჩვენებია ჯანმრთელი მამაკაცის უჯრედიდან გამოყოფილი ქრომოსომული კომპლექტი. (ყურადღება მიაქციეთ მარჯვენა ქვედა კუთხეში მოთავსებულ Y ქრომოსომას). (Carolina Biological Supply Company).

ინდივიდები დაუნის დაავადებით რიგი დამახასიათებელი ნიშნებით შეიძლება გამოვარჩიოთ: გონებრივი ჩამორჩენილობა, თვალის კუთხეებთან კანის დანაოჭება, ჩათლილი კეფა, მუდმივად ღია პირი. დაუნის დაავადების მქონე ბავშვის გაჩენის რისკი 35 წელზე მეტი ასაკის ქალებში 10-ჯერ მეტია, ვიდრე 25 წლის ქალებში. შესაძლებელია ეს დაკავშირებული იყოს კვერცხუჯრედების ასაკობრივ ცვლილებებთან. გოგონას ორგანიზმში დაბადებიდანვე უკვე ყველა კვერცხუჯრედი წარმოადგენილი, რომელთა წარმოქმნაც მას შეუძლია, მაგრამ მათში მეიოზის პროცესი არ მთავრდება მანამ, სანამ განაყოფიერების დროს კვერცხუჯრედში სპერმატოზოიდი არ შეაღწევს.

მეიოზის პროცესში ქრომოსომათა დაუცილებლობის შედეგად ადგილი აქვს ანომალიებს, რომლებიც 17.2 ცხრილშია ჩამოთვლილი. ზოგიერთ მათგანს თან სდევს გონებრივი ჩამორჩენილობა ან სტერილობა. დღეისათვის ჩვენ მოგვეპოვება ამნიოცენტრის მეთოდის, რომელიც ორსულობის დაწყებიდან მე-16 კვირაზე ნაყოფის ქრომოსომების ანომალური რიცხვის დადგენის შესაძლებლობას იძლევა. ამისათვის ნაყოფის სითხის სინჯს იღებენ ნაყოფის გარისს პუნქციის გზით. ნაყოფის სითხეში იმყოფება ნაყოფის კანიდან ან ზემოთა სასუნთქო გზების კედლებიდან ჩამოფეხნილი უჯრედები. ამ უჯრედების შესწავლით იგებენ, არის თუ არა მათში ქრომოსომული ანომალიები. ეს უჯრედები შეიძლება კულტურაში გამოვზარდოთ, რაც მეტაბოლიზმის გარკვეული დარღვევების გამოვლენის საშუალებას იძლევა.

პასუხები განყოფილებისთვის
„შეაჯიფავეთ თქვენი ცოდნა“

IX თავი. სიცოცხლის ჰიმიკა

1. ნატრიუმის ატომი და ნატრიუმის იონი ერთმანეთისგან ელექტრონების რიცხვითა და მუხტის არსებობით განსხვავდებიან. ნატრიუმის იონს ერთი ელექტრონით ნაკლები აქვს. ნატრიუმის ატომს ელექტრული მუხტი არ გააჩნია, ნატრიუმის იონი დადებითად არის დაპუსტული. (+1).
2. ა.
3. კოვალენტური
4. კოვალენტური
5. ა.
6. ა. H_2O
ბ. $NaCl$
გ. CO_2
დ. O_2
7. ბ.
8. დ.

X თავი. უჯრედო

1. 1. ლ.
2. დ.
3. ბ.
4. ზ.
5. გ.
6. მ.
7. თ.
8. ა.
9. ი.
10. კ.
2. 1. ყველა უჯრედში
2. პროკარიოტებში
3. მცენარეულ უჯრედებში და პროკარიოტებში
4. ყველა უჯრედში
5. ცხოველურ და მცენარეულ უჯრედებში.
3. გ.
4. ა. ბაქაყის უჯრედებიდან წყალი სტუდენტების მიერ გამოყენებულ კონცენტრირებულ ხსნარში გადადიოდა. უჯრედები ილუპებოდნენ და ამის გამო ბაქაყიც დაილუპა.

ბ. ოსმოსი

- გ. არა. წყალი გადამტანს არ საჭიროებს. იგი თავისუფლად აღწევს მეფრანგებში.
5. ა.
 6. გ, ა, ბ, ე, დ, ვ.

XI თავი. ფოტოსინთეზი

1. ბ.
2. დ.
3. 1. ბ.
2. ა.
3. ბ.
4. გ.
4. 1. გ.
2. ა, დ.
3. დ.
4. ბ.
5. გ.
6. ა, დ.
5. ბ.
6. დ.

XII თავი. უჯრედის სუნთქვა

1. ბ.
2. ა.
3. დ.
4. ა.
5. გ.
6. 2; $23/25 \times 100\% = 92\%$

XIII თავი. სიცოცხლის წარმოშობა

1. ბ.
2. თანამედროვე ატმოსფერო დაახლოებით 20% ჟანგბადს შეიცავს. მილიონობით წლის წინ კი, როდესაც ჩვენს პლანეტაზე სიცოცხლე ისახებოდა, ატმოსფეროში ჟანგბადის შემცველობა ძალზე მცირე იყო.
3. 1. ორგანული მონომერები. 2. პოლიმერები. 3. დუღილი. 4. ფოტოსინთეზი. 5. სუნთქვა.

4. ხელსაყრელი იყო ორგანიზმთა ინტენსიური გამრავლების შესაძლებლობა, რადგანაც მოიხსნა მათთვის საჭირო საკვები ორგანული ნივთიერებების არაბიოლოგიური გზით სინთეზის აუცილებლობა. ამ ნივთიერებებს ახლა ისინი თავად ასინთეზებდნენ. საშიშროებას წარმოადგენდა ფოტოსინთეზის თანაპროდუქტის – მოლეკულური ფანგბადის გამანადგურებელი მოქმედება.
5. საკვები ნივთიერებების უქმარისობამ გადარჩევის ძლიერი დაწოლა გამოიწვია: ახლა სელექტური უპირატესობა მიიღეს ორგანიზმებმა, რომლებსაც ამა თუ იმ ტიპის ავტოტროფული კვება შეეძლოთ.

XIV თავი. დნმ

1. ა.
2. გ.
3. დ.
4. 1. თიმინი (თ) 15
 16 17 18
 2. გუანინი (გ) 19
 3. ადენინი (ა) 20
 21
5. ა. ძველ დნმ-ს
 ბ. ახალ დნმ-ს
 გ. მოლეკულების პირველ ახალ გენერაციაში ^{14}N და ^{15}N ერთსა და იმავე მოლეკულებში იმყოფებოდნენ, მეორე ახალ გენერაციაში კი მოლეკულების ერთი ნახევარი შეიცავდა როგორც ^{15}N -ს, ისე ^{14}N -ს, მეორე ნახევარი კი – მხოლოდ ^{14}N -ს.

XV თავი. ცილის სინთეზი და ბენზოი კონტრაქტი

1. დ.
2. ა. მრნმ: აუგუუცაუგააუცაააგააა
 მეთ-ფენ-მეთ-ასპ-ლიზ-გლუ.
 ბ. მრნმ: :აუგუცააუცააუცგააუცგაუცც
 მეთ-გლი-არგ-არგ-ტრე-ალა.
3. გ.
4. 1. მრნმ უკავშირდება რიბოსომას

2. ტრნმ-ს გადააქვს პირველი ამინომჟავა და პირველ კოდონს უკავშირდება
3. სხვა ტრნმ-ს გადააქვს მეორე ამინომჟავა და მეორე კოდონს უერთდება.
4. პირველი ამინომჟავა უერთდება ტრნმ-თან დაკავშირებულ მეორე ამინომჟავას.
5. გამოთავისუფლებული პირველი ტრნმ სცილდება რიბოსომას, ხოლო მრნმ და მეორე ტრნმ მასზე გადაადგილდებიან, რის შედეგადაც რიბოსომის შესაბამის ადგილზე მესამე კოდონი აღმოჩნდება.
6. მესამე კოდონს ამავე კოდონით განსაზღვრული ამინომჟავას მატარებელი ტრნმ უერთდება.
7. ამინომჟავების მზარდი ჯაჭვი ახლად დაკავშირებულ ამინომჟავას უერთდება, რომელიც აგრ კიდევ საკუთარ ტრნმ-ზეა ფიქსირებული.
8. მე-5 და მე-7 ეტაპები მორიგეობით მეორდება ყოველი ახალი ამინომჟავას დაკავშირებისას. პროცესი ჩერდება მხოლოდ სტოპ-კოდონის მიღწევისას.

5. ა.
6. დ.

XVI თავი. მინერალისა და ბენზოი

1. ა. ორივე პეტეროზიოტაა TL
- ბ. 3/4 შემგრძნები: 1/4 შემგრძნების არმქონე (=3 შემგრძნები:1 შემგრძნების არმქონე =0,75 შემგრძნები:0,25 შემგრძნების არმქონე და ა. შ.)
 ყველა შემგრძნებია
 1/2 შემგრძნები: 1/2 შემგრძნების არმქონე
2. ა. ნორმალური ფრთების გენი დომინანტურია; მოკლე ფრთების გენი კი რეცესიული.
 ბ. ორივე მშობელი პეტეროზიოტული იყო – ერთი ნორმალური ფრთებისა და ერთი მოკლე ფრთების გენით.
3. $1/2 \times 80 = 40$ (შთამოშავლობის 1/2 ანუ 40 ინდივიდი ოთხმოციდან, მამისგან ნორმალური ფრთების გენს მიიღებს.

4. ა. $1/2 \times 500 = 250$

ბ. $1/4 \times 500 = 125$

5. ა. ხნიფლი: როგორც ჩანს, ჰომოზიგოტურია ბეწვის ნორმალური შეფერილობის მიხედვით (როშელიც დომინანტურია).

ვისკერსი: ეჭვგარეშეა, რომ ჰეტეროზიგოტურია, რადგანაც მის შთამომავლობაში გვხვდება ინდივიდები ბეწვის როგორც თეთრი, ისე ნორმალური შეფერილობით.

ესშერალდა: ჰომოზიგოტურია ალბინიზმის გენის მიხედვით, რადგანაც ეს რეცესიული გენი ექსპრესირდება მის ფენოტიპში.

ბ. $3/4$ ბეწვის ნორმალური შეფერილობით და $1/4$ ალბინოსი.

გ. $1/2$ ბეწვის ნორმალური შეფერილობით და $1/2$ ალბინოსი.

6. უმჯობესია შეავჯაროს თავისი ხვალი იმ ბუქნებთან, რომლებიც ბადურის ატროფიის გენის ჰემიზიგოტი მატარებლები არიან. თუ შთამომავლობაში ბრმა ლეკვები აღმოჩნდება, ეს ნიშნავს, რომ ხვალი სანაშენოდ არ გამოდგება, რადგან თვითონაც მაკენ გენის მატარებელია. ლეკვთა შორის ბრძების არ არსებობაც არ იძლევა სრულ გარანტიას, რადგანაც შემთხვევის წყალობით ბადურის ატროფიის გენის დამკვიდრება შეიძლება არ მოხდეს, თუმცა, რაც მეტი იქნება ნორმალური ლეკვების რიცხვი, მით მეტია ალბათობა იმისა, რომ ხვალი მაკენ გენის მატარებელი არ არის.

7. ა.

	BS	Bs	bS	bs
Bs	BBSs	Bbss	BbSs	Bbss
bs	BbSs	Bbss	bbSs	bbss

ბ.

	BS	Bs
Bs	BBSs	BBss
bs	BbSs	Bbss

გ.

	BS	Bs	bS	bs
bs	BbSs	Bbss	bbSs	bbss

ჟ. $1/2$

8. ა. $3/16$

ბ. $3/16$

გ. $9/16$

9. ა. 480

ბ. 160

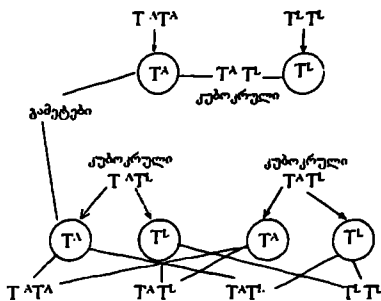
გ. 40

10. ა. $1/8$

ბ. $1/8$

გ. $3/8$

11. აღნიშნოთ: T^A – განივი ზოლები
 T^L – სივრთვი ზოლები



1 განივი ზოლებით: 2 კუბოკრული; 1 სივრთვი ზოლებით

12. ა. სამეურას ველზე: $1/2$ თეთრი, $1/2$ წითლად ჭრელი, იონჯის ველზე: $1/2$ წითელი, $1/2$ წითლად ჭრელი, სიმინდის ველზე: $1/4$ წითელი, $1/2$ წითლად ჭრელი, $1/4$ თეთრი.

ბ. ბუას შეფერილობას მნიშვნელობა არა აქვს. ნაშიერთა $1/2$ ნებისმიერ შემთხვევაში წითლად ჭრელი იქნება.

13. ა. $1/4$

ბ. $1/2$

გ. $1/4$

დ. $3/16$

ე. $1/8$

14. ა. გენები შევიდულია:

ბ. მდგრადი სხეულის მკერდის შეფერილობის და ნორმალური ფრთების განბი ლეკვებზე-ბული იყო ერთ ქრომოსომაში, ხოლო

ნორმალური შეფერალობისა და მინიატურული ფრთებისა – მერეში, მის ჰომოლოგში. ასეთ განლაგებას ამტკიცებს ნიშან-თვისებათა შემდეგი კომბინაციების მქონე ინდივიდთა სიმრავლე: „შავი შეფერილობა + ნორმალური ფრთები“ და „ნორმალური შეფერილობა + მინიატურული ფრთები“.

15. გენები, როგორც ჩანს, შეჭიდული არაა. ამაზე მიუთითებს ის ფაქტი, რომ ოთხივე შესაძლო ფენოტიპი შთამომავალთა დაახლოებით თანაბარი რიცხვითაა წარმოდგენილი.

XVII თავი. გეგვიდრეოზის ტიპები და ბენეგის ემპარპისა

1. ა. 1/4
ბ. 50% ნორმალური: 50% ბრაქიდაქტილით.
2. ა. ყვითელი თავები პეტეროზიგოტურია.
ბ. ყვითელი შეფერილობის გენი ჰომოზიგოტურ მდგომარეობაში ლეტალურია.
გ. ჰომოზიგოტური ყვითელი თავი განვითარების ჩანასახის სტადიაში იღუპება და გაიწოვება დედის ორგანიზმში.
დ. უნდა შევაჯავაროთ ყვითელი თავი და მკეობის ადრეულ სტადიებზე გაკვეთით ვაჩვენოთ მკედარი ჩანასახების არსებობა.
3. ა. I^h
ბ. I^h
გ. I^h ან I^hB

- დ. I^h
ე. I^hA ან I^h ან I^hB
ვ. I^h
ზ. IA, I^h ან ii
თ. I^h
ი. I^h

4. სავსებით შესაძლებელია, რომ მისტერ M ბავშვის მამა იყოს. მამობის საკითხის გადასაწყვეტად სასამართლომ დამატებითი მონაცემები უნდა მოიშველიოს.
5. 1/4 ჯანმრთელი ქალიშვილები: 1/4 ჰემოფილის გენის მატარებელი ქალიშვილები: 1/4 ჯანმრთელი ვაჟები: 1/4 ჰემოფილით დაავადებული ვაჟები.
6. იმ შემთხვევაში, თუ ბავშვის დედა ჰემოფილის გენის მატარებელია ან ავად არის ჰემოფილით.
7. ა. დედა: X – ქრომოსომები ჰომოზიგოტურია დალტონიზმის გენის მიხედვით. მამა: ნორმალური მხედველობის გენი ლოკალიზებულია X ქრომოსომაში, პლუს ერთი Y ქრომოსომა.
ბ. 1/2
გ. 1/2
8. 2 მდედრი: 1 მამრი
9. დებულება მცდარია. გამელოტებისკენ მიდრეკილება სქესთან არ არის შეჭიდული. მისი მემკვიდრეობით გადაცემა შეიძლება მოხდეს როგორც დედის, ისე მამის გზით.