

მარინა სეხნიაშვილი

11



ბიოლოგია

მოსწავლის წიგნი



მარინა სენიაშვილი

ბიოლოგია

XI კლასი

მოსწავლის წიგნი



მარინა სეხნიაშვილი

ბიოლოგია

XI კლასი, მოსწავლის წიგნი

რეცენზენტები:

მაია ზიზიბაძე – ბიოლოგიის მეცნიერებათა დოქტორი, მასწავლებელთა პროფესიული განვითარების ეროვნული ცენტრის სპეციალისტი ბიოლოგიაში, მენტორი მასწავლებელი: სახელმძღვანელოს შინაარსი მეცნიერულად გამართულია და მოსწავლის ასაკის შესაბამისი ენითაა დაწერილი; ავტორი გვთავაზობს გენეტიკასა და ევოლუციაში თანამედროვე მეცნიერულ მიღწევებს და საინტერესო მაგალითებით უკავშირებს ცხოვრებისეულ პრაქტიკას. მოსწავლეებს რთული ბიოლოგიური პროცესებისა და მოვლენების აღქმაში დაეხმარება მოწოდებული ილუსტრაციები და სქემები, ელექტრონული რესურსები. ვთვლი, რომ ეს წიგნი დიდ დახმარებას გაუწევს როგორც მოსწავლეებს, ისე მასწავლებლებს.

ლაურა ჯიმშელიშვილი – მენტორი მასწავლებელი, ზოგადი განათლების რეფორმის პროექტის ფარგლებში ბიოლოგიის ექსპერტი: სახელმძღვანელო თავისი შინაარსით ფარავს ეროვნული სასწავლო გეგმით გათვალისწინებულ საგნის სწავლების მიზნებსა და მისაღწევ შედეგებს; სახელმძღვანელო შეიცავს სავარჯიშოებს, კონტექსტ-მაგალითებს, ამოცანებს, კომპლექსურ და კომპლექსური შინაარსის დავალებებს, რომლებიც მოსწავლეს უბიძგებს მიღებულ გამოცდილებაზე დაყრდნობით ახსნას/„აღმოაჩინოს“ ბიოლოგიური კანონზომიერებები, ერთმანეთთან დააკავშიროს სამიზნე ცნება, ქვეცნებები, საკითხები და ქვესაკითხები. მიმაჩნია, რომ ეს წიგნი დიდ დახმარებას გაუწევს მოსწავლეებს, აბიტურიენტებსა და მასწავლებლებს.

სამეცნიერო რედაქტორი: **მალხაზ მაყაშვილი** – ბიოლოგიის მეცნიერებათა დოქტორი

კომპიუტერული უზრუნველყოფა

მანანა კვერნაძე

© გამომცემლობა „კლიო“, 2023

© მარინა სეხნიაშვილი, 2023

ყველა უფლება დაცულია

ISBN 978-9941-496-56-1

პირველი გამოცემა (2023)



შპს „გამომცემლობა კლიო“

აღმაშენებლის გამზ., №181-2,

თბილისი, 0112

ტელ.: (+995 32) 234 04 30

E-mail: book@klio.ge; www.klio.ge

სარჩევი

შესავალი	6
----------------	---

თემა 1. გენეტიკა

1.1. მენდელის კვლევის მეთოდები.....	10
1.2. მონოჰიბრიდული შეჯვარება.....	14
1.3. მენდელის კანონების სტატისტიკური ხასიათი. ალბათობა გენეტიკაში.....	20
1.4. დათიშვის კანონის ციტოგენეტიკური მექანიზმი.....	25
1.5. ალელურ გენთა ურთიერთქმედება	31
1.6. დიჰიბრიდული შეჯვარება	36
1.7. გამაანალიზებელი შეჯვარება.....	44
1.8. გენთა შეჭიდული მემკვიდრეობა	48
1.9. სქესის განსაზღვრის ქრომოსომული მექანიზმი	55
1.10. სქესთან შეჭიდული მემკვიდრეობა	59
1.11. გენების მრავლობითი მოქმედება და ურთიერთქმედება	64
1.12. ცვალებადობა. მოდიფიკაციური ცვალებადობა.....	74
1.13. მემკვიდრული ცვალებადობა	79
1.14. ქრომოსომული და გენომური მუტაციები.....	86
1.15. ბიოტექნოლოგია და მისი ძირითადი მიმართულებები.....	94
1.16. გენური ინჟინერია. ტრანსგენური ორგანიზმები	99
1.17. კლონირება.....	105
1.18. ადამიანის გენეტიკის კვლევის მეთოდები.....	109
1.19. სამედიცინო ბიოტექნოლოგია	119
თემა 1-ის შეჯამება	126

თემა 2. ევოლუცია

2.1. ორგანული სამყაროს კლასიფიკაცია.....	138
2.2. პირველი ევოლუციური იდეები	143
2.3. მიკროევოლუცია და მისი მამოძრავებელი ფაქტორები	149

2.4. არსებობისათვის ბრძოლა	157
2.5. ბუნებრივი გადარჩევა	161
2.6. შეგუებულობა	168
2.7. სახეობათწარმოქმნა	175
2.8. ევოლუციის კანონზომიერებები და დამამტკიცებელი საბუთები.....	181
თემა 2-ის შეჯამება	190
დანართი 1 – ელექტრონული სასწავლო რესურსები	198
დანართი 2 – ზოგიერთი ნიშნის მემკვიდრეობა ადამიანში.....	200
დანართი 3 – დამოკიდებულება ალელური გენების წყვილების რაოდენობასა და მე-2 თაობაში ფენოტიპური და გენოტიპური კლასების რიცხვს შორის	201
განმარტებითი ლექსიკონი.....	202

მოსწავლის წიგნში გამოყენებული პირობითი ნიშნები



სამიზნე ცნებები, ქვეცნებები, სამეცნიერო ტერმინები და მათთან დაკავშირებული საკითხები.



გაიხსენე, იმსჯელე – ბიოლოგიაში ან სხვა საგნებში მიღებული ცოდნის გახსენება; პრობლემურ კითხვაზე/თემაზე დისკუსია.



პრაქტიკული დავალებები – კვლევითი სამუშაო: დაკვირვება, ექსპერიმენტი, ჩატარებული კვლევის მონაცემების ანალიზი, დასკვნა, კვლევის ანგარიშის მომზადება; მოდელის შექმნა და გამოყენება.



დავალებები – კითხვებზე პასუხების გაცემა, მუშაობა სავარჯიშოებსა და სიტუაციურ ამოცანებზე; სურათებზე, გრაფიკებსა და ცხრილებში მოცემული მონაცემების ანალიზი, მონაცემების ორგანიზება სქემებში.



მეცნიერება პრაქტიკაში – მეცნიერული თეორიის კავშირი და გამოყენება რეალურ ცხოვრებაში, მნიშვნელოვანი მეცნიერული აღმოჩენები და მათი შეფასება, გავლენა ტექნოლოგიების განვითარებაზე, საზოგადოებასა და გარემოზე.



ამოცანებისა და სავარჯიშოების ამოხსნის მაგალითები.



შეჯამება – პარაგრაფის ძირითადი იდეები.

შესავალი



რას შეისწავლი XI კლასის ბიოლოგიის კურსით?

XI კლასში გაეცნობი გენეტიკის საფუძვლებსა და ევოლუციურ თეორიას. გენეტიკა შეისწავლის ბიოლოგიური მემკვიდრეობითობისა და ცვალებადობის მექანიზმსა და კანონზომიერებებს. გენეტიკის ფუძემდებლად ითვლება გრეგორ მენდელი, რომელმაც პირველმა აღმოაჩინა მემკვიდრეობითობის გენეტიკური კანონზომიერებები (1866წ.). ბიოლოგიური ევოლუცია არის ცოცხალი ბუნების შეუქცევადი და მიმართული ისტორიული განვითარება. მიიჩნევა, რომ ევოლუციის მამოძრავებელი ფაქტორები პირველად სწორად ახსნა ჩარლზ დარვინმა (1859წ.).

მენდელისა და სხვა გენეტიკოსების ექსპერიმენტებთან ერთად, წიგნში განხილულია სხვა ცნობილი ექსპერიმენტებიც, მაგალითად, ისეთი, რომელიც ეხება ტრანსგენური ორგანიზმების მიღებას, კლონირებას, ადამიანის ორგანიზმიდან ლეროვანი უჯრედების გამოყოფასა და მათი როლის კვლევას სხვადასხვა დაავადების განკურნებაში; ასევე, ცხოველების მოდელურ ორგანიზმებად გამოყენებას ადამიანის რომელიმე დაავადების მკურნალობის მეთოდების შესამუშავებლად. აღსანიშნავია, რომ კვლევითმა დაწესებულებებმა ასეთი ტიპის ექსპერიმენტების ჩასატარებლად უნდა მიიღონ ქვეყნის კანონმდებლობით განსაზღვრული შესაბამისი ნებართვა, რომელიც არ ეწინააღმდეგება ბიოეთიკის საკითხებს (იხ. გვ. 98).

წიგნში წარმოდგენილი არიან ის მეცნიერები, რომლებთანაც დაკავშირებულია მნიშვნელოვანი მეცნიერული აღმოჩენები ბიოლოგიაში. მათ შორის ჭარბობენ მამაკაცები. ეს იმას არ ნიშნავს, რომ ქალებს კაცებთან შედარებით ნაკლები უნარები და გონებრივი

შესაძლებლობები ჰქონდათ ბიოლოგიისა და მეცნიერების სხვა დარგების შესასწავლად. საუკუნეების განმავლობაში არაერთმა ქალმა შეიტანა მეცნიერების განვითარებაში წვლილი. თუმცა, ხშირ შემთხვევაში, მათ აღმოჩენებს ან საერთოდ არ აღიარებდნენ, ან, თუ აღიარებდნენ, ამასაც დიდი დრო სჭირდებოდა. ეს დაკავშირებული იყო საზოგადოებაში გავრცელებულ გენდერულ სტერეოტიპებთან – ქალის სოციალურ მდგომარეობასა და როლთან. დღეს არაერთი ქალი წარმატებით მოღვაწეობს მეცნიერების სხვადასხვა დარგში.

როგორ უნდა ისარგებლო სახელმძღვანელოთი?

ყოველ ადამიანს აქვს სწავლის თავისი ხერხი, მაგრამ ქვემოთ მოცემული რჩევები, ვფიქრობთ, მაქსიმალურად დაგეხმარება სახელმძღვანელოს ეფექტურად გამოყენებაში.

- ყურადღებით გაეცანი სახელმძღვანელოში მოცემული რუბრიკების აღწერილობას;
- გაეცანი თემის შესავალ ნაწილს, რომელიც წარმოდგენას შეგიქმნის მისი შინაარსისა და ძირითადი იდეების შესახებ;
- პარაგრაფის შინაარსის გაცნობამდე გაეცანი რუბრიკას „ძირითადი ცნებები, ქვეცნებები, მეცნიერული ტერმინები და მათთან დაკავშირებული საკითხები“;
- სახელმძღვანელოში მოცემული რუბრიკა „გაიხსენე, იმსჯელე“ დაგეხმარება ბიოლოგიისა და სხვა საგნებში ადრე მიღებული ცოდნის გააქტიურებაში, ახალი საკითხების გააზრებულად და ღრმად შესწავლაში; ამ რუბრიკაში მოცემულია სადისკუსიო თემები და პრობლემური კითხვები, საინტერესო ფაქტები შესასწავლი საკითხის შესახებ;
- გაეცანი პარაგრაფის შინაარსს, ტექსტის გარდა, ისარგებლე ილუსტრაციებითა და მათზე მოცემული ტექსტური ინფორმაციით; პარაგრაფის ნაკითხვის შემდეგ ახსენი ან განმარტე ცნებები, ტერმინები და მათთან დაკავშირებული საკითხები. ამაში დაგეხმარება პარაგრაფში მოცემულ დავალებებზე მუშაობა (ტექსტში „*“ით აღნიშნული სიტყვების განმარტება იხილე განმარტებით ლექსიკონში);
- ყურადღებით გაეცანი და კარგად დაიმახსოვრე პარაგრაფის ბოლოს „შეჯამებაში“ მოცემული ძირითადი იდეები;
- თეორიულ მასალასთან დაკავშირებულ საინტერესო ისტორიებს, ამ საკითხების ტექნოლოგიებსა და ცხოვრებისეულ პრაქტიკასთან კავშირის შესახებ შეიტყობ რუბრიკაში – „მეცნიერება პრაქტიკაში“;
- თემის დასრულების შემდეგ მოცემულია თემის შეჯამება, რომელშიც თავმოყრილია მთავარი იდეები, მრავალფეროვანი დავალებები თვითშეფასებისთვის. დავალებების შესრულება დაგეხმარება თემის ფარგლებში შესწავლილ ძირითად ცნებებს, ქვეცნებებსა და სამეცნიერო ტერმინებს შორის კავშირის დადგენაში;
- ყურადღება მიაქციე და საჭიროებისამებრ გამოიყენე სახელმძღვანელოს ბოლოში მოცემული დანართები (მაგ., დანართი 1 – ელექტრონული სასწავლო რესურსები).

რა აქტივობებს შეასრულებ?

შენ გელის ძალიან საინტერესო და მრავალფეროვანი აქტივობები, რომლებსაც გთავაზობთ სახელმძღვანელოში, მაგალითად, სამეცნიერო მოხსენების მომზადება და შესაბამისი აუდიტორიის წინაშე წარდგენა, ბიოლოგიური სისტემებისა და პროცესების

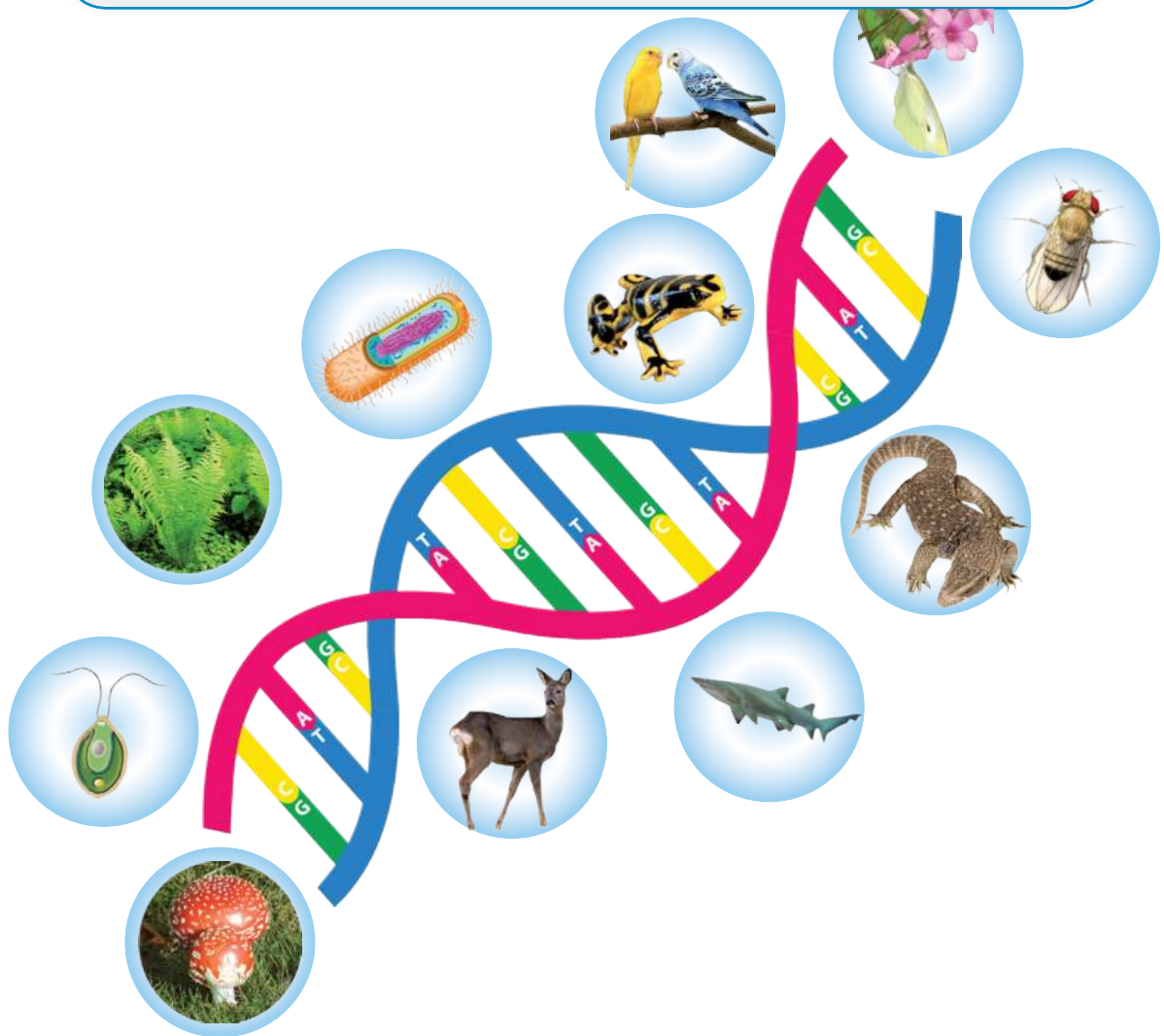
მოდელის შექმნა, გენეტიკური ამოცანების შექმნა და ამოხსნა, საპრეზენტაციო მასალის წარმოდგენა ფლიპჩარტებზე ან ელექტრონულ ფორმატში, ბიოლოგიური პროცესების, მოვლენების, კანონზომიერებების ამსახველი სქემების შედგენა და წარდგენა კლასის წინაშე, არგუმენტირებული მსჯელობა და სხვ. ამ აქტივობების შესრულება დაგეხმარება თეორიული საკითხების ცხოვრებისეულ პრაქტიკასა და/ან ყოველდღიურ ცხოვრებასთან დაკავშირებაში.

საბუნებისმეტყველო საგნების სწავლების ერთ-ერთი პრიორიტეტული მიზანია მოსწავლეებში კვლევითი უნარ-ჩვევების განვითარება. ამიტომ XI კლასის სახელმძღვანელოში ბევრი აქტივობა ემსახურება ამ მიზანს. როგორც იცით, ბიოლოგიის კვლევის ერთ-ერთი მეთოდია სამეცნიერო მეთოდი, რომელიც მოიცავს ექსპერიმენტებს თავიანთი განსაზღვრული ნაბიჯებით. სახელმძღვანელოში წარმოდგენილია აქტივობები, რომელთა მიხედვითაც მოგიწევს ექსპერიმენტის, ცდების დაგეგმვა და განხორციელება. კვლევითი სამუშაოს განხორციელებისას დაგჭირდება მონაცემების შეგროვება სხვადასხვა ხერხით (მონაცემების ცხრილი, სურათები, ვიდეომასალა და სხვ.), მონაცემების ინტერპრეტაცია დიაგრამებში, ანალიზი და დასკვნის გამოტანა, კვლევის ანგარიშის მომზადება და გაზიარება კლასისთვის. მოგიწევს ცნობილი ექსპერიმენტების ანალიზი და დასკვნების გამოტანა, ამ კვლევების მნიშვნელობის შეფასება.

ბიოტექნოლოგიის განვითარებამ და ჩვენს ცხოვრებაში მისმა მასშტაბურმა შემოჭრამ ბიოეთიკის პრობლემური საკითხებიც წამოჭრა. ამიტომ ამ საკითხებზე მუშაობის პროცესში მოგიწევს მსჯელობა ბიოტექნოლოგიის ზოგიერთი მიმართულების თანამედროვე მიღწევებისა და სამომავლო განვითარებასთან დაკავშირებულ ბიოეთიკის საკითხებზე.

ვიმედოვნებთ, რომ მოგეწონებათ ამ წიგნით მუშაობა!
გისურვებთ წარმატებებს!

თემა 1. გენეტიკა



- ორგანიზმების რა საერთო სასიცოცხლო თვისებაზე მიუთითებს სურათი?
- რასთანაა დაკავშირებული დნმ-ის მრავალფეროვნება?
- როგორ განაპირობებს დნმ-ის მრავალფეროვნება ბიომრავალფეროვნებას?

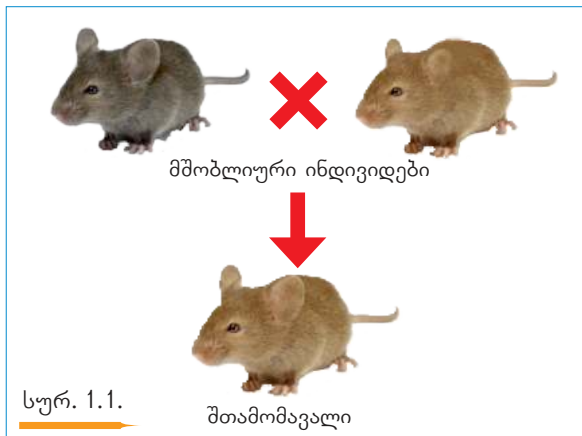
გენეტიკა მეცნიერებაა მემკვიდრეობითობისა და ცვალებადობის კანონზომიერებების შესახებ. შენ ამ თემაში შეისწავლი მემკვიდრეობითობისა და ცვალებადობის კანონზომიერებებს ორგანიზმის, უჯრედისა და მოლეკულურ დონეზე. პრაქტიკული თვალსაზრისით კი განვიხილავთ იმ რევოლუციურ ცვლილებებს, რომლებიც თანამედროვე გენეტიკამ მედიცინასა და სოფლის მეურნეობაში მოახდინა. ასევე ვისმჯელებთ ზოგიერთ სოციალურ და ეთიკურ საკითხებზე, რომელიც გენეტიკური მასალით მანიპულირების შესაძლებლობამ წამოჭრა.



რა არის მენდელის კვლევის შედეგების წარმატების მიზეზი?



• **სასიცოცხლო თვისებები:** მემკვიდრეობითობა და ცვალებადობა; მენდელის ექსპერიმენტები და კვლევის მეთოდები.



- რა სასიცოცხლო თვისებების გამოვლენას ასახავს სურათი 1.1?
- დაახასიათე მშობლიური ინდივიდები და შთამომავალი გარეგანი ნიშან-თვისებების მიხედვით.
- დაასახელე ის ნიშან-თვისებები, რომლებიც ახალმა თაობამ მიიღო თითოეული მშობლიური ინდივიდისგან. რა სასიცოცხლო თვისება გამოვლინდა ამ შემთხვევაში?
- რა სასიცოცხლო თვისებამ უზრუნველყო მშობლებისგან შთამომავალზე ნიშან-თვისებების გადაცემა?
- შთამომავალი არის რომელიმე მშობლიური ინდივიდის ზუსტი ასლი? რატომ? რა სასიცოცხლო თვისება გამოვლინდა ამ შემთხვევაში?

როდესაც ჩვენ ვფიქრობთ იმაზე, თუ შთამომავალი რამდენად ჰგავს ან განსხვავდება მშობლებისგან, ამ დროს ვგულისხმობთ ისეთ ნიშან-თვისებებს, რომლებიც მემკვიდრეობით გადაეცემა, მაგალითად, როგორიცაა თვალის ფერი, კანისა და ბეწვის ფერი, ჭოროფლიანობა/უჭოროფლობა, ფოთლების ფორმა, ყვავილების შეფერილობა და სხვ. **მემკვიდრეობითობა** არის ყველა ცოცხალის თვისება, შეინარჩუნოს მშობლებისგან მიღებული ნიშან-თვისებები და გადასცეს იგი შთამომავლობას. მემკვიდრეობითობის ელემენტარულ ფუნქციურ ერთეულს წარმოადგენს დნმ-ის უბანი – **გენი**, რომელიც ორგანიზმის ცალკეული ნიშან-თვისების შესახებ შეიცავს ინფორმაციას. **ნიშან-თვისებაში** იგულისხმება ორგანიზმის (უჯრედის) აგებულების, ფიზიოლოგიური, ბიოქიმიური პროცესების თავისებურებები.

ცვალებადობა არის ყველა ორგანიზმისთვის დამახასიათებელი ზოგადი თვისება, ინდივიდუალური განვითარების პროცესში შეიძინოს ახალი ნიშან-თვისებები. ცვალებადობა დაკავშირებულია გენების ცვლილებასთან ან მათ ახალ კომბინაციებთან, ასევე,

ინდივიდუალური განვითარების პროცესში გენების გამოვლენაზე გარემო ფაქტორების ზემოქმედებასთან. ბიოლოგიური მემკვიდრეობითობისა და ცვალებადობის მექანიზმსა და კანონზომიერებებს შეისწავლის მეცნიერების დარგი – **გენეტიკა**.

მეცნიერებმა, სანამ ახსნიდნენ მემკვიდრული ნიშან-თვისებების გადაცემის მექანიზმს, იქამდე გაიაზრეს, რომ ნიშან-თვისებები მემკვიდრეობით გადაეცემოდა (იხ. შესაბამისი ინფორმაცია რუბრიკაში – „მეცნიერება პრაქტიკაში“, გვ.12). თაობების განმავლობაში მემკვიდრული ნიშნების გადაცემის საიდუმლოება ყოველთვის აღძრავდა ადამიანებში დიდ ინტერესს. რა არის მემკვიდრეობითობა? რაზეა ის დამოკიდებული? რა განსაზღვრავს მას? რატომ ჰგვანან შთამომავლები მშობლებს არა მარტო გარეგულად, არამედ ხასიათით, ქცევით, ნიჭით? რატომაა ზოგიერთი დაავადება მემკვიდრული? რა გზით გადასცემს მცენარეთა და ცხოველთა ყოველი სახეობა თუ ჯიში მისთვის დამახასიათებელ თავისებურებებს შთამომავლებს? რა კანონზომიერებას ემორჩილება ეს პროცესი?

მეკვიდრეობითობის მექანიზმების სწორი მეცნიერული ახსნა მხოლოდ XIX და XX საუკუნეების უდიდესი აღმოჩენების შედეგად გახდა შესაძლებელი. ყველაფერი ეს კი დაიწყო ავსტრიელი ბერის, გრეგორ მენდელის, ექსპერიმენტებით (სურ. 1.2). მისმა შრომებმა საფუძველი ჩაუყარა მეცნიერების ახალ დარგს – გენეტიკას.



სურ. 1.2.

მენდელი დაინტერესდა მცენარეებში ნიშან-თვისებების მემკვიდრეობის შესწავლით და გამოკვლევები დაიწყო 1856 წლის ზაფხულში. ცდის ობიექტად შეარჩია ბარდა, რომელსაც ახასიათებს შემდეგი თვისებები: არსებობს გარეგანი ნიშან-თვისებებით მკვეთრად განსხვავებული მრავალი ჯიში (ცნობილია 34 ჯიში), მცენარე ადვილად მრავლდება, თვითმტვერია მცენარეა, შეიძლება ხელოვნური ჯვარედინი დამტვერვით სხვადასხვა ჯიშის შეჯვარება და მიღებული შთამომავლობა ნაყოფიერია.

მენდელმა შეიმუშავა და გამოიყენა კვლევის **ჰიბრიდოლოგიური მეთოდი** – ნიშან-თვისებებით განსხვავებული ორგანიზმების შეჯვარება – **ჰიბრიდიზაცია**. ამ შეჯვარებით მიღებულ შთამომავლობას კი **ჰიბრიდი**

წოდება. მან ბარდაში შეარჩია 7 წყვილი ალტერნატიული (ურთიერთგამომრიცხავი) ნიშან-თვისება (სურ. 1.3) და აკვირდებოდა მათ მემკვიდრეობას სხვადასხვა თაობაში. ყველა ეს ნიშან-თვისება აღმოჩნდა ურთიერთგამომრიცხავი და არ ამჟღავნებდა შუალედურ ხასიათს (მცენარის ღერო არის მაღალი ან დაბალი, თესლი გლუვი ან დანაოჭებული, ყვითელი ან მწვანე). მენდელმა არ იცოდა, რომ მის მიერ შერჩეული ნიშან-თვისებების უმრავლესობა კონტროლდება გენებით, რომლებიც განთავსებულია სხვადასხვა ჰომოლოგიურ ქრომოსომაში. ზუსტად ამ ნიშან-თვისებების შემთხვევით შერჩევამ გადამწყვეტი როლი შეასრულა მის მიერ ზოგიერთი მემკვიდრული კანონზომიერების აღმოჩენაში.

თესლის ფორმა	თესლის შეფერილობა	ნაყოფის შეფერილობა	ნაყოფის ფორმა	ყვავილის შეფერილობა	ყვავილის მდებარეობა	ღეროს სიმაღლე
გლუვი	ყვითელი	მწვანე	ბრტყელი	მენამული	კენწრული	მაღალი
						
დანაოჭებული	მწვანე	ყვითელი	დატიხრული	თეთრი	გვერდითი	დაბალი
						

სურ. 1.3.

მენდელამდე სხვა მეცნიერებიც ატარებდნენ მსგავს ექსპერიმენტებს მცენარეებზე, მაგრამ მათ ვერ მიიღეს ასეთი ზუსტი მონაცემები. გარდა ამისა, მათ ვერ შეძლეს კვლევის შედეგების ახსნა მემკვიდრეობითობის მექა-

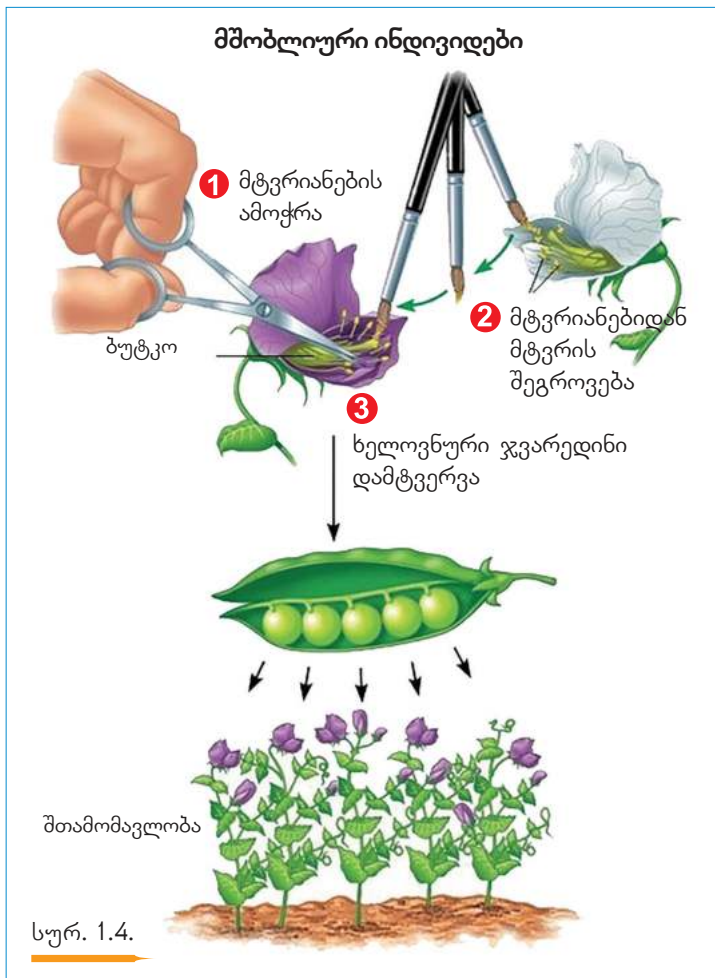
ნიზმის თვალსაზრისით.

მენდელის კვლევების თავისებურებანი შემდეგში მდგომარეობს:

- სხვა მეცნიერთაგან განსხვავებით, მცენარის ყველა ნიშან-თვისების მემკვიდრეობას

(თაობიდან თაობაში გადაცემას) ერთდროულად კი არ შეისწავლიდა, არამედ ჯერ შეისწავლა ერთი ნიშან-თვისების (მაგ., თესლის ფორმის ან შეფერილობის), მერე ორი, სამი ნიშან-თვისების მემკვიდრეობა;

- ექსპერიმენტის ობიექტის გასაცნობად წინასწარ ატარებდა გამოკვლევებს. მაგალითად, მან შესაჯვარებლად შეარჩია მენამულყვავილიანი და თეთრყვავილიანი ჯიშების ბარდა, ეს მცენარეები ჯერ თვითდამტვერვით გაამრავლა და დარწმუნდა, რომ მენამულყვავილიანი ჯიშის მცენარეების ყველა შთამომავალი მხოლოდ მენამული შეფერილობის ყვავილებს ივითარებდა, თეთრყვავილიანი ჯიშის მცენარეების ყველა შთამომავალი კი მხოლოდ — თეთრი შეფერილობის ყვავილებს. ორი წლის შემონმების შემდეგ მენდელი დარწმუნდა, რომ თითოეული ჯიში თვითდამტვერვით გამრავლებისას მხოლოდ თავის მსგავს შთამომავლობას იძლეოდა. ასეთ ჯიშებს **წმინდა ხაზები** ეწოდება. რადგან მენდელი ექსპერიმენტს წმინდა ხა-



ზების შეჯვარებით იწყებდა, ის თვლიდა, რომ შთამომავლობაში ნებისმიერი ცვლი-



მრავალი არქეოლოგიური გათხრის მონაცემებით, უკვე 6000 წლის წინ ადამიანებს ესმოდათ, რომ ზოგიერთი ფიზიკური ნიშანი შეიძლება ერთი თაობიდან მეორეს გადასცემოდა. მემკვიდრეობითობის მექანიზმების შესახებ პირველ იდეებს გამოთქვამდნენ ბერძენი მეცნიერები – დემოკრიტე, ჰიპოკრატე, პლატონი, არისტოტელე. „აღმოჩენას“ იმის შესახებ, რომ ცოცხალი ორგანიზმების ნიშან-თვისებები მათ შთამომავლობას გადაეცემა, ადამიანი ჯერ კიდევ უძველეს დროში წარმატებით იყენებდა სოფლის მეურნეობაში: სასურველი ნიშან-თვისებების მქონე ინდივიდების გადარჩევითა და ერთმანეთთან შეჯვარებით ცხოველთა და მცენარეთა ახალ ჯიშებს იღებდა. გადარჩევა ნახსენებია ჰომეროსის, ვირგილიუსისა და სხვა ანტიკური მწერლების ნაწარმოებში. ჩვ.წ.-მდე I საუკუნეში ცელსუსი წერდა: „თუ ხორბლის მოსავალი ცუდია, სათესლედ საუკეთესო თავთავები უნდა შეარჩიოთ“. მაგრამ იმ პერიოდის ადამიანს, რა თქმა უნდა, არ შეეძლო აეხსნა, რატომ ჰგავს შვილეული ორგანიზმი მშობლებს ან რა კანონზომიერებით გადაეცემა ნიშან-თვისება თაობიდან თაობას. ამ კითხვაზე პასუხი კაცობრიობას ძალიან დიდხანს არ ჰქონდა.

ყველა ამ კითხვაზე სწორი და დასაბუთებული პასუხის გაცემა შესაძლებელი გახდა მას შემდეგ, რაც 1900 წელს დაიბადა მეცნიერების ახალი დარგი – გენეტიკა (ამ სამეცნიერო დისციპლინის სახელწოდება შემოიტანა ინგლისელმა ნატურალისტმა უილიამ ბეტსონმა 1905 წელს, ხოლო ტერმინი „გენი“ – 1909 წელს იოჰანსენმა). 1900 წელს მენდელის კანონები მეორედ აღმოაჩინა და სათანადოდ შეაფასა მენდელის ღვაწლი ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად სამმა მეცნიერმა – დე ფრიზმა (ჰოლანდია), კორენსმა (გერმანია) და ჩერმაცმა (ავსტრალია).

- ლება შეჯვარებით იქნებოდა გამონეული;
- მენდელი ყველა ექსპერიმენტს დანვრით-ბით გეგმავდა და, ასევე, თანმიმდევრობით ახორციელებდა. მაგალითად, ჯიშების ჰიბრიდიზაციამდე ერთი ჯიშის მცენარეებს ყვავილში აცლიდა მტვრიანებს (აქედან გამომდინარე, მენდელი ასეთ ინდივიდებს „მდედრობითს“ უწოდებდა), მეორე ჯიშის მცენარეების მტვრიანებიდან ფუნჯით აგროვებდა მტვერს („მამრობითი“ ინდივიდები) და მათ ჯვარედინად ხელოვნურად მტვერავდა; ამის შემდეგ ხელოვნურად დამტვერილ ყვავილებს ჩამოაცმევდა პა-

ტარა პარკებს (სურ. 1.4);

- მეცნიერი არეგისტრირებდა ჩატარებულ ექსპერიმენტს და მიღებულ მონაცემებს მათემატიკური სიზუსტით აღრიცხავდა. მაგალითად, იგი ზუსტად ითვლიდა, თუ შთამომავლობის რამდენ ინდივიდში გამოი-ჟლავდა გამოსაკვლევი ნიშან-თვისება;
- იგი აჯვარებდა გამოსაკვლევ ჯიშთა წყვილების მრავალ მცენარეს და აგროვებდა დიდი რაოდენობის **სტატისტიკურ მონაცემებს**, შემდეგ აანალიზებდა ამ მონაცემებს, რის საფუძველზეც გამოჰქონდა დასკვნები.



1. რას შეისწავლის მეცნიერების დარგი – გენეტიკა?
2. დაასახელე მენდელის კვლევის მეთოდი.
3. რა იყო მენდელის წარმატების მიზეზი?
4. რა არის თვითდამტვერვა? რა არის ჯვარედინი დამტვერვა?
5. რატომ აცლიდა ყვავილში ერთი ჯიშის მცენარეებს მტვრიანებს?
6. ხელოვნურად დამტვერილ ყვავილებს რატომ აფარებდა პარკებს?
7. მოიპოვე დამატებითი ინფორმაცია მენდელის ბიოგრაფიისა და მოღვაწეობის შესახებ და წარმოადგინე სამეცნიერო რეფერატის სახით.



გრეგორ მენდელის წარმატების ძირითადი მიზეზები:

- კვლევის ეფექტური ობიექტისა (ბარდის) და მეთოდების არჩევა;
- სხვა მეცნიერებისგან განსხვავებით, მან ექსპერიმენტები დაიწყო ერთი წყვილი ალტერნატიული ნიშან-თვისების მემკვიდრეობის შესწავლით;
- თავისი ექსპერიმენტების სანყის ობიექტად ჰიბრიდიზაციისათვის ირჩევა წმინდა ხაზებს/ჯიშებს.



როგორ ახსნა მენდელმა თაობიდან თაობაზე მემკვიდრული ნიშან-თვისებების გადაცემის მექანიზმი?



• **სტრუქტურა და ფუნქცია:** დნმ-ის სტრუქტურა და ფუნქციები – გენი, ალელი, დომინანტური ალელი, რეცესიული ალელი; გენოტიპი (ჰომოზიგოტური, ჰეტეროზიგოტური).

• **სასიცოცხლო თვისებები:** მემკვიდრეობითობის კანონზომიერებები — ერთგვაროვნების წესი, დათიშვის კანონი.

• **ბიომრავალფეროვნება:** მემკვიდრეობითობისა და ცვალებადობის როლი ბიომრავალფეროვნებაში.

პირველი ექსპერიმენტის დროს მენდელი აკვირდებოდა ერთი რომელიმე ნიშნის, მაგალითად, ყვავილის ან თესლის ფერის, თესლის ან ნაყოფის ფორმის მემკვიდრეობას თაობათა განმავლობაში. მენდელი არჩევდა ბარდის ორ სხვადასხვა ჯიშს, აჯვარებდა მათ და აკვირდებოდა ერთი წყვილი კონკრეტული ალტერნატიული ნიშნის მემკვიდრეობას. ასეთ შეჯვა-



• რაში მდგომარეობს მენდელის ექსპერიმენტების წარმატების მიზეზები?

• როგორ ფიქრობ, რატომ დაიწყო მენდელმა თავისი ექსპერიმენტები წმინდა ხაზების შეჯვარებით?

• რა არის პოპულაცია?

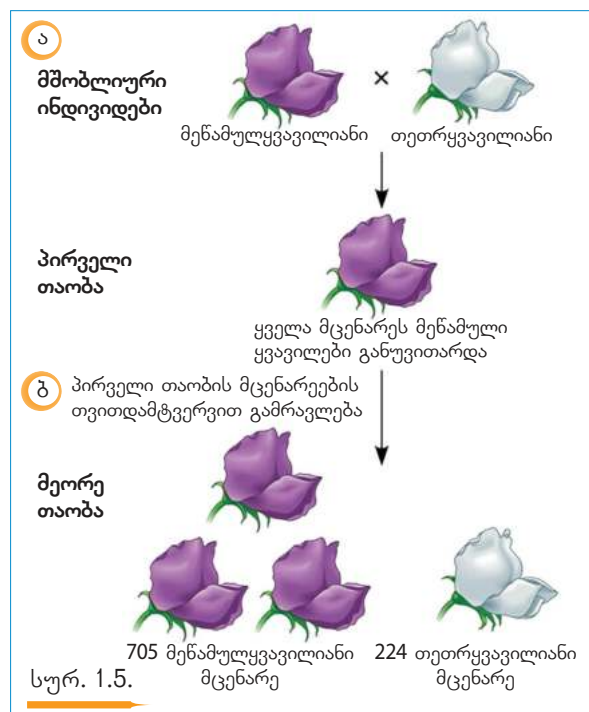
• როგორ უზრუნველყოფს სქესობრივი გამრავლება პოპულაციის გენეტიკურ მრავალფეროვნებას?

რებას **მონოჰიბრიდული შეჯვარება** ეწოდება.

მენდელმა ერთმანეთს შეაჯვარა მენამულ-ყვავილიანი და თეთრყვავილიანი წმინდა ჯიშის ბარდები და დააკვირდა შთამომავლობაში ამ ნიშან-თვისების მემკვიდრეობას. პირველ თაობაში მიღებულ ყველა ჰიბრიდს მენამული შეფერილობის ყვავილი განუვითარდა (სურ. 1.5.ა), ე. ი. ყველა ინდივიდი ამ ნიშან-თვისების მიხედვით ერთგვაროვანი იყო. ამიტომ ამ მოვლენას **პირველი თაობის ერთგვაროვნების წესი (მენდელის პირველ კანონს)** უწოდებენ. ნიშან-თვისებას, რომელიც ჰიბრიდთა პირველ თაობაში ყველა მცენარეში გამოემჟღავნა, მენდელმა **დომინანტური** (ლათინურად, *dominans* — გაბატონებული) უწოდა.

პირველი თაობის მცენარეები თვითდამტევრვით გაამრავლა და ასე მიიღო ჰიბრიდების მეორე თაობა. მეორე თაობაში მენდელმა მენამულყვავილიანი მცენარეების გარდა თეთრყვავილიანი მცენარეებიც აღმოაჩინა, ანუ მოხდა ამ ნიშან-თვისების მიხედვით **დათიშვა** (სურ. 1.5.ბ). მან გაიაზრა, რომ ეს ნიშან-თვისება იყო პირველ თაობაშიც დაფარული სახით, მაგრამ არ შეეძლო გამოემჟღავნება. მენდელმა „დაფარულ“, დათრგუნულ ნიშან-თვისებას **რეცესიული** (ლათინ. *recessus* — უკუქცეული, დათრგუნული) უწოდა.

მენდელმა ზუსტად დაითვალა მენამულყვავილიანი და თეთრყვავილიანი მცენარეების



1. სურათ 1.5-ზე განხილული მაგალითის მიხედვით, დაასახელე დომინანტური და რეცესიული ნიშნები.

რაოდენობა. მენამულყვავილიანი მცენარეები აღმოჩნდა 705, ხოლო თეთრყვავილიანი – 224, ანუ მენამულყვავილიანი მცენარეების თეთრყვავილიან მცენარეებთან თანაფარდობამ შეადგინა 3 : 1.

კვლევის შედეგების ანალიზის საფუძველზე მენდელმა შემდეგი დასკვნები გამოიტანა:

- ყოველ ორგანიზმში არსებობს მემკვიდრული „ფაქტორები“, რომლებიც მართავენ ნიშან-თვისებების გამოვლენას და თაობათა განმავლობაში შენარჩუნდებიან. ივარაუდა, რომ ყველა მცენარეს ცალკეული ნიშნისთვის აქვს მემკვიდრულ ფაქტორთა წყვილები;
- ყვავილის მენამული შეფერილობის „ფაქტორები“ დომინანტურია, იგი აღნიშნა ლათინური დიდი ასოთი (მაგ., **A**). თეთრი კი — რეცესიული, იგი აღნიშნა შესაბამისი ლათინური პატარა ასოთი (**a**);
- რამდენადაც საწყისი მშობლიური ინდივიდები წმინდა ხაზებს მიეკუთვნებოდნენ, მენამულყვავილიანი ჯიშის მცენარეებს უნდა ჰქონოდა 2 „მენამული ფაქტორი“ (**AA**), ხოლო თეთრყვავილიანს — 2 „თეთრი ფაქტორი“ (**aa**);
- მენდელმა მიღებული შედეგი ახსნა **გამეტათა სინმინდის ჰიპოთეზით**, რასაც დამტკიცების შემდეგ **გამეტათა სინმინდის წესი ეწოდა**. სქესობრივი გამრავლების დროს თაობებს შორის კავშირი გამეტებით მყარდება. ერთ გამეტაში წყვილი ფაქტორიდან თითო მოხვდება; ამიტომ პირველი თაობის მცენარეები გამეტების საშუალებით ყოვე-

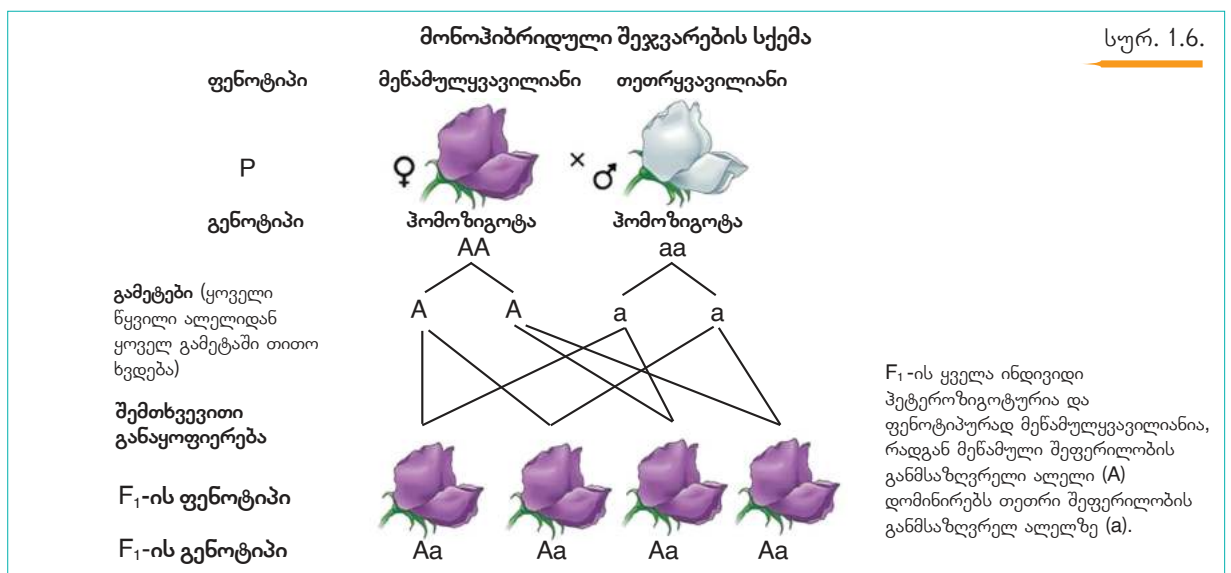
ლი მშობლისგან იღებენ თითო მემკვიდრულ ფაქტორს (ერთი მშობლისგან **A**-ს და მეორისგან — **a**-ს); ეს ფაქტორები პირველ თაობაში განაყოფიერების დროს არ შეერწყმებიან ერთმანეთს, არამედ ინარჩუნებენ თავიანთ ინდივიდუალობას;

- რადგან მეორე თაობაში კვლავ გამოჩნდა ყვავილების თეთრი შეფერილობა, ეს ნიშანი პირველ თაობაშიც არ გამქრალა, არამედ იგი შენიღბული იყო დომინანტური ნიშნით — მენამული შეფერილობით.

ზემოთ აღწერილი მენდელის გამოკვლევები შეიძლება განვიხილოთ თანამედროვე გენეტიკური ტერმინოლოგიითა და სიმბოლოებით (იხ. ცხრ. 1.1.). მონოჰიბრიდული შეჯვარება გენეტიკური ტერმინოლოგიითა და სიმბოლოებით წარმოდგენილია სურათ 1.6-ზე.

როგორც უკვე იცო, მენდელის მემკვიდრულ დისკრეტულ ერთეულს გენი ეწოდება. გენების უმრავლესობა განსხვავებული ფორმით არსებობს. მენდელის ექსპერიმენტებში გენის განსხვავებული ფორმების დანახვა ადვილია: მაგ., თესლის გლუვი ან დანაოჭებული ფორმის, ყვავილის მენამული ან თეთრი, თესლის ყვითელი ან მწვანე შეფერილობის განმსაზღვრელი გენის სახით და ა.შ. ალტერნატიული ნიშნების განმსაზღვრელი გენის ასეთ სახეცვლილებებს **ალელები** ეწოდება. ამრიგად, ალელი არის გენის არსებობის ფორმა.

დიპლოიდური სომატური უჯრედის ყოველი გენი წარმოდგენილია ორი ალელით. ეს ალელები შეიძლება იყოს ერთნაირი ან განსხვავებული. ტერმინი „ჰომოზიგოტური



გენოტიპი“ ნიშნავს იმას, რომ იგი შეიცავს მოცემული გენის ორ იდენტურ ალელს. მაგალითად, ორივე ალელი განსაზღვრავს ყვავილის თეთრ შეფერილობას (aa), ან მენამულ შეფერილობას (AA). ტერმინი

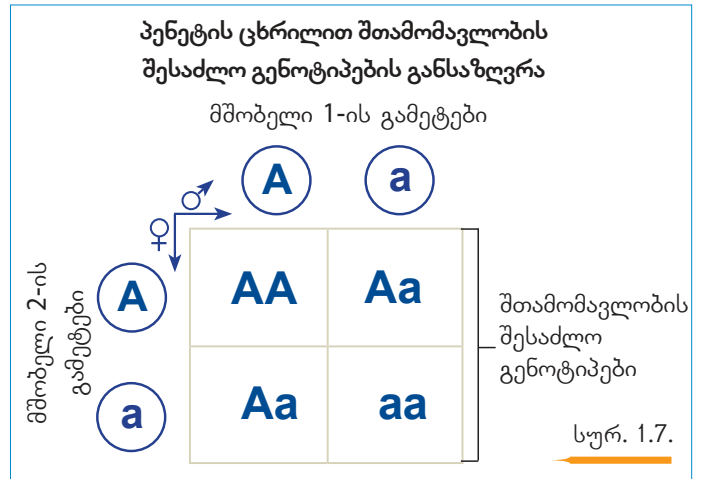
„ჰეტეროზიგოტური გენოტიპი“ აღნიშნავს, რომ იგი წარმოდგენილია გენის განსხვავებული ალელებით, მაგალითად, ერთი განსაზღვრავს ყვავილის თეთრ შეფერილობას, მეორე კი – მენამულს (Aa).

ცხრილი 1.1. გენეტიკური სიმბოლოები და ტერმინები		
ტერმინები და სიმბოლოები	განმარტება/ახსნა	მაგალითი
გენი	მოცემული ნიშან-თვისების ძირითადი მემკვიდრული მატერიალური ერთეული	გენი, რომელიც განსაზღვრავს ყვავილის ან თესლის შეფერილობას
ალელი	გენის არსებობის ფორმა, ანუ ერთი და იმავე გენის ალტერნატიული ფორმები, რომლებიც განსაზღვრავენ ალტერნატიულ (ურთიერთგამომრიცხავ) ნიშან-თვისებებს.	A (ყვავილის მენამული შეფერილობა) ან a (ყვავილის თეთრი შეფერილობა)
ლოკუსი	ქრომოსომაში ალელის ადგილმდებარეობა	l ^a
ჰომოზიგოტა	დიპლოიდი ორგანიზმი შეიცავს მოცემული გენის ორ იდენტურ ალელს და წარმოქმნის ერთი ტიპის გამეტებს, თავის მსგავსთან შეჯვარებით დათიშვას არ ამჟღავნებენ.	AA ან aa
ჰეტეროზიგოტა	დიპლოიდი შეიცავს მოცემული გენის სხვადასხვა ალელს და წარმოქმნის სხვადასხვა ტიპის გამეტებს, თავის მსგავსთან შეჯვარებით დათიშვას ამჟღავნებენ.	Aa
გენოტიპი	ინდივიდის ყველა გენის ერთობლიობაა. ვინაობა გაგებით, იგულისხმება მხოლოდ ის გენები, რომლებიც გამოსაკვლევ ნიშან-თვისებებს განსაზღვრავენ.	AA, Aa, aa
ფენოტიპი	ინდივიდის გარეგანი და შინაგანი ყველა ნიშან-თვისების ერთობლიობაა, რომელიც ფორმირდება მისი გენოტიპისა და გარემოს ურთიერთქმედებით. ვინაობა გაგებით, გამოსაკვლევ ნიშან-თვისების გამოვლენაა.	მენამული შეფერილობის ყვავილი ან თეთრი შეფერილობის ყვავილი
დომინანტური	ალელი, რომელიც განსაზღვრავს ფენოტიპს როგორც ჰომოზიგოტურ, ისე ჰეტეროზიგოტურ მდგომარეობაში.	A
რეცესიული	ალელი, რომელიც განსაზღვრავს ფენოტიპს მხოლოდ ჰომოზიგოტურ მდგომარეობაში.	a
F ₁ თაობა	პირველი ჰიბრიდული თაობა.	×
F ₂	მეორე ჰიბრიდული თაობა, რომელიც მიიღება თვითდამტევრით ან პირველი თაობის ინდივიდების ერთმანეთთან შეჯვარებით.	×
P	მშობლიური ორგანიზმები.	×
X	შეჯვარების ნიშანი.	×
♀	მდედრობითი სქესის ნიშანი.	×
♂	მამრობითი სქესის ნიშანი.	×



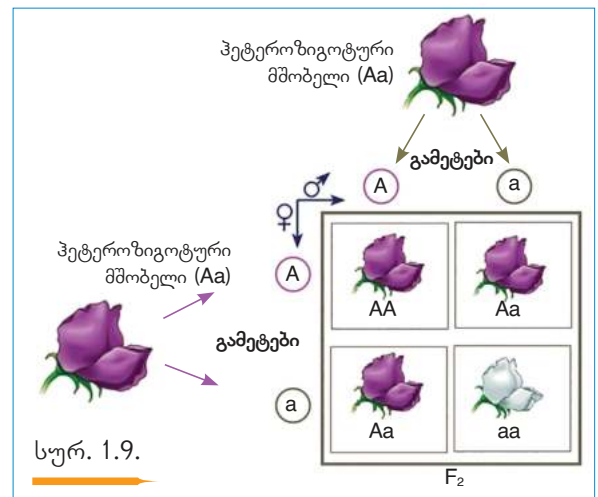
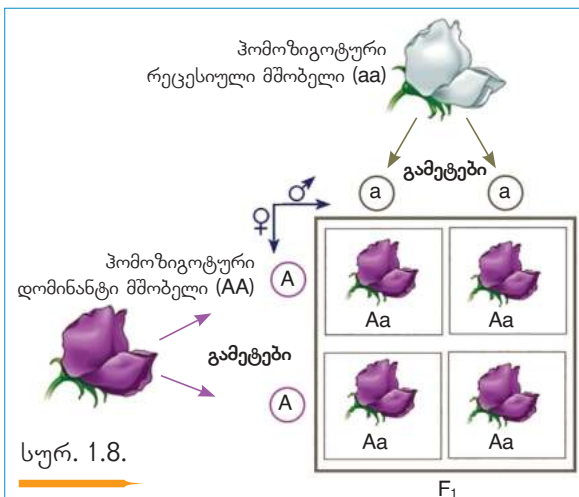
2. ცხრილში მოცემული ინფორმაციის საფუძველზე: 1) შეადარე და განასხვავე ტერმინები: ალელი და ლოკუსი; 2) ახსენი განსხვავება გენოტიპსა და ფენოტიპს შორის; 3) ბერძნულად „ჰომო“ ნიშნავს ერთნაირს, ერთსა და იმავეს; როგორ შეესაბამება ეს სიტყვა ტერმინს „ჰომოზიგოტური“? 4) ბერძნულად „ჰეტეროს“ ნიშნავს განსხვავებულს. როგორ შეესაბამება ეს სიტყვა ტერმინს „ჰეტეროზიგოტური“?
3. მოცემულია შემდეგი ტიპის გენოტიპები: AA, BB, Cc, Aa, CC, Bb. რომელია მათ შორის ჰომოზიგოტური და რომელი – ჰეტეროზიგოტური? ახსენი შენი პასუხი.

ძალიან მალე მას შემდეგ, რაც მენდელის ექსპერიმენტები მეცნიერების ფართო წრისთვის გახდა ცნობილი, ინგლისელმა გენეტიკოსმა რეჯინალდ პენეტმა შეიმუშავა ცხრილი (სურ. 1.7), რომლის საშუალებით შესაძლებელია შეჯვარების შედეგად მიღებული ყველა შესაძლო გენოტიპის ვარაუდი/განსაზღვრა. სამეცნიერო ლიტერატურაში იგი **პენეტის ცხრილის** სახელწოდებითაა ცნობილი. რამდენადაც შეჯვარებასა და განაყოფიერებას აქვს შემთხვევითი ხასიათი, ამიტომ ალელების ყოველი კონკრეტული კომბინაცია შეიძლება წარმოიქმნას ისეთივე შესაძლებლობით, როგორითაც ნებისმიერი სხვა კომბინაცია. ყოველი გენეტიკური კომბინაციის დათვლით ჩვენ შეიძლება განვსაზღვროთ შთამომავლობაში გენოტიპების თანაფარდობა. ასევე, თუ ჩვენ ვიცით თითოეული გენოტიპი რა სახის ფენოტიპს შეესაბამება, მაშინ ამ თაობაში ფენოტიპების მოსალოდნელ



თანაფარდობასაც განვსაზღვრავთ.

როგორც იცით, მენდელმა შეაჯვარა პირველი თაობის ჰეტეროზიგოტური ინდივიდები და ასე მიიღო მეორე თაობა (F_2). მენდელის მონოჰიბრიდული შეჯვარების შედეგები შეიძლება პენეტის ცხრილის საშუალებით წარმოვადგინოთ (სურ. 1.8 და 1.9).



- მენდელმა ჰიბრიდების პირველ თაობაში მხოლოდ მენამულყვავილიანი მცენარეები მიიღო, ხოლო მეორე თაობაში – როგორც მენამულყვავილიანი, ისე თეთრყვავილიანი მცენარეები. ეს ფაქტი რა დასკვნების გამოტანაში დაეხმარა მას?
- განიხილე სურათ 1.9-ზე მოცემული პენეტის ცხრილი და განსაზღვრე: 1) ფენოტიპურად რამდენგვარი ჰიბრიდია F_2 -ში? 2) როგორი თანაფარდობითაა წარმოდგენილი დომინანტური და რეცესიული ფენოტიპის ჰიბრიდები? 3) სამუშაო რეველში ამონერე F_2 ჰიბრიდების გენოტიპის ყველა შესაძლო ვარიანტი. 4) რა ტიპის გენოტიპი აქვთ მენამულყვავილიან ჰიბრიდებს და რა ტიპის – თეთრყვავილიან ჰიბრიდებს? რა დასკვნის გამოტანა შეიძლება ამ ფაქტიდან?
- რამდენად მნიშვნელოვანია, რომ მენდელმა ექსპერიმენტი დაიწყო წმინდა ხაზის მცენარეების შეჯვარებით?
- მენდელმა არ იცოდა დნმ-ის, როგორც გენეტიკური მატერიალური მასალის შესახებ, მაგრამ სწორად იწინასწარმეტყველა თაობებს შორის მემკვიდრული ინფორმაციის გადაცემის ხასიათი. მენდელის შრომები როგორ მეტყველებს გენეტიკის დარგში სამეცნიერო დაკვირვების მნიშვნელობის შესახებ?

F₂-ში ფენოტიპური დათიშვა ყვავილის შეფერილობის მიხედვით მოხდა ასე — 3 მენამულყვავილიანი: 1 თეთრყვავილიანი. მენდელმა სხვა ალტერნატიული წყვილი ნიშან-თვისებების მემკვიდრეობაც შეისწავლა და ყოველ ჯერზე F₂-ში ფენოტიპური დათიშვა მიიღო თანაფარდობით — 3 : 1. ეს მოვლენა ცნობილია **დათიშვის კანონის** (მენდელის II კანონი) სახელწოდებით.

დათიშვის კანონის თანახმად, მონოჰიბრი-



სურ. 1.10.

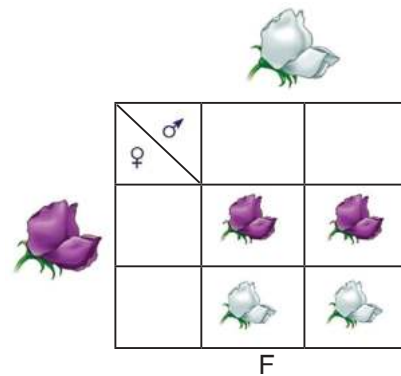
ჰაბსბურგების დინასტია

დული შეჯვარების დროს მიღებული პირველი თაობის ჰიბრიდების თვითდამტკვერვის გზით ან ერთმანეთთან შეჯვარებით გამრავლებისას მეორე თაობაში გამოვლინდება როგორც დომინანტური, ისე რეცესიული ნიშან-თვისება თანაფარდობით 3:1.

თუ პენეტის ცხრილს (სურ. 1.9) დაუკვირდებით, ნახავთ, რომ გენოტიპური დათიშვის თანაფარდობა ფენოტიპური დათიშვის თანაფარდობისგან განსხვავდება და იგი ასეთია: 1AA : 2Aa : 1aa. ეს გამოწვეულია იმით, რომ ფენოტიპურად დომინანტურ ნიშანს განსაზღვრავს ორი შესაძლო გენოტიპი: ჰომოზიგოტა — AA ან ჰეტეროზიგოტა — Aa.

მენდელის მიერ დადგენილი მემკვიდრეობის კანონზომიერებები ვრცელდება ყველა ცოცხალ ორგანიზმზე, მათ შორის ადამიანზეც. სურათ 1.10-ზე წარმოდგენილია ევროპის ერთ-ერთი ყველაზე ძლევამოსილი სამეფო საგვარეულო დინასტიის — ჰაბსბურგების წარმომადგენლები, რომელთაც ჰქონდათ მსხვილი ქვედა ტუჩი და ვიწრო, წამოწეული ქვედა ყბა.

- აბსენი, რატომ შეიძლება, ორგანიზმის გენოტიპი იყოს დომინანტური ჰომოზიგოტური, რეცესიული ჰომოზიგოტური, დომინანტური ჰეტეროზიგოტური და არასოდეს არ იქნება რეცესიული ჰეტეროზიგოტური.
- ჭორფლიანობა დომინანტური ალელით არის განპირობებული, ხოლო უჭორფლობა — რეცესიულით. ამ ალელების წყვილებიდან — CC, Cc და cc — რომელი განაპირობებს უჭორფლო ფენოტიპს?
- როგორი ტიპის გამეტები წარმოიქმნება ასეთი გენოტიპის ინდივიდებში: 1) AA, 2) Bb, 3) Cc.
- სურათზე მოცემული მშობლიური ინდივიდებისა და ჰიბრიდების ფენოტიპების მიხედვით განსაზღვრე: 1) შთამომავლობის გენოტიპები; 2) მშობლების გენოტიპები; 3) გენოტიპური და ფენოტიპური დათიშვის თანაფარდობა; პენეტის ცხრილი გადაიტანე სამუშაო რვეულში და შეავსე.
- ორი ჰეტეროზიგოტური მშობლიური ინდივიდის შეჯვარებით მიღებული რეცესიული ჰომოზიგოტური ჰიბრიდები მთელი შთამომავლობის მხოლოდ 1/4-ს შეადგენს. მიუხედავად ამისა, ზოგიერთ პოპულაციაში გენის რეცესიული ალელი ფართოდაა გავრცელებული. აბსენი, რით შეიძლება იყოს გამონეული ეს ფაქტი?
- წარმოიდგინე, რომ იკვლევ ერთ-ერთი მცენარის გვირგვინის ფურცლების ფორმის მემკვიდრეობას. გვირგვინის ფურცლების ფორმას განსაზღვრავს ერთი გენის ორი ალელი. აჯვარებ უცნობი გენოტიპის გლუფურცილიან ორ მცენარეს და მიიღე შემდეგი ფენოტიპის შთამომავლობა: 23 გვირგვინის დანაოჭებული და 77 გლუვი ფურცლებით. 1) რა დასკვნის გამოტანა შეგიძლია ამ ნიშან-თვისების მემკვიდრეობის შესახებ? რომელი ალელია დომინანტური? 2) როგორია მშობლიური ინდივიდების გენოტიპი?



14. ბარდაში ნაყოფის (პარკის) მწვანე შეფერილობის განმსაზღვრელი ალელი (C) დომინირებს ყვითელი შეფერილობის განმსაზღვრელ ალელზე (c). ერთმანეთს შეაჯვარეს ამ ნიშნის მიხედვით ჰეტეროზიგოტური (Cc) მცენარეები. 1) როგორი გენოტიპი იქნება უფრო მეტად გავრცელებული შთამომავლობაში? 2) როგორი ფენოტიპი იქნება უფრო მეტად გავრცელებული შთამომავლობაში?



ზოგიერთი მენდელისეული ნიშან-თვისების მემკვიდრეობის შესწავლა ადამიანში

მასალა: თაბახის ფურცელი, სანერ-კალამი, სარკე.

პროცედურა:

1. მონაცემთა ცხრილი (რომელსაც მასწავლებელი დაფაზე ან ფლიპჩარტზე წარმოადგენს) გადაწერე თაბახის ფურცელზე/სამუშაო რვეულში;
2. ცხრილში წარმოდგენილია ის ნიშან-თვისებები, რომლებიც შენ უნდა გამოიკვლიო. სარკეში ჩაიხედე, დააკვირდი საკუთარ თავს და მონაცემთა ცხრილის სვეტში სათაურით „ნიშან-თვისება“, თითოეული ნიშან-თვისებისათვის შემოხაზე შენი ფენოტიპი.
3. შენი მონაცემები გადაიტანე დაფაზე/ფლიპჩარტზე მოცემულ ცხრილში, რომელიც მასწავლებელმა შექმნა მთელი კლასის მონაცემების შესაგროვებლად.
4. მას შემდეგ, რაც კლასელები დაიტანენ თავიანთ მონაცემებს საერთო ცხრილში, ეს ინფორმაცია გადაიტანე შენი ცხრილის შესაბამის გრაფაში.
5. განსაზღვრე კონკრეტული ნიშან-თვისების მატარებელი მოსწავლეების პროცენტული რაოდენობა.

მონაცემთა ცხრილი

ნიშან-თვისება		მოსწავლეების რაოდენობა, რომელთაც აქვთ დომინანტური ფენოტიპი	მოსწავლეების რაოდენობა, რომელთაც აქვთ რეცესიული ფენოტიპი	დომინანტური ფენოტიპის %-ული მაჩვენებელი	რეცესიული ფენოტიპის %-ული მაჩვენებელი
დომინანტური	რეცესიული				
მუქი თმები A	ღია ფერის თმები a	×	×	×	×
მუქი თვალები B	ღია ფერის თვალები b	×	×		
თავისუფალი ყურის ბიბილო E	შეზრდილი ბიბილო e	×	×		
თვალის დიდი ჭრილი D	თვალის ვიწრო ჭრილი d	×	×		
ჭორფლიანობა C	უჭორფლობა c	×	×		

ანალიზი და დასკვნა:

1. თითოეული ნიშან-თვისებისთვის რომელი ალელი – დომინანტური თუ რეცესიული, ვლინდება ფენოტიპურად უფრო ხშირად?
2. გამოკვლეული ნიშან-თვისებებიდან რომელი ვლინდება ფენოტიპურად უფრო ხშირად თქვენს კლასში? იშვიათად?
3. დომინანტი ნიშან-თვისებები უფრო ხშირად მჟღავნდება თუ რეცესიული? როგორ ფიქრობ, რატომ?



- გრეგორ მენდელმა ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგების ანალიზის საფუძველზე პირველმა ახსნა მემკვიდრეობითობის გენეტიკური საფუძვლები;
- მენდელმა თავდაპირველად აწარმოვა მონოჰიბრიდული შეჯვარება, ანუ შეისწავლა ერთი წყვილი ალტერნატიული ნიშან-თვისების მემკვიდრეობა თაობათა განმავლობაში;
- მენდელმა თავისი კვლევების საფუძველზე დაადგინა მემკვიდრეობის გენეტიკური კანონზომიერებები: ერთგვაროვნების წესი და დათიშვის კანონი.

1.3.

მენდელის კანონების სტატისტიკური ხასიათი. ალბათობა გენეტიკაში



როგორ ფიქრობ, მენდელი რატომ ატარებდა ცდებს მრავალ ინდივიდზე?



- **სასიცოცხლო თვისებები:** მემკვიდრეობითობა და ცვალებადობა, მათი გენეტიკური საფუძვლები.

მცირერიცხოვანი შთამომავლობის მიღების დროს არასწორი იქნება ვიფიქროთ, რომ გენოტიპების თანაფარდობა აუცილებლად იქნება: $1AA:2Aa:1aa$. შესაძლებელია ისე მოხდეს, რომ ყველა შთამომავალს ჰქონდეს გენოტიპი — AA , ან Aa . შესაძლებელია გენოტიპების თანაფარდობის სხვა შესაძლებლობაც, მაგალითად, $2Aa:1aa$. ეს იმას ნიშნავს, რომ მოცემულ მომენტში დათიშვის კანონი ირღვევა? რატომ ვამბობთ — „შეიძლება იყოს“ და არ ვამბობთ, „აუცილებლად იქნება“? შემთხვევითია, თუ განაყოფიერების დროს რომელი ალელის მატარებელი გამეტები შეხვდებიან ერთმანეთს. ამიტომ გენოტიპური კომბინაციებიც — aa , AA , Aa შემთხვევითია. თეორიულად ყველა მოსალოდნელია, მაგრამ განაყოფი-



- დავუშვათ, რომ $Aa \times Aa$ შეჯვარების შედეგად მიღებულია მხოლოდ ოთხი შთამომავალი. როგორ ფიქრობ, მიიღება მონოჰიბრიდული შეჯვარებისთვის დამახასიათებელი თეორიულად მოსალოდნელი გენოტიპური და ფენოტიპური დათიშვის თანაფარდობა? რა ტიპის გენოტიპი შეიძლება ჰქონდეს ჰიბრიდებს? ამ შემთხვევაში დაირღვა დათიშვის კანონი?
- რატომ ვამბობთ „გენოტიპის ან ფენოტიპის შესაძლო/მოსალოდნელი ვარიანტი“?

რებისას უცილობლად რომელი კომბინაცია შედგება, წინასწარ ვერ ვიტყვით. ამიტომ ჩვენ შეგვიძლია განვსაზღვროთ ფენოტიპების მხოლოდ შესაძლო ვარიანტები. ამრიგად, მცირერიცხოვანი შთამომავლობის დროს გენოტიპური დათიშვის მოსალოდნელი თანაფარდობიდან — $1:2:1$, გადახრა არ შეიძლება ჩაითვალოს დათიშვის კანონის დარღვევად. ამ გადახრის მიზეზი არის ის, რომ გენეტი-



1. მენდელმა ანალოგიური ექსპერიმენტები ჩაატარა სხვა ნიშანთა წყვილზეც. ქვემოთ მოცემულ ცხრილში განიხილე მენდელის ექსპერიმენტების სტატისტიკური შედეგები. გამოთვალე მეორე თაობაში დომინანტური ნიშან-თვისების თანაფარდობა რეცესიულ ნიშან-თვისებასთან და ჩაწერე შესაბამისი გრაფაში. გაანალიზე მიღებული მონაცემები, თუ თითოეული შემთხვევისთვის დათიშვის თანაფარდობა რამდენად ახლოსაა თეორიულად მოსალოდნელ დათიშვასთან, ანუ $3:1$ -თან. გამოიტანე დასკვნა.

ნიშანი	მშობლიური მცენარეები		მეორე თაობა		თანაფარდობა
	დომინანტური ნიშანი	რეცესიული ნიშანი	დომინანტური	რეცესიული	
ლეროს სიმაღლე	მაღალი	დაბალი	787	277	×
თესლის ფორმა	გლუვი	დანაოჭებული	5474	1850	×
თესლის შეფერილობა	ყვითელი	მწვანე	6022	2001	×
ნაყოფის ფორმა	ბრტყელი	დატისრული	882	299	×
ნაყოფის შეფერილობა	მწვანე	ყვითელი	428	152	×
ყვავილის მდებარეობა	კენწრული	გვერდითი	651	207	×
ყვავილის შეფერილობა	იისფერი	თეთრი	705	224	×

კის კანონები **სტატისტიკური ხასიათისაა**. ეს იმას ნიშნავს, რომ ჰეტეროზიგოტების შეჯვარებისას მოსალოდნელი დათიშვა გენოტიპის მიხედვით 1:2:1, ხოლო ფენოტიპის მიხედვით – 3:1, მით უფრო ზუსტად მოხდება, რაც უფრო დიდია შთამომავლობის რიცხვი. ბარდის სხვადასხვა ჯიშის – მენამულყვავილიანი და თეთრყვავილიანი მცენარეების შეჯვარებისას მენდელმა F_2 -ში მიიღო ძალიან დიდი რაოდენობის შთამომავალი და ამიტომ დათიშვა აღმოჩნდა 3,14:1, ე. ი. დათიშვა მოხდა თეორიულ მოლოდინთან – 3 :1 – ახლოს.

დათიშვის კანონი არის განსხვავებული ალელური გენების მატარებელი გამეტების შემთხვევითი შეერთების შედეგი, რაც შეესაბამება ალბათობის კანონებს. მათემატიკის ცოდნა გამოგადგება იმისათვის, რომ იანგარიშო კონკრეტული გენოტიპისა და ფენოტიპის წარმოქმნის ალბათობა. ალბათობა საზოგადოდ ასე იანგარიშება:



$$\text{ალბათობა} = \frac{\text{რაიმე კონკრეტული მოვლენის/ვარიანტის შესაძლო რაოდენობა}}{\text{ყველა შესაძლო მოვლენის/ვარიანტის რაოდენობა}}$$

მაგალითად, მონეტას (სურ. 1.11ა) აქვს ორი მხარე: ავერსი (A) – მონეტის წინა მხარე, რომელზედაც გამოსახულია სახელმწიფო გერბი და გამოშვების წელი, რევერსი (R) – მონეტის ნომინალი, მაგალითად, 1 ლარი, 2 ლარი. ე.ი. მონეტა აგდების შემდეგ რომელი მხარით დავარდება, არის მხოლოდ ერთი ვარიანტი: ავერსი ან რევერსი, მაგრამ შესაძლებელია ორი ვარიანტი. მაშასადამე, თითოეული ვარიანტის მოსვლის ალბათობა არის 1/2.

დავუშვათ, რომ შენ გაქვს ორი მონეტა და ორივე ერთდროულად ააგდე; თუ ერთი მონეტა რომელი მხარით დავარდება, გავლენას არ ახდენს მეორე მონეტის დავარდნის ვარიანტზე. რომ გამოვთვალოთ ორი დამოუკიდებელი მოვლენის ერთდროულად მოხდენის ალბათობა, ყოველი ცალკეული მოვლენის მოხდენის ალბათობა ერთმანეთზე უნდა გავამრავლოთ. მაგალითად, ორივე მო-

ნეტის ავერსის მხარეს დაცემის ალბათობა = $1/2 \times 1/2 = 1/4$ (სურ. 1.11ბ).

პირველი თაობის ჰეტეროზიგოტური (Aa) ინდივიდის გამეტა იქნება დომინანტური (A) ან რეცესიული (a) ალელის მატარებელი. რადგან სულ ორი ვარიანტია შესაძლებელი, ამიტომ თითოეული სახის გამეტის წარმოქმნის ალბათობა 1/2-ია, ანუ 50% იქნება დომინანტური ალელის – „A“-ს მატარებელი და 50% რეცესიული ალელის – „a“-ს მატარებელი. თუ მოცემული მშობლიური ინდივიდის გამეტებს შორის ყოველი ტიპის გამეტა გვხვდება 1/2 ალბათობით, მაშინ განაყოფიერებისას გამეტების ოთხი შესაძლო კომბინაციიდან თითოეულის ალბათობა იქნება: $1/2 \times 1/2 = 1/4$. მაგრამ იმისათვის, რომ ყველა ტიპის გამეტა თანაბარი რაოდენობით წარმოიქმნას და ყველა შესაძლო კომბინაციით შეხვედრის თანაბარი ალბათობა ჰქონდეთ, მათი რიცხვი დიდი უნდა იყოს.



2. თუ მენდელი მონოჰიბრიდულ შეჯვარებას მცენარეების მცირე რიცხვზე აწარმოებდა, იგი აღმოაჩენდა დათიშვის კანონს?
3. რატომა უფრო ახლოს რეალური დათიშვის თანაფარდობა თეორიულად მოსალოდნელი დათიშვის თანაფარდობასთან მაშინ, როდესაც ჰიბრიდიზაციაში მონაწილე ინდივიდებისა და შთამომავლობის რიცხვი დიდია?
4. მონოჰიბრიდული შეჯვარების დროს ხშირად ირლვევა ფენოტიპური დათიშვის თანაფარდობა თეორიულად მოსალოდნელთან შედარებით. რა შეიძლება იყოს ამის მიზეზი?
5. მენდელი აჯვარებდა ორი ჯიშის ბარდას: ერთს გლუვთესლიანს, მეორეს — დანაოჭებულთესლიანს. მეორე თაობაში მიიღო 7324 თესლი, მათგან 5474 გლუვი და 1850 დანაოჭებული. დანერე შეჯვარების სქემა.
6. სამეცნიერო კვლევა მოიცავს კვლევის გეგმის შემუშავებას, დაკვირვებასა და მის საფუძველზე მონაცემების შეგროვებას, მონაცემების ანალიზსა და დასკვნის გამოტანას. გაანალიზე მენდელის შრომები და მის მაგალითზე ახსენი, რამდენად შეესაბამება მისი შრომები სამეცნიერო კვლევის ამ სქემას.



მემაკვიდრებელი შემთხვევითობის მოდელის შექმნა

საკვლევი კითხვა: როგორ მოქმედებს გამეტების შემთხვევითი და თავისუფალი შერწყმა გენების კომბინაციაზე?

ვარიანტი 1

საჭირო მასალა: 2 ცალი ქაღალდის პარკი, 100 ცალი წითელი ლობიოს თესლი და 100 ცალი თეთრი ლობიოს თესლი.

პროცედურა:

1. ქაღალდის ერთ პარკში მოათავსე 50 წითელი და 50 თეთრი ლობიოს თესლი, მეორე პარკშიც მოათავსე იმავე რაოდენობის წითელი და თეთრი თესლები. ყოველი თესლი შეესაბამება ყვავილის შეფერილობის ალელს: წითელი თესლი ყვავილის წითელი შეფერილობის განმსაზღვრელ ალელს და თეთრი — ყვავილის თეთრი შეფერილობის განმსაზღვრელ ალელს.
2. ერთ პარკს დაწანერე მდებარეობით აღმნიშვნელი პირობითი ნიშანი, მეორეს კი — მამრობითის. პარკში ჩახედვის გარეშე ყოველი პარკიდან თითო-თითო თესლი ამოიღე. ორი თესლი ასახავს ალელების კომბინაციას კვერცხუჯრედისა და სპერმის შერწყმის დროს.
3. გამოიყენე პენეტის ცხრილი, რომ იზინასწარმეტყველო წითელი/წითელი, წითელი/თეთრი და თეთრი/თეთრი შესაძლო კომბინაციების რაოდენობა.
4. გამოიყენე მონაცემთა ცხრილი, რომ ჩაინიშნო თესლების კომბინაცია პარკიდან ამოღების ყოველ ჯერზე. შენს ცხრილში 100 შემთხვევა უნდა ჩაეტიოს. ჩაინიშნის შემდეგ თესლები პარკებში უნდა დააბრუნო (თითოეული თესლი იმ პარკში, საიდანაც ამოიღე).
5. დაითვალე და ჩაინიშნე კომბინაციების საერთო რიცხვი შენს მონაცემთა ცხრილში.
6. შეაგროვე და ჩაინიშნე კლასის საერთო მონაცემები.

მონაცემთა ცხრილი:

	შეფერილობის მიხედვით თესლები – „ალელების“ კომბინაცია		
	წითელი/წითელი	წითელი/თეთრი	თეთრი/თეთრი
შენი შედეგი თითოეულ ჯერზე	×	×	×
შენი ჯამური შედეგი	×	×	×
კლასის საერთო შედეგი	×	×	×



ანალიზი და დასკვნა:

1. ალელების რომელი კომბინაციაა ყველაზე ხშირი?
2. გამოთვალე ალელების წითელი/წითელი, წითელი/თეთრი და თეთრი/თეთრი კომბინაციების სიხშირეების შეფარდება.
3. რეალურად მიღებული შედეგები შეადარე შენ მიერ პროგნოზირებულ (მოსალოდნელ) შედეგებთან.
4. შემთხვევითობა მოქმედებს თუ არა ალელების კომბინაციაზე? ახსენი პასუხი.
5. შენი ჯამური შედეგები შეადარე კლასის ჯამურ შედეგებს. რომელ შემთხვევაშია ალელების კომბინაციების რეალური თანაფარდობა უფრო ახლოს თეორიულად მოსალოდნელ თანაფარდობასთან? რატომ?
6. გამოთქვი ჰიპოთეზა, როგორ უნდა მიაღწიო, რომ რეალური შედეგი უფრო ახლოს იყოს თეორიულად მოსალოდნელ შედეგთან?

ვარიანტი 2

საჭირო მასალა: 2 მწვანე და 2 ყვითელი ფერის მარკერი/ფანქარი, პლასტმასის ჭიქა.

პროცედურა:

1. ცალკე ფურცელზე ან სამუშაო რვეულში მოამზადე ცხრილი მონაცემების აღრიცხვისათვის;

მონაცემთა ცხრილი:



ფენოტიპი	ყვითელი		მწვანე	ყვითელი თესლის საერთო რიცხვი (AA+Aa)	თეორიულად მოსალოდნელი გენოტიპური დათიშვის თანაფარდობა	თეორიულად მოსალოდნელი ფენოტიპური დათიშვის თანაფარდობა	ექსპერიმენტში მიღებული გენოტიპური დათიშვის თანაფარდობა	ექსპერიმენტში მიღებული ფენოტიპური დათიშვის თანაფარდობა
	AA	Aa	aa					
სერია - 10	×	×	×	×	×	×	×	×
სერია - 50	×	×	×	×			×	×
სერია - 100	×	×	×	×			×	×
თქვენი ჯგუფის ჯამური შედეგი	×	×	×	×			×	×
კლასის ჯამური შედეგი	×	×	×	×			×	×

2. ბარდაში თესლის ყვითელი შეფერილობა (A) დომინირებს თესლის მწვანე შეფერილობაზე (a). გამოიყენე პენეტის ცხრილი და განსაზღვრე იმ ჰიპოთეზის მოსალოდნელი გენოტიპი და ფენოტიპი, რომელთა მშობლებიც არიან ჰეტეროზიგოტურები (Aa) თესლის შეფერილობის მიხედვით.
3. ყვითელი და მწვანე ოთხივე მარკერი/ფანქარი (თითოეული ორ-ორი) მოათავსე ჭიქაში. თითოეული მარკერი/ფანქარი ასახავს ალელებს ჰეტეროზიგოტურ მცენარეებში.
4. ჭიქა შეანჯღრიე და თვალდახუჭულმა ამოიღე რომელიმე 2 მარკერი/ფანქარი. 2 მარკერი/ფანქარი ასახავს ალელების კომბინაციას კვერცხუჯრედისა და სპერმიის შერწყმის დროს. ეს პროცედურა გაიმეორე 10-ჯერ და მარკერების/ფანქარების – „ალელების“, კომბინაცია ჩაინიშნე მონაცემთა ცხრილში (ყოველი პროცედურის შემდეგ მარკერები/ფანქარები ჭიქაში დააბრუნე).
5. მე-4 ნაბიჯი გაიმეორე ჯერ 50-ჯერ და შემდეგ 100-ჯერ.
6. დათვალე თითოეული ტიპის გენოტიპი ყველა სერიისთვის.
7. მონაცემების გამოყენებით, თითოეული სერიისათვის (10, 50 და 100) განსაზღვრე ყვითელი ფენოტიპების რაოდენობა.

8. მონაცემების გამოყენებით თითოეული სერიისათვის (10, 50 და 100) განსაზღვრე გენოტიპური და ფენოტიპური დათიშვის თანაფარდობა. დათიშვის თანაფარდობის გამოსათვლელად თითოეული გენოტიპის/ფენოტიპის რაოდენობის განმსაზღვრელი რიცხვი უნდა გაყო ყველაზე უმცირეს რიცხვზე და დაამრგვალო უახლოეს მთელ რიცხვამდე. მაგალითად, დავუშვათ, რომ სერიისათვის – 100, მიღებული გაქვს ასეთი შედეგი: 23AA, 51Aa და 26aa; ამ შემთხვევისათვის გენოტიპური დათიშვის თანაფარდობა ასე იანგარიშება: $23/23 = 1$; $51/23 = 2,2$; $26/23 = 1,1$. ე.ი. გენოტიპური დათიშვა ასეთია: 1AA: 2Aa : 1aa.

დაკვირვება

1. რომელი გენოტიპი იყო მიღებული ყველაზე ხშირად?
2. როგორ გენოტიპურ და ფენოტიპურ დათიშვას მოელოდი 10, 50-იან და 100-იან სერიაში?

ანალიზი და დასკვნა/შეფასება:

- როგორ შეესაბამება ექსპერიმენტში მიღებული დათიშვის თანაფარდობა თეორიულად მოსალოდნელ დათიშვას?
- რომელი სერიის დათიშვის მონაცემებია ყველაზე ახლოს თეორიულად მოსალოდნელ დათიშვის თანაფარდობასთან? ახსენი შედეგი.
- როგორ აისახება ალბათობის თეორია შენი ექსპერიმენტის შედეგთან?
- თქვენი ჯგუფის ჯამური შედეგები შეადარეთ კლასის ჯამურ შედეგებთან. რომელ შემთხვევაშია გენოტიპური და ფენოტიპური დათიშვის რეალური თანაფარდობა უფრო ახლოს თეორიულად მოსალოდნელ თანაფარდობასთან? რატომ?
- გამოთქვი ჰიპოთეზა, როგორ უნდა მიაღწიო, რომ რეალური შედეგი უფრო ახლოს იყოს თეორიულად მოსალოდნელ შედეგთან?
- გააკეთე დასკვნა, რატომ ატარებდა მენდელი ექსპერიმენტებს მრავალ ინდივიდზე და რატომ აგროვებდა დიდი რაოდენობის მონაცემებს?



- მენდელის კანონები ეფუძნება სტატისტიკური მონაცემების შეგროვებას, მონაცემების ანალიზსა და ანალიზის საფუძველზე დასკვნების გამოტანას;
- დათიშვის კანონი არის განსხვავებული ალელური გენების მატარებელი გამეტების შემთხვევითი და თავისუფალი შერწყმის შედეგი, რაც შეესაბამება ალბათობის კანონებს;
- იმისათვის, რომ ყველა ტიპის გამეტა თანაბარი რაოდენობით წარმოიქმნას და ყველა შესაძლო კომბინაციით შეხვედრის თანაბარი ალბათობა ჰქონდეთ, მათი რიცხვი დიდი უნდა იყოს.



რატომ ვერ შეაფასეს სათანადოდ მენდელის აღმოჩენები მისი ეპოქის მეცნიერებმა?



• სტრუქტურა და ფუნქცია:

ქრომოსომის სტრუქტურა და ფუნქციები; გამეტების სტრუქტურა და ფუნქციები.

- **სასიცოცხლო თვისებები:** მემკვიდრეობითობის ქრომოსომული თეორია; მეიოზი — ალელური გენების სხვადასხვა გამეტაში განაწილების საფუძველი; უსქესო და სქესობრივი გამრავლება — მემკვიდრული ინფორმაციის თაობიდან თაობაზე გადაცემის მექანიზმი.



- რას ეწოდება ქრომოსომათა დიპლოიდური კომპლექტი? ჰაპლოიდური კომპლექტი?
- მეიოზის რომელ პერიოდში და რატომ განახევრდება ქრომოსომების რიცხვი?

მენდელმა სტატია თავისი კვლევის შედეგებისა და აღმოჩენილი გენეტიკური კანონზომიერებების შესახებ 1866 წელს გამოაქვეყნა ბუნებისმეტყველების საზოგადოების ჟურნალში, რომელიც ეგზავნებოდა სხვადასხვა ქვეყნის ბუნებისმეტყველების საზოგადოების წევრებს. მიუხედავად ამისა, მეცნიერებმა ვერ შეძლეს მის მიერ დადგენილი

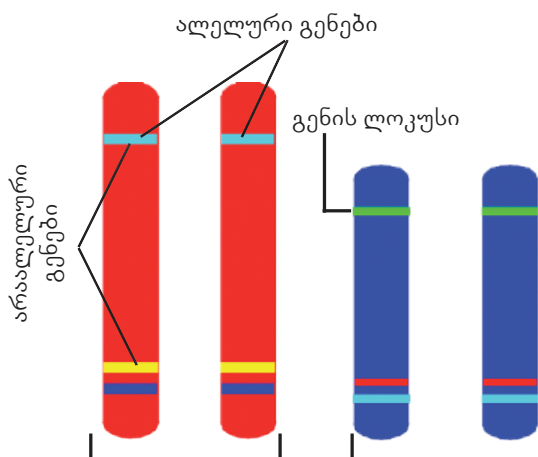
გენეტიკური კანონზომიერებების სათანადოდ შეფასება. შესაძლებელია ეს აიხსნება იმით, რომ იმ დროისათვის შეუძლებელი იყო მენდელის მონაცემები დაეკავშირებინათ გამეტებში რაიმე კონკრეტულ სტრუქტურასთან, ისეთ სტრუქტურასთან, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელი იქნებოდა მემკვიდრული ნიშან-თვისების მშობლებიდან შთამომავლობაზე გადაცემა.

როდესაც მენდელი ექსპერიმენტებს ატარებდა, მაშინ არაფერი იყო ცნობილი არც ქრომოსომებისა და გენების, არც მიტოზისა და მეიოზის შესახებ. მხოლოდ 1902-1903 წწ. ამერიკელმა მეცნიერმა უ. სეტონმა და გერმანელმა მეცნიერმა ტ. ბოვერიმ გამოთქვეს მოსაზრება, რომ ქრომოსომები არიან მემკვიდრული ფაქტორების — გენების მატარებელნი და ჩამოაყალიბეს ე. წ. **მემკვიდრეობითობის ქრომოსომული თეორია**. ამ თეორიის თანახმად, ყოველ გენს აქვს ჰომოლოგიურ ქრომოსომებში განსაზღვრული ადგილი — **ლოკუსი**.

გენების უმრავლესობა განსხვავებული ფორმით არსებობს. როგორც იცი, გენის ნებისმიერ ალტერნატიულ ფორმას ალელი ეწოდება. დიპლოიდური სომატური უჯრედის ყოველი გენი წარმოდგენილია ორი ალელით, რომელთაგან თითოეული ჰომოლოგიური წყვილის სხვადასხვა ქრომოსომის ერთსა და იმავე ლოკუსშია. რამდენადაც ნებისმიერ ორგანიზმში ნიშან-თვისებათა რიცხვი გაცილებით მეტია, ვიდრე ქრომოსომების რიცხვი, ამიტომ ყოველი ქრომოსომა შეიცავს მრავალ გენს (სურ. 1.12).

ერთი გენის ალელები შეიძლება იყოს ერთნაირი ან განსხვავებული. ტერმინი „ჰომოზიგოტური“ ნიშნავს გენოტიპში, შესაბამისად, ჰომოლოგიური ქრომოსომების ერთსა და იმავე ლოკუსში, გენის ერთნაირ/იდენტურ ალელებს. მაგალითად, ორივე ალელი განსაზღვრავს ყვავილის თეთრ შეფერილობას. ტერმინი „ჰეტეროზიგოტური“ აღნიშნავს

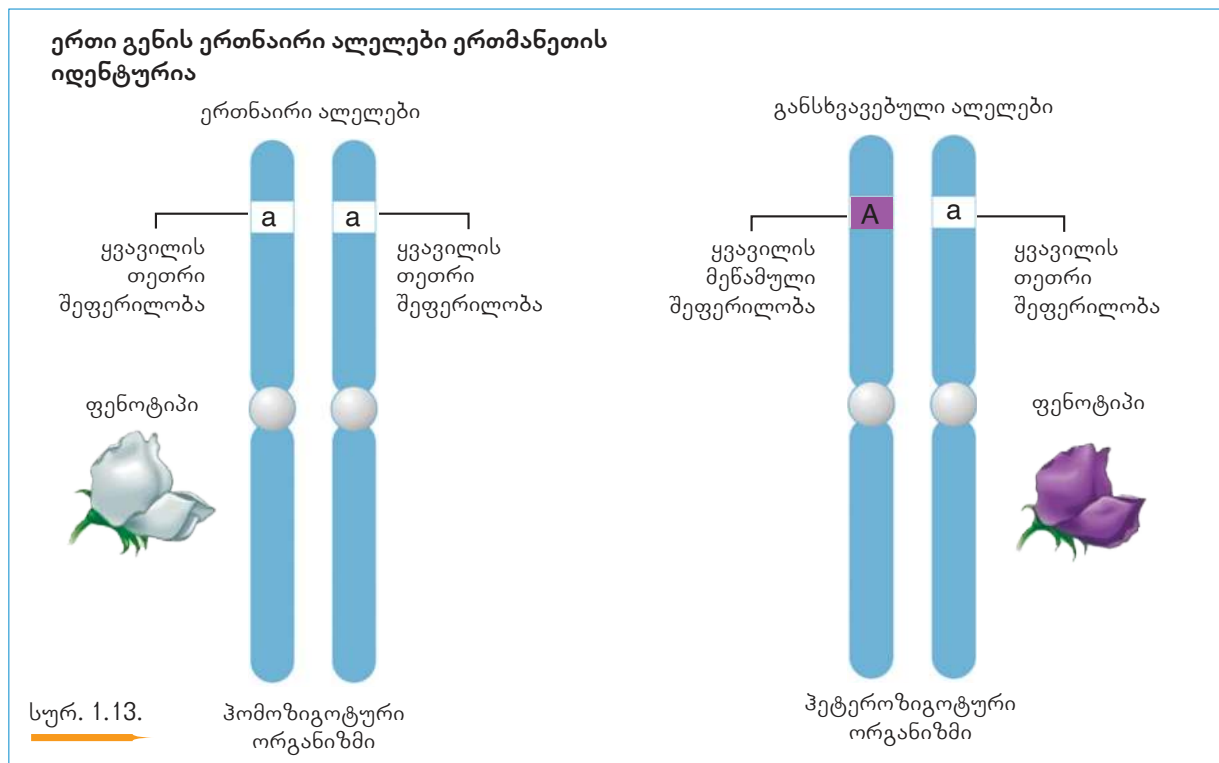
ჰომოლოგიური ქრომოსომების წყვილები



სურ. 1.12.

გენოტიპში, შესაბამისად, ჰომოლოგიური ქრომოსომების ერთსა და იმავე ლოკუსში, გენის განსხვავებულ ალელებს, მაგალითად,

ერთი ალელი განსაზღვრავს ყვავილის თეთრ შეფერილობას, მეორე კი – მენამულს (სურ. 1.13).



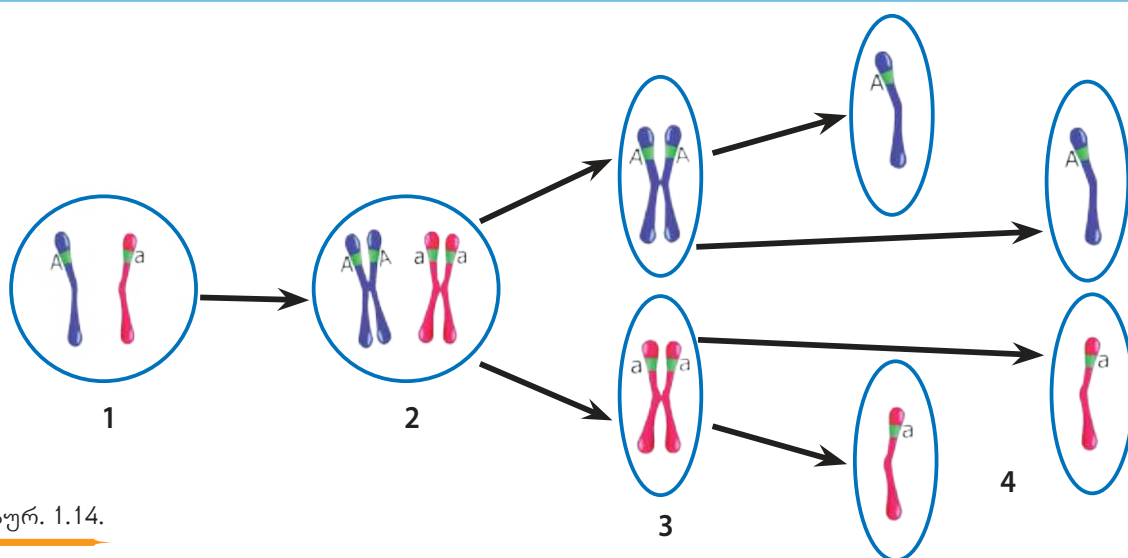
როგორ შეიძლება მონოჰიბრიდული შეჯვარების შედეგების ახსნა უჯრედების მეიოზური გამრავლების საფუძველზე?

გამეტების წარმოქმნისას, მეიოზის პროცესში, ჰომოლოგიური ქრომოსომები ერთმანეთს სცილდება და სხვადასხვა გამეტაში აღმოჩნდება და, შესაბამისად, ალელებიც სხვადასხვა გამეტაში განაწილება. მაგალითისთვის განვიხილოთ მეიოზის სქემა (სურ. 1.14), სადაც მომნიშვნელოვნად ნინა სასქესო უჯრედში, ჰომოლოგიურ ქრომოსომებში მოთავსებულია ალელები **A** და **a**. სქემაზე პირობითად გამოსახულია ქრომოსომების მხოლოდ ერთი წყვილი. ინტერფაზაში, დნმ-ის გაორმაგებამდე, სურათზე ორი ქრომოსომაა თითო ქრომატიდით და მათში განლაგებულია ალელები **A** და **a** (1). დნმ-ის გაორმაგებასთან ერთად ორმაგდება ალელებიც — **AA**, **aa** (2). ანაფაზაში ჰომოლოგიური ქრომოსომები ერთმანეთს სცილდება და ტელოფაზის ბოლოს შვილეულ უჯრედებში აღმოჩნდება წყვილიდან თითო ქრომოსომა ორი ქრომატიდით. ქრომატიდებში იქნება ალელები **AA** ერთ უჯრედში და **aa** მეორე უჯრედში

(3). მეორე მეიოზური გაყოფისას ერთმანეთს სცილდება ქრომატიდები და მიღებულ ოთხ გამეტაში აღმოჩნდება თითო ქრომოსომა. ორ გამეტაში იქნება **A** ალელის მატარებელი ქრომოსომა, ხოლო დანარჩენ ორში — **a** ალელის მატარებელი ქრომოსომა (მიაქციე ყურადღება, განსხვავებული ალელების (**A** და **a**) მატარებელი სასქესო უჯრედები თანაბარი რაოდენობით წარმოიქმნება) (4).

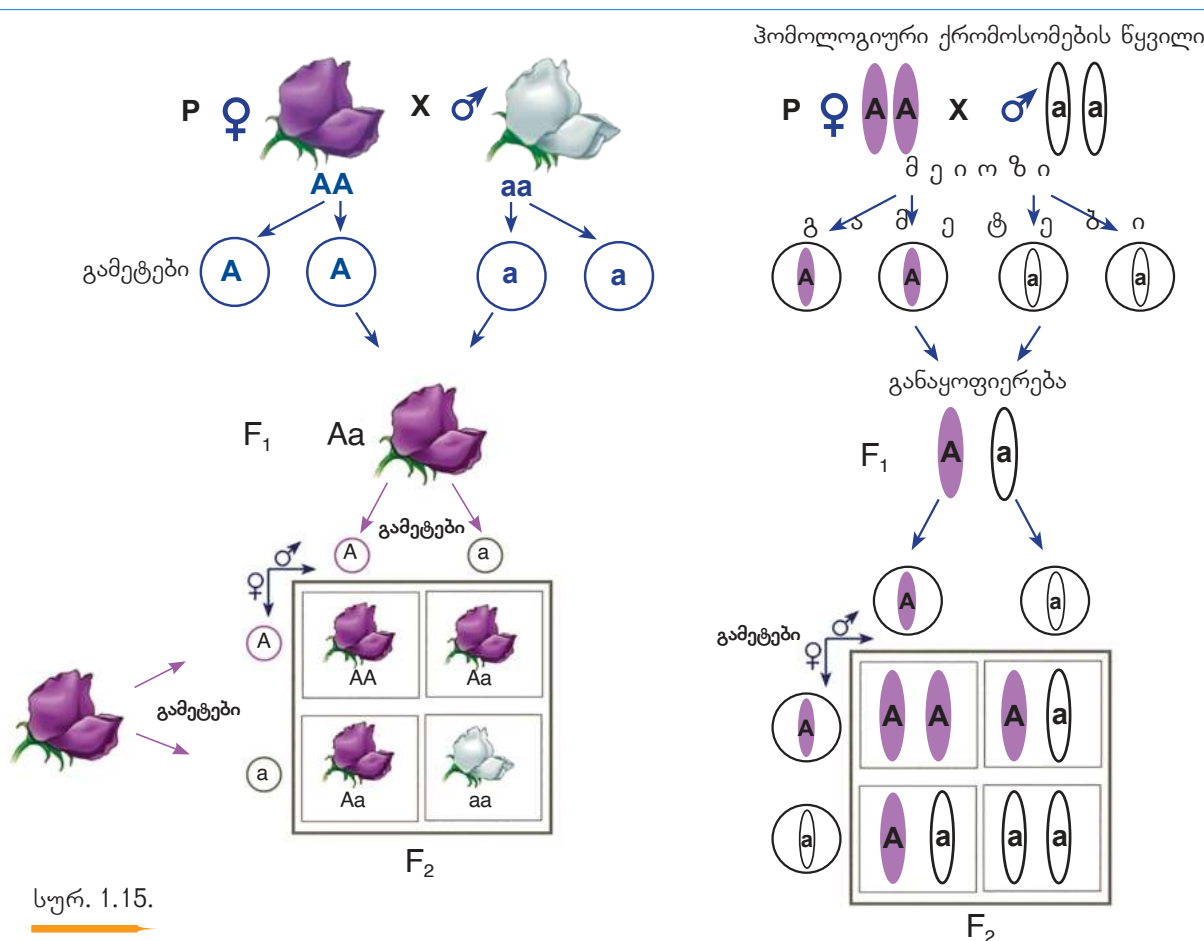
ზემოთ განხილულის საფუძველზე მონოჰიბრიდული შეჯვარების ციტოგენეტიკური მექანიზმი გამარტივებული სახით შეიძლება წარმოვიდგინოთ სურათ 1.15-ის მიხედვით:

დავუშვათ, რომ ბარდის სომატური უჯრედები შეიცავს მხოლოდ ქრომოსომათა ერთ ჰომოლოგიურ წყვილს, რომელშიც მოთავსებულია ყვავილის შეფერილობის განმსაზღვრელი გენი, ერთ მშობლიურ ინდივიდში **AA** ალელებით და მეორეში **aa** ალელებით. მეიოზური გაყოფის შედეგად გამეტებში ქრო-



მოსომების რიცხვი განახევრდება, სცილდება იან ერთმანეთს ჰომოლოგიური ქრომოსომები და მათთან ერთად წყვილი ალელებიც. განაყოფიერების პროცესში ზიგოტაში აღდგება ქრომოსომების დიპლოიდური რიცხვი და ალელების წყვილადობაც: ჰიბრიდი ერთ ქრო-

მოსომასთან ერთად მიიღებს მენამული შეფერილობის (A) ალელს, მეორესთან ერთად — თეთრი შეფერილობის (a) ალელს. ამიტომ არის პირველი თაობის ყველა ინდივიდის გენოტიპი ჰეტეროზიგოტური და ფენოტიპურად კი — მენამულყვავილიანი.





გენეტიკური ამოცანების ამოხსნის მექანიზმი

ამოცანის ამოხსნა იწყება ამოცანის ტექსტის ანალიზით. ყოველ ამოცანაში არის მოცემულობა და მოთხოვნა. მოცემულობა გვიჩვენებს, რის მიხედვით უნდა უპასუხო მოთხოვნას. ამოცანის შინაარსის მიხედვით შესაძლოა, შექმნა ნახაზები, შეჯვარების გენეტიკური სქემები, გამოიყენო გენეტიკური სიმბოლოები.

გენეტიკური ამოცანების ამოხსნისათვის უნდა ისარგებლო შემდეგი წესებით:

- უპირველესად ჩაიწერე ალელების აღნიშვნები და ნიშან-თვისებების ფენოტიპური გამოვლინება;
- რეცესიული ინდივიდის გენოტიპი მაშინვე განისაზღვრება, რამდენადაც მისი მხოლოდ ერთი ვარიანტია შესაძლებელი;
- დომინანტური ნიშან-თვისების მქონე ინდივიდს აუცილებლად ერთი დომინანტური ალელი ექნება, ხოლო მეორე შეიძლება განისაზღვროს, რადგან ვიცით, რომ ყოველ ჰიბრიდში ერთი ალელი — ერთი მშობლიური ინდივიდისგან აქვს მიღებული, ხოლო მეორე — მეორისგან.

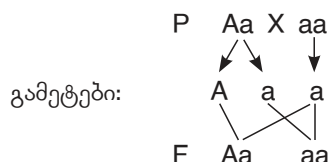
მონოჰიბრიდულ შეჯვარებაზე გენეტიკური ამოცანების ამოხსნის ხერხები განვიხილოთ კონკრეტულ მაგალითზე.

ამოცანა 1

ხილის ბუხ დროზოფილაში სხეულის რუხი შეფერილობა დომინანტური ნიშანია, შავი — რეცესიული. რუხი და შავი ბუხების შეჯვარებისას შთამომავლობის ნახევარს აქვს რუხი სხეული, ნახევარს კი — შავი. 1) განსაზღვრე მშობლების გენოტიპები. 2) შეადგინე შეჯვარების გენეტიკური სქემა.

ამოხსნა:

აღვნიშნოთ სხეულის შეფერილობის განმსაზღვრელი ალელები: რუხი შეფერილობა — **A**, შავი — **a**. მშობლიური შავი ბუხის გენოტიპია **aa**, ხოლო რუხ ბუხს გენოტიპში აუცილებლად ერთი ალელი აქვს **A**. შავმა ჰიბრიდულმა ბუხებმა თითო ალელი მიიღეს ყოველი მშობლისგან, აქედან გამომდინარე, რუხი მშობლიური ინდივიდის გენოტიპი არის **Aa**.



ამოცანა 2

ადამიანში მუქი ფერის თვალები დომინანტური ნიშანია, ცისფერი — რეცესიული. ცისფერთვალება მამაკაცი, რომლის მშობლებსაც მუქი თვალები აქვთ, დაქორწინდა მუქთვალებიან ქალზე, რომლის მამასაც ცისფერი თვალები აქვს, ხოლო დედას — მუქი. როგორი ფერის თვალები შეიძლება ჰქონდეთ მათ ბავშვებს? განსაზღვრე ამოცანაში მოხსენიებული ყველა პირის გენოტიპი.

ამოხსნა:

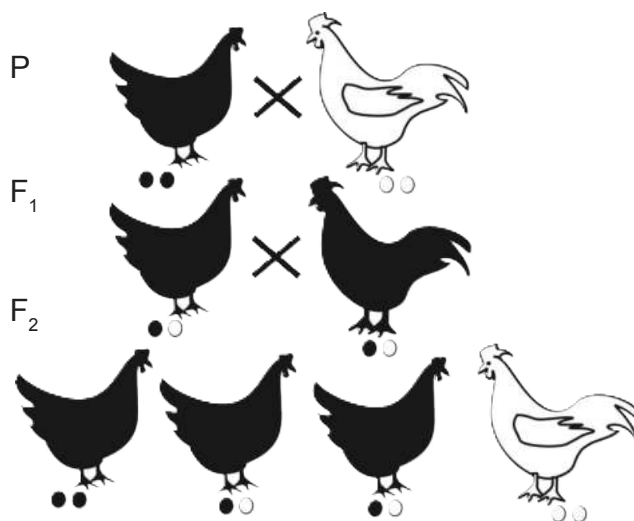
აღვნიშნოთ თვალის შეფერილობის განმსაზღვრელი ალელები: მუქი ფერის განმსაზღვრელი **B**, ცისფერი ფერის — **b**. მამაკაცი ცისფერთვალებაა და მისი გენოტიპი არის **bb**; რამდენადაც მის მშობლებს მუქი თვალები აქვთ, ისინი ჰეტეროზიგოტურები არიან **Bb**. რადგან ქალი მუქთვალებიანია, მას აუცილებლად უნდა ჰქონდეს გენოტიპში ერთი ალელი **B**, რომელიც მემკვიდრეობით მიიღო დედისგან (რომლის გენოტიპი შეიძლება იყოს **BB**, ან **Bb**); მეორე ალელი ქალმა მიიღო მამისგან, რომლის გენოტიპია **bb**. ამრიგად, ქალის გენოტიპია **Bb**. წყვილს გენოტიპებით **Bb X bb** თანაბარი ალბათობით შეიძლება შეეძინოს ბავშვები როგორც მუქთვალებიანი, ისე — ცისფერთვალებიანი.

შენიშვნა: მონოჰიბრიდული შეჯვარების გენეტიკური სქემების შედგენასა და შთამომავლობაში გენოტიპური და ფენოტიპური დათიშვის თანაფარდობის განსაზღვრაში დაგეხმარება ვირტუალური ლაბორატორია — „Mendel's Law of Heredity“ („მენდელის მემკვიდრეობის კანონზომიერებები“) — <https://bit.ly/3X8GQIK>, სადაც სურვილის მიხედვით შეგიძლია ცვალო შესაჯვარებელი ინდივიდების ფენოტიპი და გენოტიპი, დააკვირდე მათ შთამომავლობაში გენოტიპური და ფენოტიპური დათიშვის თანაფარდობას.



1. რა კავშირია გენს, ლოკუსსა და ალელს შორის?
2. წარმოიდგინე, რომ შეისწავლი ხილის ბუზის დნმ-ს და მე-2 ქრომოსომაში აღმოაჩინე ულვაშების სიგრძის განმსაზღვრელი გენი. რა სიტყვა განსაზღვრავს ამ გენის ადგილმდებარეობას და სად შეიძლება მისი პოვნა სხვა ხილის ბუზის დნმ-ში?
3. რით განსხვავდება ჰომოზიგოტური გენოტიპი ჰეტეროზიგოტურისგან? შენი პასუხისთვის გამოიყენე ტერმინები: გენი, ჰომოლოგიური ქრომოსომა და ალელები.
4. მეცნიერებმა ერთმანეთს შეაჯვარეს **A** და **B** ტიპის თაგვები. მიღებულ ჰიბრიდებში დნმ-ის ნახევარი ეკუთვნის **A** ტიპის თაგვებს და ნახევარი – **B** ტიპის. ახსენი, რატომ?
5. სურათ 1.15-ის მიხედვით აღწერე მეორე თაობის შედეგები ციტოლოგიური მექანიზმის საფუძველზე, კერძოდ, თუ მემკვიდრეობითობა რომელ ციტოლოგიურ სტრუქტურებთანაა დაკავშირებული და რა როლი აქვს მეიოზს.
6. შეადარე ნიშან-თვისებათა დათიშვის მენდელისეული ახსნა ციტოლოგიურ მექანიზმთან.
7. დააკვირდი ქათმების შეჯვარების სქემას და განსაზღვრე:

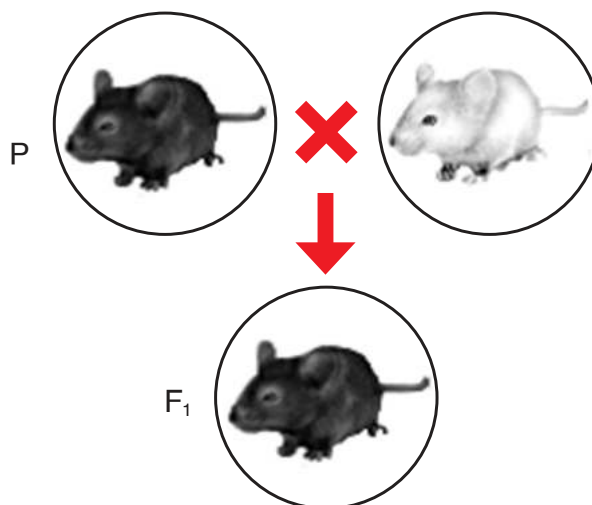
- 1) რომელი ნიშანია დომინანტური და რომელი რეცესიული? პასუხი დაასაბუთე;
 - 2) რა მოვლენა გამოიწვია პირველ თაობაში;
 - 3) P -ს, F_1 -ისა და F_2 -ის გენოტიპები.
8. ადამიანში რეცესიული ალელი **b** განაპირობებს სიყრუეს, დომინანტური ალელი **B** – სმენას. ყრუ ქალის სმენის მქონე მამაკაცთან ქორწინებით დაიბადა ყრუ ბავშვი. განსაზღვრე მშობლების გენოტიპები.
 9. ზღვის გოჭში ხვეული ბენჯი დომინირებს სწორ ბენჯზე. ხვეულბენჯიანი მამრებისა და მდედრების შეჯვარებით მიიღეს 29 სწორბენჯიანი და 90 ხვეულბენჯიანი ინდივიდი. განსაზღვრე მშობლებისა და ჰიბრიდების გენოტიპები.



10. სურათზე მოცემული თაგვების შეჯვარების სქემის მიხედვით განსაზღვრე:

 - 1) რომელი ნიშანი დომინირებს თაგვებში – ბენჯის თეთრი შეფერილობა თუ მუქი;
 - 2) როგორია P -ს და F_1 გენოტიპები;
 - 3) როგორი იქნება F_2 ჰიბრიდები გენოტიპისა და ფენოტიპის მიხედვით. შეადგინე პენეტის ცხრილი.

11. თაგვებში ბენჯის რუხი შეფერილობა დომინირებს თეთრ შეფერილობაზე. რუხი თაგვების ერთმანეთთან შეჯვარებით შთამომავლობაში ფენოტიპური დათიშვა მოხდა თანაფარდობით: 7 რუხი: 3 თეთრი თაგვი. 1) განსაზღვრე მშობლიური ინდივიდების გენოტიპები. 2) ფენოტიპური დათიშვის თანაფარდობიდან გამომდინარე, შეიძლება ვიფიქროთ, რომ ამ შემთხვევაში დაირღვა დათიშვის კანონი? პასუხი დაასაბუთე.





12. თავგებში ბენვის რუხი შეფერილობა დომინირებს თეთრ შეფერილობაზე. თეთრი მამრი შეაჯვარეს სამ რუხ მდედრთან. პირველმა მდედრმა შობა 10 რუხი წრუნუნა, მეორემ – 5 თეთრი და 5 რუხი, მესამემ – 10 რუხი და 1 თეთრი. განსაზღვრე მამრისა და ყველა მდედრის გენოტიპი.

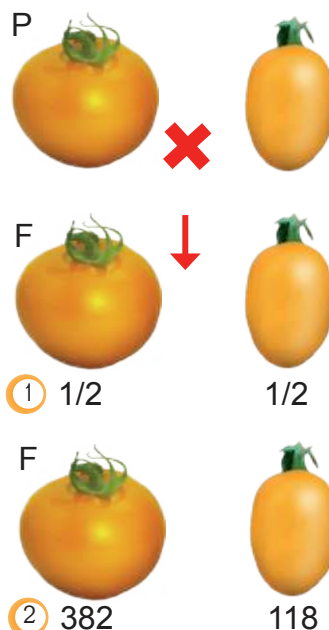
13. პომიდორში ნაყოფის მრგვალი ფორმა დომინირებს მსხლისებურზე.

1) როგორია მშობლიური მცენარეების გენოტიპები, თუ შთამომავლობაში მრგვალი და მსხლისებრნაყოფიანი მცენარეები თანაბრად მიიღება?

2) ჰიბრიდებიდან 118-მა მოგვცა მსხლისებრი ნაყოფი, ხოლო 382-მა – მრგვალი. ამ მცენარეებს შორის რამდენია ჰეტეროზიგოტური?

14. ბოცვერში ბენვის ნორმალური სიგრძე დომინირებს მოკლე ბენვზე. მოკლებენვიანმა მდედრმა შობა 4 მოკლებენვიანი და 3 ნორმალურბენვიანი ბაჭია. განსაზღვრე მამრის ფენოტიპი და გენოტიპი.

15. ღია ფერის თმიანი ახალგაზრდა ვაჟი, რომლის მშობლებსაც ჰქონდათ მუქი თმები, დაქორწინდა მუქთმიან ქალზე, რომლის დედასაც აგრეთვე მუქი თმები ჰქონდა, ხოლო მამას – ღია ფერის თმები. მათ შეეძინათ მუქთმიანი ბავშვი. შეიძლება თუ არა მათ ჰყავდეთ ღია ფერის თმიანი ბავშვი?



- ქრომოსომები არის მემკვიდრეობითი ფაქტორების – გენების მატარებელი;
- ყოველ გენს ქრომოსომაში აქვს თავისი განსაზღვრული ადგილი – ლოკუსი;
- გენის არსებობის ფორმას ალელი ეწოდება;
- დიპლოიდური სომატური უჯრედის ყოველი გენი წარმოდგენილია ორი ალელით, რომელთაგან თითოეული ჰომოლოგიური წყვილის სხვადასხვა ქრომოსომის ერთსა და იმავე ლოკუსშია;
- რამდენადაც ნებისმიერ ორგანიზმში ნიშან-თვისებათა რიცხვი გაცილებით მეტია, ვიდრე ქრომოსომების რიცხვი, ამიტომ ყოველი ქრომოსომა შეიცავს მრავალ გენს;
- ერთი გენის ალელები ერთმანეთს სცილდება მეიოზური გაყოფის დროს, როდესაც ერთმანეთს სცილდება ჰომოლოგიური ქრომოსომები, შესაბამისად, გამეტა ყოველი ალელური წყვილიდან შეიცავს მხოლოდ ერთს;
- ალელების წყვილადობა აღდგება განაყოფიერების დროს, ოღონდ ერთ ალელს იღებს ერთი მშობლისგან და მეორეს – მეორე მშობლისგან.



ალელურ გენთა ურთიერთქმედების რა ფორმები არსებობს და რა მნიშვნელობა აქვს მას ბიომრავალფეროვნებისთვის?



სასიცოცხლო თვისებები:

მემკვიდრეობითობა — ალელურ გენთა ურთიერთქმედება: სრული და არასრული დომინირება, კოდომინირება.

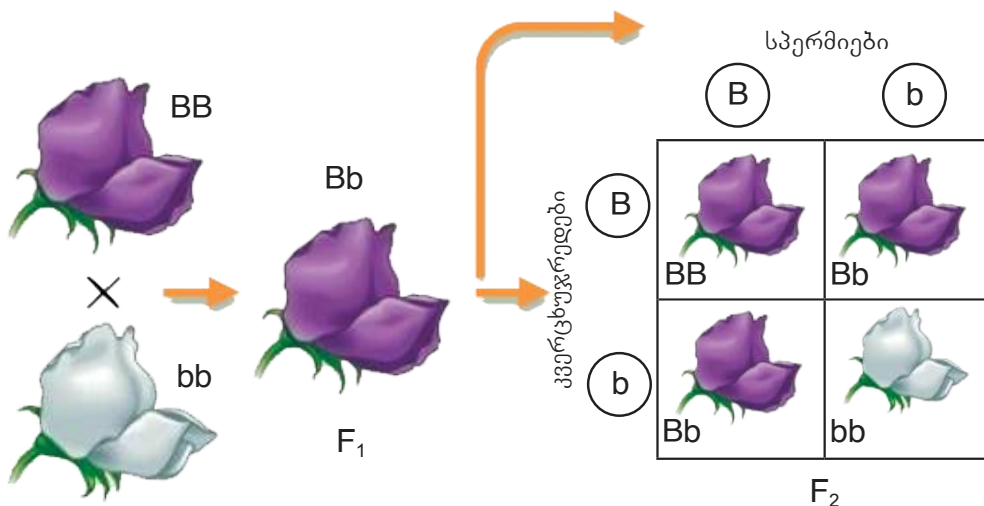
- ბიომრავალფეროვნება:** ალელურ გენთა ურთიერთქმედების მნიშვნელობა ბიომრავალფეროვნებისთვის.



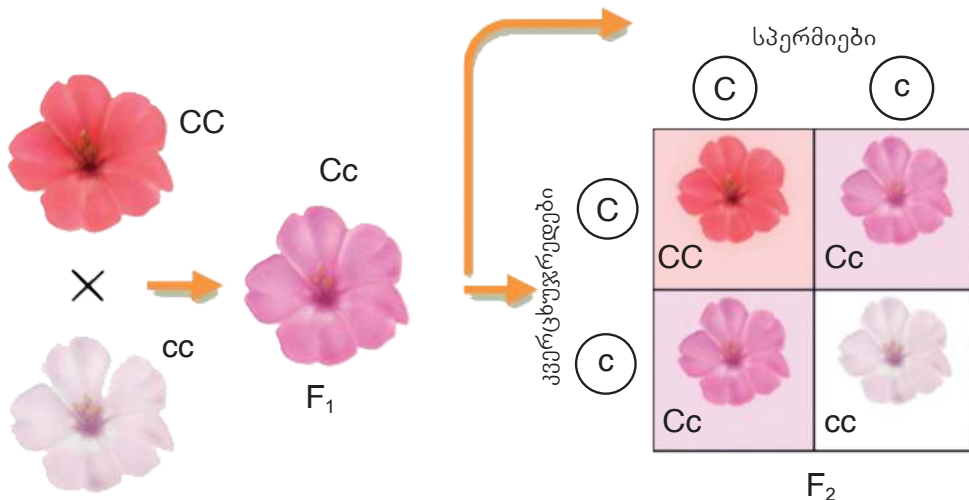
დააკვირდი სურათ 1.16-ზე გამოსახულ მონოჰიბრიდული შეჯვარების მაგალითებს და უპასუხე კითხვებს:

- შეადარე ერთმანეთს ბარდისა და გულისაბას პირველი თაობის ჰიბრიდები, დაადგინე მათ შორის მსგავსება-განსხვავება;
- განსაზღვრე დათიშვის თანაფარდობა მეორე თაობაში ორივე შემთხვევისათვის როგორც გენოტიპის, ისე ფენოტიპის მიხედვით. დაადგინე მათ შორის მსგავსება-განსხვავება;
- რას უწოდებდი ბარდის მაგალითზე ალელური გენების ურთიერთქმედებას და რას – გულისაბას შემთხვევაში?

მონოჰიბრიდული შეჯვარება ბარდაში



მონოჰიბრიდული შეჯვარება გულისაბაში



სურ. 1.16.

მენდელმა თავისი ექსპერიმენტებისათვის შემთხვევით შეარჩია ბარდაში შვიდი წყვილი ალტერნატიული ისეთი ნიშან-თვისება, რომელთა მემკვიდრეობისას დომინანტური ალელი სრულად ახშობდა რეცესიულ ალელს. შემდგომმა გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ ყოველთვის ასე არ ხდება.

ილუსტრაციაზე (სურ. 1.16) წარმოდგენილი ორი მონოჰიბრიდული შეჯვარების შედეგებამ აჩვენა, რომ ორივე შემთხვევაში პირველ თაობაში ერთგვაროვნების წესი გამოჟღავნდა. მაგრამ ბარდის შემთხვევაში ფენოტიპურად ჰიბრიდი ერთ-ერთი მშობლიური ფორმის მსგავსია, ხოლო გულისაბაში — არცერთ მშობლიურ ფორმას არ ჰგავს. პირველ შემთხვევაში გენის დომინანტური ალელი სრულად თრგუნავს რეცესიულ ალელს. ამ მოვლენას **სრული დომინირება** ეწოდება. მეორე შემთხვევაში ერთი გენის ალელი სრულად ვერ თრგუნავს მეორეს. ამ მოვლენას **არასრული დომინირება** ეწოდება. ნიშან-თვისების ასეთ მემკვიდრეობას კი **შუალედურ მემკვიდრეობას** უწოდებენ.

მეორე თაობაში მიღებული შედეგების მიხედვით, ბარდაში ფენოტიპური დათიშვა არის 3 : 1, ხოლო გენოტიპური — 1BB:2Bb:1bb. გულისაბას F₂-ში ფენოტიპურად მივიღეთ ასეთი დათიშვა — 1 წითელყვავილიანი : 2 ვარდისფერყვავილიანი : 1 თეთრყვავილიანი, ხოლო გენოტიპურად ასეთი დათიშვა — 1CC:2Cc:1cc. **არასრული დომინირებისას ფენოტიპური და გენოტიპური დათიშვის თანაფარდობა ერთნაირია.**

ამრიგად, ზოგჯერ ალელები ამჟღავნებენ არასრულ დომინირებას, რომლის დროსაც ჰეტეროზიგოტური ფენოტიპი სადღაც ორ სხვადასხვა ჰომოზიგოტურ ფენოტიპს შორის არის. ასეთ შემთხვევაში ძნელია მსჯელობა იმის შესახებ, თუ რომელი ალელია დომინანტური ან რეცესიული. ჩვენ გულისაბას მაგალითზე პირობითად ჩავთვალეთ, რომ წითელი შეფერილობის განმსაზღვრელი ალელი დომინანტურია, ხოლო თეთრი შეფერილობის — რეცესიული. სინამდვილეში არასრული დომინირების დროს გენოტიპს გამოსახვენ, მაგალითად, ასე: B₁B₁ ან B₂B₂ (სურ. 1.17).

არასრული დომინირება					
ფენოტიპი	გენოტიპი	ფენოტიპი	გენოტიპი	ფენოტიპი	გენოტიპი
მწვანე	B ₁ B ₁	ღია ლურჯი	B ₂ B ₂	მუქი ლურჯი	B ₁ B ₂
					
ჰომოზიგოტური თევზი მწვანე შეფერილობის განმსაზღვრელი ალელის მიხედვით		ჰომოზიგოტური თევზი ღია ლურჯი შეფერილობის განმსაზღვრელი ალელის მიხედვით		ჰეტეროზიგოტური თევზი შეფერილობის განმსაზღვრელი ორივე ალელის მიხედვით	

სურ. 1.17.

შენ უკვე გაეცანი ალელების ურთიერთქმედების ორ ფორმას — სრულ დომინირებასა და არასრულ დომინირებას. ამ ფორმების გარდა არჩევენ კოდომინირებას. **კოდომინირება** ისეთი მოვლენაა, როდესაც გენის ორივე დომინანტური ალელი ტოლფასოვანია და ჰეტეროზიგოტურ მდგომარეობაში ორივე ფუნქციონირებს. დავუშვათ, რომ ჰომოზიგო-

ტური მცენარე, რომელსაც აქვს წითელი ყვავილები, შეაჯვარეს ჰომოზიგოტურ თეთრყვავილიან მცენარესთან. არასრული დომინირების შემთხვევაში ჰიბრიდებს ექნებოდა ვარდისფერი ყვავილები, ხოლო კოდომინირების შემთხვევაში კი — ორივე ალელი სრულყოფილად ფუნქციონირებს და გამოვლინდება; ამიტომ ყვავილებს ექნება როგორც წითელი

შეფერილობის, ისე თეთრი შეფერილობის უბანი (სურ. 1.18)

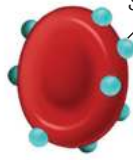
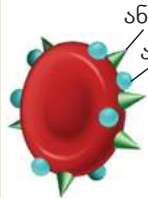
ალელური გენების ასეთი ურთიერთქმედება გვხვდება ადამიანის სისხლის ჯგუფების მემკვიდრეობაშიც, თუმცა ამ ნიშან-თვისების მემკვიდრეობისათვის სხვა თავისებურებაცაა დამახასიათებელი. აქამდე განხილულ მაგალითებში ერთი გენი წარმოდგენილი იყო ორი ალელით, მაგრამ ცნობილია ისეთი შემთხვევები, როდესაც ერთი გენი არსებობს ორზე მეტი ალელის სახით. ამ მოვლენას **მრავლობითი ალელიზმი** ეწოდება. ამ ალელებიდან გენოტიპში ნებისმიერი ორი შეიძლება იყოს ჰომოლოგიური ქრომოსომების ერთსა და იმავე ლოკუსში.

მრავლობითი ალელიზმი დამახასიათებელია სისხლის ჯგუფების განმსაზღვრელი გენისათვის, რომელიც ადამიანის მე-9 ქრომოსომაშია ლოკალიზებული და წარმოდგენილია სამი ალელით — A, B, O. O — რეცესიული ალელია, ხოლო A და B დომინანტური ალელებია. A და B ტოლფასოვანი ალელებია და ჰეტეროზიგოტურ მდგომარეობაში ორივე ფუნქციონირებს. ამ სამი ალელიდან გენოტიპში არის რომელიმე ორის კომბინაცია, რაც განსაზღვრავს სისხლის ჯგუფებს: O (I), A (II), B (III) და AB (IV). გენოტიპების კომბინაციები წარმოდგენილია სურათ 1.19.-ზე, სადაც ასეთი აღნიშვნებია გამოყენებული: I^O , I^A და ა. შ. „I“ მიუთითებს იმაზე, რომ ყველა ეს ალელი ლოკალიზებულია ჰომოლოგიური ქრომოსომების ერთსა და იმავე ლოკუსში — I (ლოკუსის პირობითი აღნიშვნა).

ამრიგად, ალელური გენების ურთიერთქმედების ორივე ფორმა – არასრული დომინირება და კოდომინირება – განაპირობებს მშობლიური ინდივიდების ფენოტიპისგან განსხვავებული ახალი ფენოტიპების წარმოქმნას, რაც ბიომრავალფეროვნების ერთ-ერთი წყაროა.



სურ. 1.18.

სისხლის ჯგუფის ფენოტიპი		გენოტიპი
A		$I^A I^A$ $I^A I^O$
B		$I^B I^B$ $I^B I^O$
O		$I^O I^O$
კოდომინირება		
AB		$I^A I^B$

სურ. 1.19.



- გაანალიზე სურათ 1.19-ზე მოცემული ინფორმაცია და/ან გამოიყენე ვირტუალური ლაბორატორია „სისხლის ABO ჯგუფები“ (<https://bit.ly/3l7Utvv>) და უპასუხე კითხვებს:
 - სისხლის რომელ ჯგუფში გვხვდება კოდომინირების მოვლენა? ახსენი შენი პასუხი.
 - სისხლის რომელი ჯგუფებისთვის არის დამახასიათებელი როგორც ჰომოზიგოტური, ისე ჰეტეროზიგოტური გენოტიპი?
 - სისხლის რომელი ჯგუფისთვის არის დამახასიათებელი მხოლოდ ჰომოზიგოტური გენოტიპი? რატომ?



არასრულ დომინირებასა და კოდომინირებაზე გენეტიკური ამოცანების ამოხსნის მაგალითები:

ამოცანა 1

ყვითელი ზღვის გოჭის თეთრთან შეჯვარებისას ყველა შთამომავალი ვარდისფერია. ვარდისფერი გოჭების ერთმანეთთან შეჯვარებით მიღებულ ჰიბრიდებში მიიღეს ასეთი ტიპის ფენოტიპური დათიშვა: 1 ყვითელი : 2 ვარდისფერი : 1 თეთრი. როგორი იქნება შთამომავლობა ვარდისფერის შეჯვარებისას – 1) ყვითელთან? 2) თეთრთან?

ამოხსნა:

ალენიშნით: A – ყვითელი ფერი, a – თეთრი. ვარდისფერი ჰეტეროზიგოტურია – Aa .

1) $P Aa$ (ვარდისფერი) $\times AA$ (ყვითელი) შეჯვარებით შთამომავლების ნახევარი ყვითელია, ნახევარი კი – ვარდისფერი.

2) $P Aa$ (ვარდისფერი) $\times aa$ (თეთრი) შეჯვარებით შთამომავლების ნახევარი ვარდისფერია, ნახევარი კი – თეთრი.

ამოცანა 2

როგორი ჯგუფის სისხლი შეიძლება ჰქონდეთ ბავშვებს, თუ მათ დედას მეორე ჯგუფის სისხლი აქვს, ხოლო მამას – პირველი?

ამოხსნა:

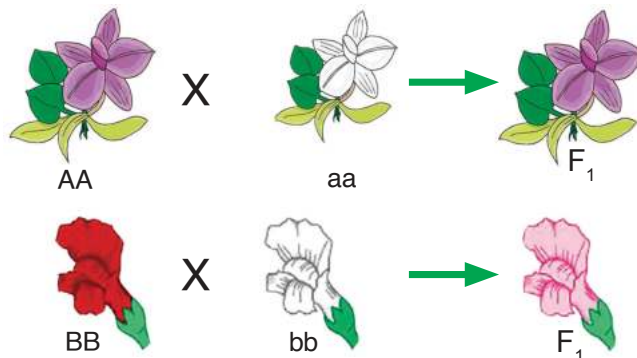
პირს სისხლის II ჯგუფით შეიძლება ჰქონდეს გენოტიპი AA ან AO ამიტომ შესაძლებელია ორი ვარიანტი:

1. $P \quad \text{♀}AA \times \text{♂}OO$
 $F_1 \quad AO$ (II-ჯგუფი)
2. $P \quad \text{♀}AO \times \text{♂}OO$
 $F_1 \quad AO$ (II-ჯგუფი), OO (I-ჯგუფი)

ამრიგად, შვილებს შეიძლება ჰქონდეთ პირველი და მეორე ჯგუფის სისხლი.



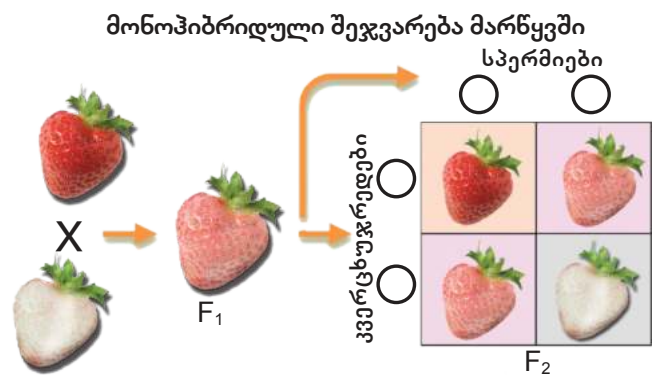
2. სურათებზე მოცემული შეჯვარების მაგალითების მიხედვით შეადარე ერთმანეთს სრული და არასრული დომინირება და შედარების მონაცემები შეიტანე ცხრილში:



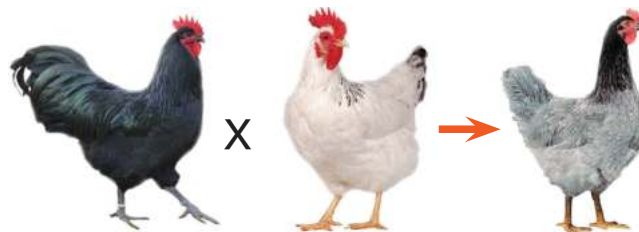
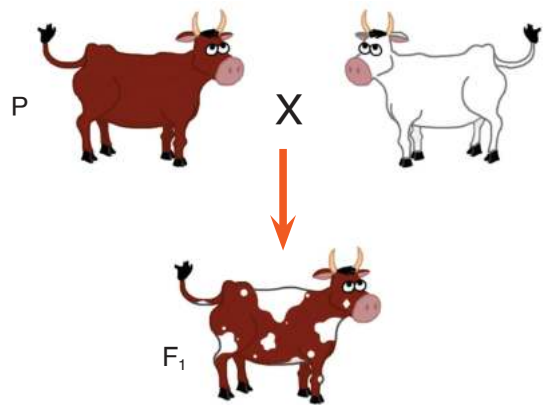
ალელურ გენთა ურთიერთქმედების ფორმა	P-ს გენოტიპები	F ₁ -ის გენოტიპი	F ₁ -ის ფენოტიპი	გენოტიპური დათიშვა F ₂ -ში	ფენოტიპური დათიშვა F ₂ -ში
სრული დომინირება	×	×	×	×	×
არასრული დომინირება	×	×	×	×	×

3. წითელნაყოფიანი მარწყვი შეაჯვარეს თეთრნაყოფიან მარწყვთან. პირველ თაობაში ყველა მცენარე ვარდისფერი ნაყოფი გაიკეთა.

- 1) რა მოვლენასთან გვაქვს საქმე?
- 2) როგორი გენოტიპები აქვთ მშობლიურ ფორმებსა და F_1 -ის ჰიბრიდებს?
- 3) განსაზღვრე ფენოტიპური და გენოტიპური დათიშვა F_2 -ში.
4. გულისაბას ორი ჯიშის შეჯვარების შედეგად მიღებულია 52 მცენარე ვარდისფერყვავილიანი და 49 მცენარე თეთრყვავილიანი. განსაზღვრე მშობლების გენოტიპები და ფენოტიპები.



5. შავი მამლის თეთრ დედალთან შეჯვარებისას F_1 -ის ყველა ინდივიდი ჭრელია. მეორე თაობაში მიღებულია: 24 ჭრელი, 12 – შავი და 10 თეთრი წინილა. როგორი იქნება შთამომავლობა შემდეგი შეჯვარებისას:
 - 1) ჭრელი დედლისა შავ მამალთან;
 - 2) ჭრელი მამლისა თეთრ დედალთან?
6. ქალის მამას აქვს O ჯგუფის სისხლი, დედას კი – AB ჯგუფი. ქალი დაქორწინდა მამაკაცზე, რომელსაც B ჯგუფის სისხლი აქვს. ამ ქორწინებით დაიბადნენ ბავშვები O , A და B ჯგუფის სისხლით. შესაძლებელია თუ არა AB ჯგუფის სისხლის მქონე ბავშვის დაბადება? პასუხი დაასაბუთე.
7. რატომ შეიძლება, რომ სისხლის A და B ჯგუფის ჰეტეროზიგოტურ მშობლებს ჰყავდეთ სისხლის ოთხივე ჯგუფის შვილები? შეადგინე შესაბამისი გენეტიკური სქემა.
8. ყურადღებით გაეცანი სურათზე მოცემულ ინფორმაციას და განსაზღვრე:
 - 1) რომელი გენეტიკური კანონზომიერების შედეგია აქ გამოსახული?
 - 2) მშობლებისა და შთამომავლის გენოტიპები;
 - 3) F_2 -ში გენოტიპური და ფენოტიპური დათიშვის თანაფარდობა.
9. რა მსგავსება-განსხვავებაა არასრულ დომინირებასა და კოდომინირებას შორის?
10. შავი ქათმის თეთრთან შეჯვარებისას F_1 თაობაში ყველა ინდივიდი ცისფერი შეფერილობის მიიღეს. 1) რით აიხსნება ეს მოვლენა? 2) დაწერე მშობლიური ინდივიდებისა და შთამომავლების გენოტიპები.

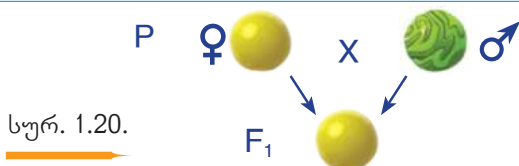


- ალელური გენების ურთიერთქმედების ფორმებია: სრული დომინირება, არასრული დომინირება, კოდომინირება;
- არასრული დომინირების დროს F_2 -ში გენოტიპური და ფენოტიპური დათიშვის თანაფარდობა ერთნაირია;
- არასრული დომინირება და კოდომინირება მნიშვნელოვნად ზრდის გენეტიკურ მრავალფეროვნებასა და, შესაბამისად, ბიომრავალფეროვნებას.

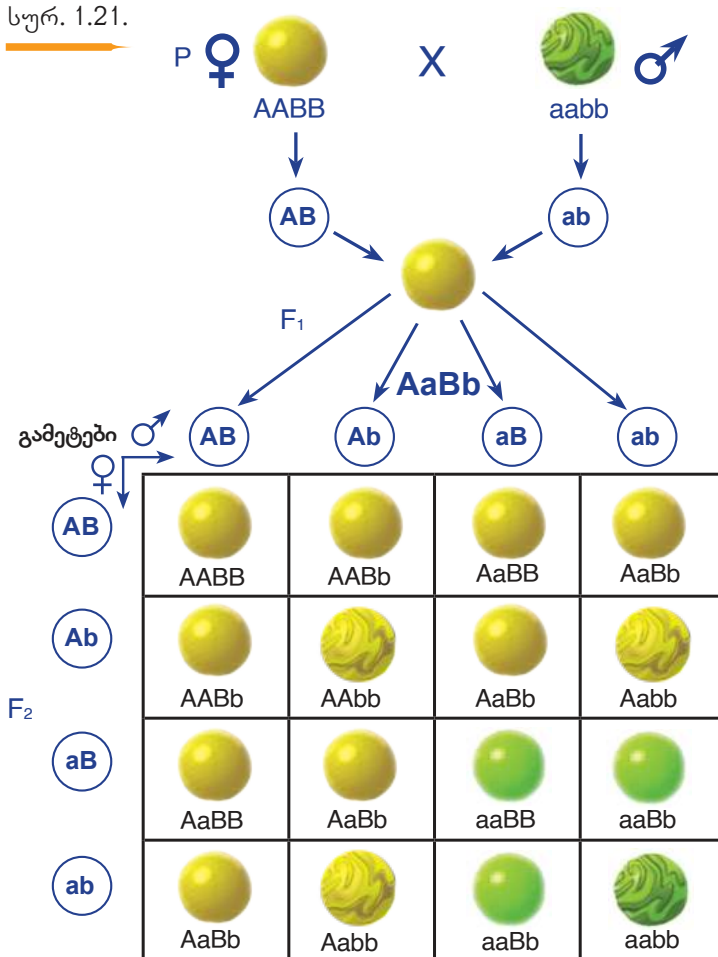
როგორ ახსნა მენდელმა დიჰიბრიდული შეჯვარების შედეგები?



- **სტრუქტურა და ფუნქცია:** ქრომოსომული ნაკრების (კარიოტიპის) სტრუქტურა – არაჰომოლოგიური და ჰომოლოგიური ქრომოსომები; ქრომოსომების დიპლოიდური და ჰაპლოიდური კომპლექტი.
- **სასიცოცხლო თვისებები:** მემკვიდრეობითობა – გენების დამოუკიდებლად განაწილების კანონი; ცვალებადობა – გენებისა და ქრომოსომების რეკომბინაცია.
- **ბიომრავალფეროვნება:** დიჰიბრიდული შეჯვარების მე-2 თაობაში მიღებული ახალი ფენოტიპები და მათი როლი ბიომრავალფეროვნების წარმოქმნაში.



სურ. 1.21.



- რას ნიშნავს მონოჰიბრიდული შეჯვარება?
- როგორ ფიქრობ, ბუნებაში მიმდინარეობს მონოჰიბრიდული შეჯვარება?
- როგორ ფიქრობ, რას უნდა ნიშნავდეს დიჰიბრიდული შეჯვარება?
- გააანალიზე სურათ 1.20-ზე მოცემული ინფორმაცია და უპასუხე კითხვებს:
- რამდენი ნიშნით განსხვავდებიან მშობლიური ინდივიდები?
- რა ნიშნებით განსხვავდებიან მშობლიური ინდივიდები?
- რომელი ნიშან-თვისებებია დომინანტური და რომელი – რეცესიული? დაასაბუთე შენი პასუხი.



- დააკვირდი სურათ 1.21-ზე მოცემულ დიჰიბრიდული შეჯვარების სქემას და განსაზღვრე:
 - რამდენი ტიპის გამეტას წარმოქმნის თითოეული მშობლიური ინდივიდი? რატომ?
 - როგორია F_1 -ის გენოტიპი და ფენოტიპი? რა ჰქვია გამოვლენილ გენეტიკურ კანონზომიერებას?
 - F_1 -ის თითოეული ინდივიდი რამდენი სახის გამეტას წარმოქმნის?
 - F_2 -ში რამდენი ტიპის გენოტიპი წარმოიქმნება? ამონერე სამუშაო რვეულში ყველა შესაძლო ვარიანტი.
 - ორივე ნიშნის მიხედვით რამდენი ტიპის ფენოტიპი და როგორი თანაფარდობით მიიღება F_2 -ში? სამუშაო რვეულში დაწერე ფენოტიპური დათიშვის თანაფარდობა.
 - დაითვალე თითოეული წყვილი ნიშან-თვისების მიხედვით ფენოტიპური დათიშვის თანაფარდობა. შედეგი ამონერე სამუშაო რვეულში. შედეგი შეადარე მონოჰიბრიდული შეჯვარების დათიშვის თანაფარდობას.

ერთი წყვილი ნიშნის მემკვიდრეობის კანონზომიერებების დადგენის შემდეგ მენდელმა დაიწყო ორი სხვადასხვა ალტერნატიული ნიშან-თვისების წყვილის მემკვიდრეობის შესწავლა, ანუ აწარმოვა **დიჰიბრიდული შეჯვარება**, რომლის დროსაც შესაჯვარებელი ინდივიდები ერთმანეთისგან განსხვავდებიან გამოსაკვლევი ორი წყვილი ალტერნატიული ნიშან-თვისებით. განვიხილოთ მენდელისეული ერთ-ერთი კლასიკური შეჯვარება: მან ყვითელი გლუვთესლიანი ბარდა შეაჯვარა მწვანე ნაოჭთესლიან ბარდასთან. ანუ შესაჯვარებელი ინდივიდები ერთმანეთისგან განსხვავდებოდნენ ორი ნიშნით — თესლის შეფერილობითა და თესლის ფორმით, ხოლო თითოეულ ნიშანს განსაზღვრავს თითო წყვილი ალელური გენი (სურ. 1.21).

პირველი თაობის ყველა ჰიბრიდი იყო ყვითელი გლუვთესლიანი. აქაც გამოიყენებოდა პირველი თაობის ერთგვაროვნების წესი. თესლის ყვითელი შეფერილობისა და გლუვი ფორმის განმსაზღვრელი ალელები დომინანტურია, ხოლო მწვანე შეფერილობისა და ნაოჭიანი ფორმის — რეცესიული (**A/a** აღნიშნავს თესლის შეფერილობას, **B/b** კი — თესლის ფორმას). პირველი თაობის ჰიბრიდები დიჰეტეროზიგოტურებია (**AaBb**) და ისინი ოთხი ტიპის გამეტას წარმოქმნიან (**AB**, **Ab**, **aB** და **ab**).

პირველი თაობის ჰიბრიდები მენდელმა თვითდამტყვერვით გაამრავლა და მეორე თაობაში ასეთი შედეგი მიიღო: 315 ყვითელი გლუვი თესლი; 101 — ყვითელი ნაოჭიანი; 108 — მწვანე გლუვი; 35 — მწვანე ნაოჭიანი. ანუ ფენოტიპურად დათიშვა მიიღო ასეთი თანაფარდობით — 9 ყვითელი გლუვი : 3 ყვითელი ნაოჭიანი : 3 მწვანე გლუვი : 1 მწვანე ნაოჭიანი.

თუ მეორე თაობაში მიღებულ შედეგს გენოტიპის მიხედვითაც გავანალიზებთ, დავინახავთ, რომ ფენოტიპურად ყვითელი გლუვთესლიანები წარმოდგენილია ოთხი

განსხვავებული სახის გენოტიპით შემდეგი თანაფარდობით — **1AABB : 2AaBB : 2AABb : 4AaBb**; ყვითელი ნაოჭიანი თესლი ორი სახის გენოტიპით შემდეგი თანაფარდობით — **1AAbb : 2Aabb**; მწვანე გლუვთესლიანი ორი სახის გენოტიპით — **1aaBB : 2aaBb**; ხოლო მწვანე ნაოჭიანი ერთი სახის გენოტიპით — **1aabb**.

ამრიგად, გენოტიპის მიხედვით დათიშვა ასეთია — **1:2:2:4:1:2:1**. ზოგადად კი, ფენოტიპური და გენოტიპური დათიშვა ასე შეიძლება ჩავწეროთ — **9/16 A-B-** (ყვითელი გლუვი): **3/16 A-bb** (ყვითელი დანაოჭებული) : **3/16 aaB-** (მწვანე გლუვი) : **1/16 aabb** (მწვანე დანაოჭებული).

ფენოტიპური დათიშვა თესლის შეფერილობის მიხედვით F_2 -ში არის **12/16** ყვითელი და **4/16** მწვანე. ე.ი. ამ ნიშნის მიხედვით დათიშვა არის **3 : 1**, ხოლო თესლის ფორმის მიხედვით ფენოტიპური დათიშვაა: **12/16** გლუვი და **4/16** — დანაოჭებული. ე.ი. ფორმის მიხედვითაც დათიშვა არის **3 : 1**.

რადგან თითოეული წყვილი ნიშან-თვისების მიხედვით დათიშვა მოხდა თანაფარდობით — **3:1**, რაც დამახასიათებელია მონოჰიბრიდული შეჯვარებისთვის, მენდელმა გააკეთა დასკვნა: **დიჰიბრიდული შეჯვარების დროს, მეორე თაობაში დათიშვა ერთი წყვილი ნიშან-თვისების (მაგალითად, თესლის შეფერილობის) მიხედვით ხდება სხვა წყვილი ნიშან-თვისებისგან (მაგალითად, თესლის ფორმისგან) დამოუკიდებლად, ანუ ერთი წყვილი ალელური გენი მემკვიდრეობს სხვა წყვილი ალელური გენისგან დამოუკიდებლად. ამ კანონზომიერებას გენების დამოუკიდებლად განაწილების კანონი ეწოდება** (მენდელის III კანონი). ამრიგად, **დიჰიბრიდული შეჯვარება შეიძლება წარმოვიდგინოთ, როგორც ორი ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად მიმდინარე მონოჰიბრიდული შეჯვარება, რაც მათემატიკურად ასე შეიძლება გამოვსახოთ: $(3 + 1)^2 = 3^2 + 2 \cdot 3 + 1^2 = 9 : 3 : 3 : 1$.**



2. მეორე თაობის ჰიბრიდები ფენოტიპურად უფრო მრავალფეროვანია თუ გენოტიპურად?
3. როგორ ფიქრობ, როგორი თანაფარდობით მოხდებოდა ფენოტიპური დათიშვა არასრული დომინირების შემთხვევაში?

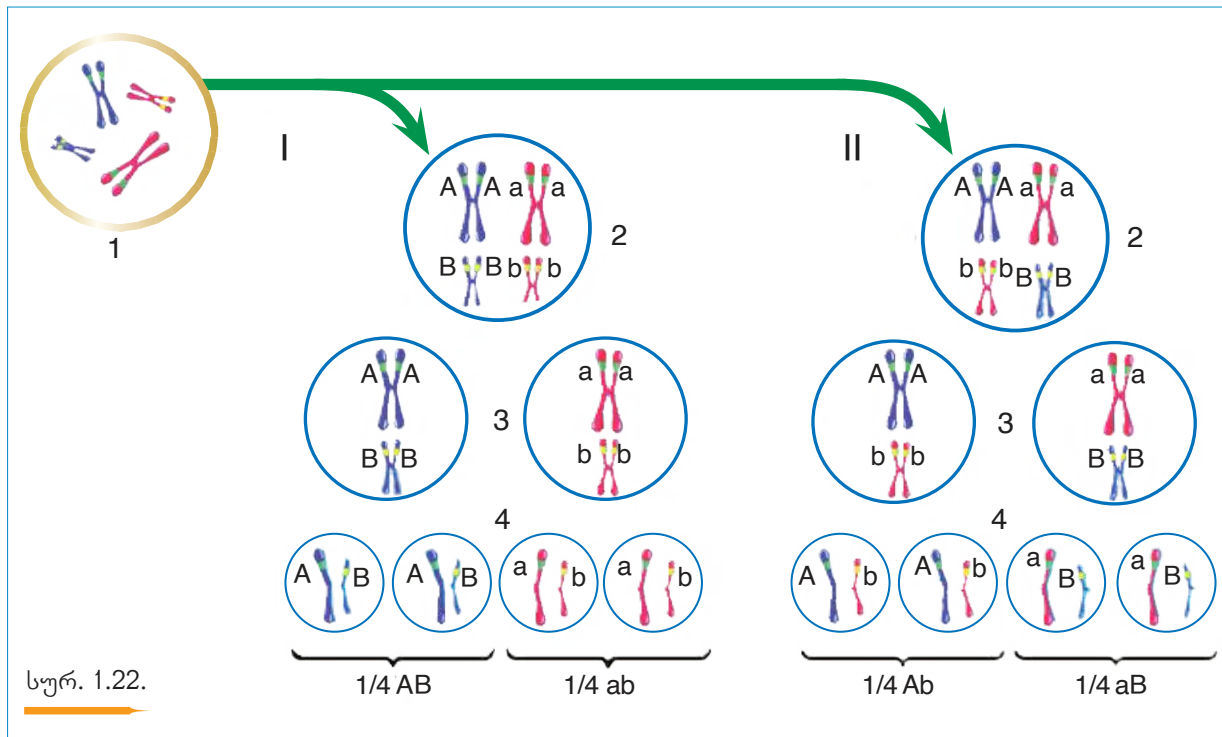


როგორ შეიძლება გენების დამოუკიდებლად განაწილების კანონის ახსნა ციტოგენეტიკური მექანიზმით?

დავუშვათ, რომ უჯრედში არის ჰომოლოგიური ქრომოსომების ორი წყვილი და ისინი ატარებენ ალელებს: Aa -ს ერთი წყვილი და Bb -ს მეორე წყვილი. უკვე იცით, რომ ქრომოსომების რამდენი წყვილიც უნდა იყოს დე-

დისეულ უჯრედში, ყველა ერთნაირი წესით ნაწილდება გამეტებში. მიეყვით მეიოზის სქემას (სურ. 1.22).

სქემაზე ნაჩვენებია Aa (თესლის შეფერილობისა) და Bb (თესლის ფორმის) ალე-



4. დიჰიბრიდული შეჯვარება შეიძლება განვიხილოთ ცხოველების მაგალითზეც. პენეტის ცხრილი გადაიტანე სამუშაო რეულში და შეავსე:

- 1) ჩანერე, რამდენი ტიპის გამეტას წარმოქმნიან პირველი თაობის ჰიბრიდები;
- 2) ჩანერე გენოტიპები და ფენოტიპები;
- 3) განსაზღვრე ფენოტიპური დათიშვა ორივე წყვილი ნიშნის მიხედვით;
- 4) განსაზღვრე დათიშვა თითოეული წყვილი ნიშან-თვისების მიხედვით. გამოიტანე დასკვნა.
5. მშობლების როგორი გენოტიპების შემთხვევაში შეიმჩნევა ჰიბრიდების ერთგვაროვნება:
 - 1) $AaBb \times AaBb$; 2) $AaBB \times AaBB$; 3) $AABB \times aabb$;
 - 4) $AaBb \times aabb$; 5) $aabb \times Aabb$.

6. რომელი შეჯვარების შედეგად ხდება შთამომავლობაში დათიშვა თანაფარდობით — 9:3:3:1, თუ გენები ლოკალიზებულია სხვადასხვა ჰომოლოგიურ ქრომოსომაში:

- 1) $AaBB \times AaBb$; 2) $AaBb \times aabb$; 3) $AaBb \times AaBb$; 4) $AAbb \times aaBB$.

P		F ₁		F ₂			
შავი ხვეულბუნეიანი				♀	♂		
♀	 AABB	 AaBb	 თეთრი სწორბუნეიანი				
♂	 aabb	 AaBb					

ლების მატარებელი წინასასქესო უჯრედის მეიოზის ორი ვარიანტი — I და II. სქემაზე ქრომოსომებში დნმ უკვე გაორმაგებულია და თითოეული ქრომოსომა შედგება ორ-ორი ქრომატიდისაგან (1). ამდენად, ალელებიც გაორმაგებულია და წარმოდგენილია AA, aa, BB, bb ალელების სახით.

როდესაც ორქრომატიდიანი ჰომოლოგიური ქრომოსომები სხვადასხვა პოლუსზე გადაინაცვლებს (იწყება ანაფაზაში და მთავრდება ტელოფაზაში), მათთან ერთად გადანაწილდება ალელური წყვილებიც. დავუშვათ, რომ AA-თან ერთად უჯრედის ერთ პოლუსზე გადაინაცვლა BB-მ, შესაბამისად, მეორე პოლუსზე გადაინაცვლებს aa და bb (სქემაზე I, 2). ციტოკინეზის შემდეგ ერთ შვილეულ უჯრედში მოხვდება ქრომოსომები ალელებით AA და BB, მეორე უჯრედში — aa და bb (I, 3). მეორე მეიოზური გაყოფის შედეგად, როდესაც ქრომატიდები დასცილდება ერთმანეთს, მივიღებთ გამეტებს, რომლებშიც იქნება ალელები AB და ab (I, 4).

გამეტებში ერთად არ ხვდება ერთი ჰომოლოგიური წყვილის ქრომოსომები (შესაბამისად, არც ერთი გენის ალელები), ისინი სხვადასხვა გამეტაში ნაწილდება. სამაგიეროდ, შემთხვევითია, თუ რომელი ქრომოსომები მოხვდებიან ერთად გამეტაში სხვადასხვა ჰომოლოგიური წყვილიდან. ანუ პირველი გაყოფის დროს AA-ს შეიძლება გაჰყოლოდა არა BB, არამედ bb (სქემაზე II, 2). შესაბამისად, aa-სთან ერთ უჯრედში აღმოჩნდებოდა არა bb, არამედ BB. ციტოკინეზის შემდეგ მივიღებდით უჯრედებს ალელური შედგენილობით Aabb და aaBB (II, 3). მეორე გაყოფის შედეგად გამეტებში აღმოჩნდებოდა Ab და aB (II, 4) ალელები.

ერთი მეიოზური გაყოფის დროს რეალიზდება ან ერთი, ან მეორე ვარიანტი, მაგრამ, ზოგადად, ორივე ვარიანტი თანაბრად მოსალოდნელია, ამიტომ ვამბობთ, რომ ორი ნიშნით ჰეტეროზიგოტურ, ანუ დიჰეტეროზიგოტურ ორგანიზმს შეუძლია თანაბარი რაოდენობით წარმოქმნას გამეტები AB, ab, Ab, aB. თითოეულის წარმოქმნის ალბათობა არის 1/4. ჰომოზიგოტური AABB ან aabb იძლევა მხოლოდ ერთი სახის გამეტებს, შესაბამისად, AB და ab. ინდივიდები AaBB, Aabb, AABb, aaBb წარმოქმნიან ორი სახის გამეტებს, რადგან ისინი ჰეტეროზიგოტურია ერთი ალელური წყვილის მიხედვით და ჰომოზიგოტური — ალელების მეორე წყვილის მიხედვით.

ამრიგად, მენდელის გენების დამოუკიდებლად განაწილების კანონი აიხსნება იმით, რომ: 1) სხვადასხვა წყვილი ალელური გენი ლოკალიზებულია ქრომოსომების არაჰომოლოგიურ წყვილებში და 2) მეიოზის პროცესში ქრომოსომების განაწილების თავისებურებებით: ერთ წყვილ ჰომოლოგიურ ქრომოსომაში ლოკალიზებული ალელები გამეტებში განაწილდება სრულიად დამოუკიდებლად სხვა წყვილ ჰომოლოგიურ ქრომოსომაში ლოკალიზებული ალელებისგან. I მეიოზური გაყოფის მეტაფაზაში თითისტარას ეკვატორზე არაჰომოლოგიური ქრომოსომების წყვილების შემთხვევითი განლაგება და ასევე I მეიოზის ანაფაზაში მათი შემთხვევითი დაცილება განაპირობებს გამეტებში ალელების სხვადასხვანაირ კომბინაციას. ამას ემატება გამეტების თავისუფალი შერწყმა, რომელიც გენეტიკური რეკომბინაციის კიდევ ერთი მიზეზია. ეს პროცესები არის გენეტიკური მრავალფეროვნებისა და ბიომრავალფეროვნების საფუძველი.



დოკტორიულ შეჯვარებაზე გენეტიკური ამოცანების ამოხსნის მაგალითი:

ამოცანა

დევისპირას ორი ფორმის — თეთრი და ნითელყვავილიანი, შეჯვარებისას ყველა შთამომავალს აქვს ვარდისფერი ყვავილები. ნითელყვავილიანი და ნორმალურგვირგვინიანი მცენარის და ვარდისფერყვავილიანი და რადიალურგვირგვინიანი მცენარის შეჯვარება იძლევა მცენარეებს მხოლოდ ნორმალური გვირგვინით, მაგრამ მათგან ნახევარს ვარდისფერი, ნახევარს კი ნითელი ყვავილები აქვს. თუ მიღებულ მცენარეს ვარდისფერ ნორმალურყვავილიანს თვითდამტვერვით გაამრავლებენ, მაშინ მათი შთამომავლობის რა ნაწილს ექნება ვარდისფერი ნორმალური და რა ნაწილს თეთრი რადიალური ყვავილები?



ამოხსნა:

რამდენადაც წითელყვავილიანი და თეთრყვავილიანი ფორმების შეჯვარებისას ჩნდება ჰიბრიდები ვარდისფერი ყვავილებით, ეს იმას ნიშნავს, რომ მოცემულ შემთხვევაში ვლინდება არასრული დომინირება. რამდენადაც ნორმალურგვირგვინიანი და რადიალურგვირგვინიანი მცენარეების შეჯვარებისას F_1 თაობაში ჩნდება მცენარეები მხოლოდ ნორმალური გვირგვინით, ე.ი. ნორმალური გვირგვინი დომინანტური ნიშანია, ხოლო საწყისი ფორმები წარმოადგენენ ჰომოზიგოტებს ამ ნიშნის მიხედვით.

მოცემული ტიპის ამოცანის ამოხსნის რამდენიმე ხერხი არსებობს:

აღვნიშნოთ **A** – წითელი ფერი, **a** – თეთრი, **B** – ნორმალური გვირგვინი, **b** – რადიალური.

შეჯვარების სქემა:

P ♀ წითელი ნორმალურგვირგვინიანი	AABB	X	წარდისფერი რადიალურგვირგვინიანი	Aabb
გამეტები	AB			Ab ab
F₁	AABb			AaBb
	წითელი			ვარდისფერი
	ნორმალურგვირგვინიანი			ნორმალურგვირგვინიანი

ამოცანის პირობის მიხედვით, ვარდისფერყვავილიანი ნორმალურგვირგვინიანი მცენარე თვით-იმტვერება: **AaBb x AaBb**

I ხერხი – პენეტის ცხრილით განისაზღვრება, რომ 6/16 ანუ 3/8 მცენარეს აქვს ვარდისფერი ნორმალურგვირგვინიანი ყვავილები, ხოლო 1/16-ს – თეთრი რადიალური ყვავილები.

II ხერხი – გამოიყენება ალბათობის თეორიის კანონი: თუ ორი მოვლენა დამოუკიდებელია ერთმანეთისგან, მაშინ ალბათობა იმისა, რომ ისინი მოხვდებიან ერთდროულად, ტოლია თითოეული მათგანის ალბათობის ნამრავლისა.

მოცემული მეთოდით რომ ვისარგებლოთ, უნდა ვიცოდეთ განსაზღვრული ფენოტიპის ინდივიდების წარმოშობის/გამოვლენის ალბათობა მონოჰიბრიდული შეჯვარებისას:

სრული დომინირება: ინდივიდების რაოდენობა დომინანტური ნიშან-თვისებებით – 3/4; ინდივიდები რეცესიული ნიშან-თვისებებით – 1/4;

არასრული დომინირება: ინდივიდები დომინანტური ნიშან-თვისებებით – 1/4, ინდივიდები შუალედური ნიშნებით – 1/2, ინდივიდები რეცესიული ნიშნებით – 1/4.

ამრიგად, ვარდისფერყვავილიანი მცენარეების გამოვლენის ალბათობაა 1/2, ნორმალური გვირგვინიანის – 3/4. ვარდისფერყვავილიანი და ნორმალურგვირგვინიანი მცენარეების გამოვლენის ალბათობა ტოლია $1/2 \times 3/4 = 3/8$.

თეთრყვავილიანი მცენარეების გამოვლენის ალბათობაა 1/4, რადიალურგვირგვინიანის – 1/4. თეთრყვავილებიანი და რადიალურგვირგვინიანი მცენარეების გამოვლენის ალბათობაა: $1/4 \times 1/4 = 1/16$.

III ხერხი – ამოხსნა ფორმულით: (3 ნორმალური გვირგვინი + 1 რადიალური) $\times$ (1 წითელი + 2 ვარდისფერი + 1 თეთრი) = 3 ნორმალური წითელი + 6 ნორმალური ვარდისფერი + 3 ნორმალური თეთრი + 1 რადიალური წითელი + 2 რადიალური ვარდისფერი + 1 რადიალური თეთრი.

შენიშვნა: დიჰიბრიდული შეჯვარების გენეტიკური სქემების შედგენასა და შთამომავლობაში გენოტიპური და ფენოტიპური დათიშვის თანაფარდობის განსაზღვრაში დაგეხმარება ვირტუალური ლაბორატორია – „Dihybrid cross“ („დიჰიბრიდული შეჯვარება“) – <https://bit.ly/3JFoiwC>, სადაც სურვილის მიხედვით შეგიძლია ცვალო შესაჯვარებელი ინდივიდების ფენოტიპი და გენოტიპი, დააკვირდე მათ შთამომავლობაში გენოტიპური და ფენოტიპური დათიშვის თანაფარდობას.

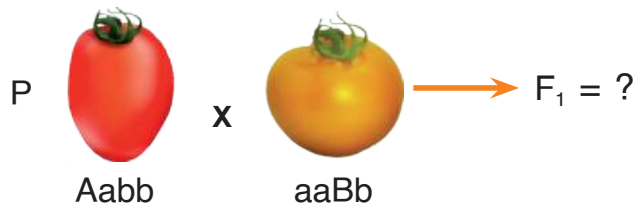


7. როგორი ტიპის გამეტებს წარმოქმნიან ორგანიზმები შემდეგნაირი გენოტიპებით:

1) AABB; 2) AaBB; 3) aaBB; 4) AABb; 5) AAbb; 6) AaBb.

8. პომიდორში ნაყოფის წითელი შეფერილობა (A) დომინირებს ყვითელზე (a), ხოლო ნაყოფის მრგვალი ფორმა (B), მსხლისებურზე (b). სურათზე წარმოდგენილი შეჯვარების მიხედვით განსაზღვრე

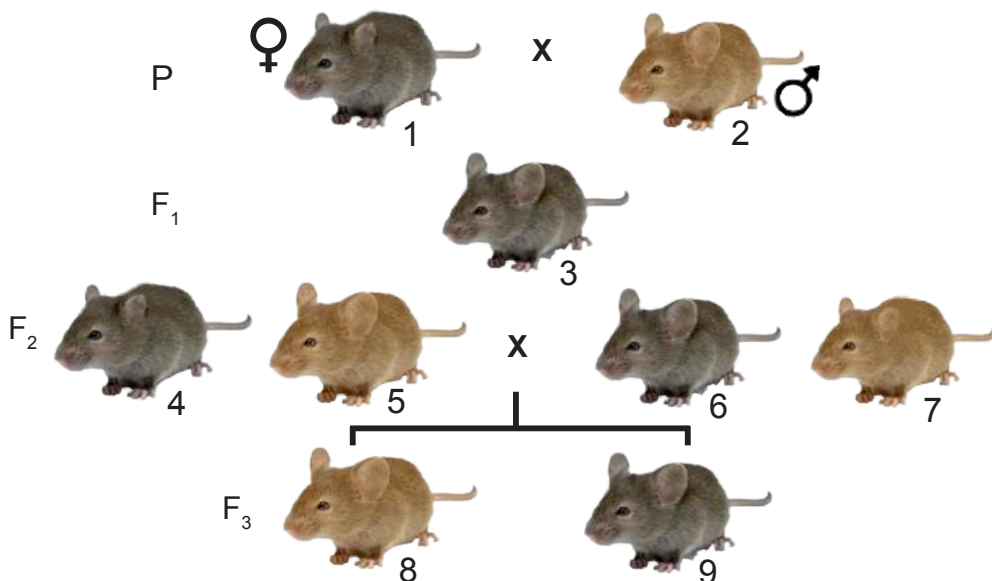
როგორი იქნება პირველი თაობის ჰიბრიდები გენოტიპისა და ფენოტიპის მიხედვით?



9. წითელი მრგვალნაყოფიანი ჯიშის პომიდორი შეაჯვარეს ყვითელი მრგვალი პომიდვრის ჯიშთან. შთამომავლობას აქვს წითელი მრგვალი და წითელი მსხლისებური ნაყოფები. განსაზღვრე მშობლებისა და ჰიბრიდების გენოტიპები.



10. ცისფერთვალემა მემარჯვენე მამაკაცი, რომლის მამაც იყო მემარცხენე, დაქორწინდა შავთვალა მემარცხენე ქალზე, რომლის ოჯახის წევრებსაც რამდენიმე თაობის განმავლობაში ჰქონდათ შავი თვალები. როგორი ბავშვები შეიძლება ჰყავდეთ მათ?
11. მშობლებს, რომელთაც არ აქვთ სმენისა და კანის პიგმენტაციის პრობლემა, შეეძინათ ყრუ ალბინოსი ბავშვი. განსაზღვრე მშობლების გენოტიპები, თუ ცნობილია, რომ სიყრუე და ალბინიზმი რეცესიული ნიშნებია.
12. შეისწავლე სურათზე ილუსტრირებული ამოცანის პირობა (მითითებული ნიშან-თვისებები თავ-ვეებში მემკვიდრეობენ ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად) და განსაზღვრე: 1) რომელი ნიშან-თვისებები დომინირებს თავვეებში (მოკლე თუ გრძელი ყურები, ბენვის შავი თუ ყავისფერი შეფერილობა); 2) როგორია P-ს, F₁-ის, F₂-ის, F₃-ის გენოტიპები.

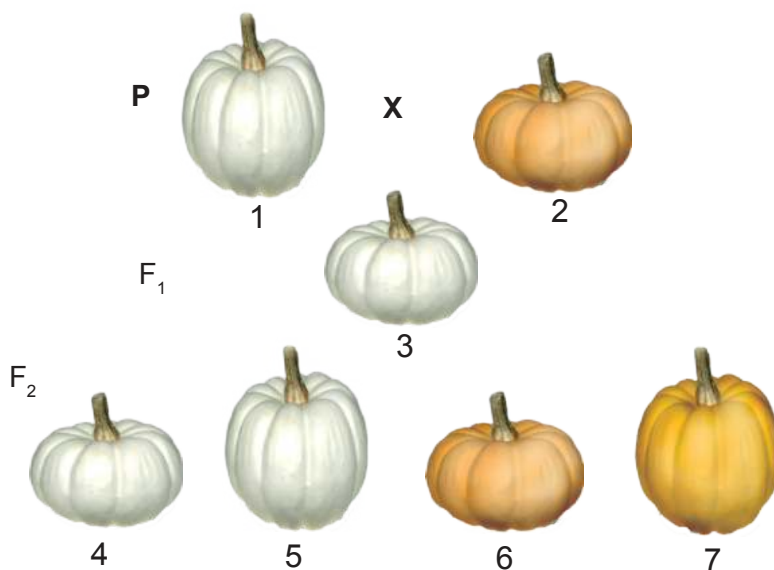


13. დედალი და მამალი შავი ქორჩიანები არიან. მათგან მიიღეს 12 წინილა: 6 შავი ქორჩიანი, 3 მურა ქორჩიანი, 2 — შავი უქორრო, 1 — მურა უქორრო. როგორია დედლისა და მამლის გენოტიპები?
14. ადამიანში კანის პიგმენტაცია (C) დომინირებს ალბინიზმზე (c), ჭორფლის არსებობა (P) მათ არარსებობაზე (p). განსაზღვრე შემდეგნაირი გენოტიპების მქონე ადამიანების ფენოტიპები: CcPp, ccPP, CCpp, ccpp, ccPp.



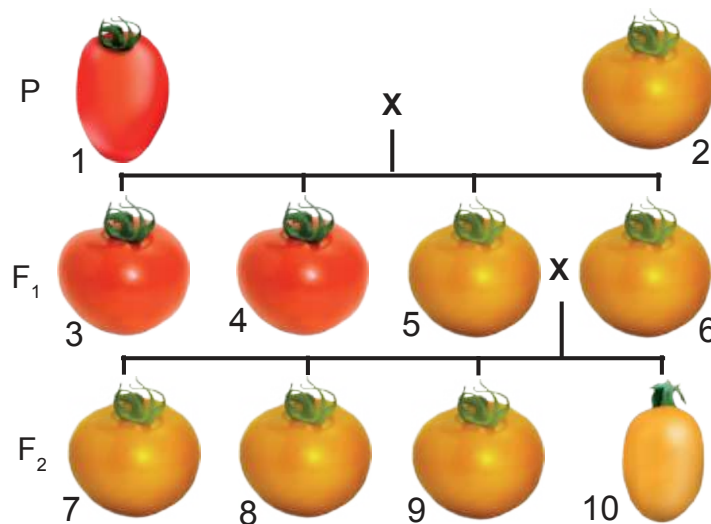
15. ისარგებლე სურათით და განსაზღვრე:

- 1) გოგორის ნაყოფის რომელი ნიშან-თვისებები დომინირებს;
- 2) როგორია P-ს, F_1 -ის, და F_2 -ის გენოტიპები (აღნიშნული ნიშან-თვისებების განმსაზღვრელი გენები ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად მემკვიდრეობს). დაასაბუთე პასუხები მენდელის კანონების გამოყენებით.
- 3) ფენოტიპური დათიშვის თანაფარდობა F_2 -ში.



16. ისარგებლე მოცემული სურათით და განსაზღვრე:

P-ს, F_1 -ის, და F_2 -ის გენოტიპები (ნიშან-თვისებები ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად მემკვიდრეობენ).



17. შავთვალა და ღია ფერის თმიანი ქალი დაქორწინდა ცისფერთვალა და მუქთმიან მამაკაცზე. ცნობილია, რომ ქალის მამას შავი თვალები აქვს, ხოლო დედას – ცისფერი, და ორივეს ღია ფერის თმები. მამაკაცის მამას აქვს მუქი თმები და ცისფერი თვალები, ხოლო დედას – ღია ფერის თმები და ცისფერი თვალები. განსაზღვრე ამოცანაში მოხსენიებული ყველა პირის გენოტიპი. აღწერილი ნიშან-თვისების მიხედვით როგორი ბავშვები შეიძლება დაიბადონ ამ ქორწინებით?

18. ადამიანში შავთვალთან და ჭორფლიანობა დომინანტური ნიშნებია. შავთვალა უჭორფლო მამაკაცი დაქორწინდა ცისფერთვალა ჭორფლიან ქალზე. განსაზღვრე, როგორი ნიშან-თვისებების ბავშვები ეყოლებათ, თუ მამაკაცი ჰეტეროზიგოტურია თვალის შეფერილობის მიხედვით, ხოლო ქალი ჰეტეროზიგოტურია ჭორფლიანობის ნიშნის მიხედვით.
19. ადამიანში გვხვდება სიყრუის ორი ფორმა – განსაზღვრება სხვადასხვა გენის რეცესიული ალელებით – **a** და **b**. განსაზღვრე სმენის მქონე ბავშვის დაბადების ალბათობა ოჯახში, სადაც ორივე მშობელს აქვს სიყრუის სხვადასხვა ფორმა, ხოლო მეორე წყვილი ალელების მიხედვით ჰეტეროზიგოტურები არიან.
20. პომიდორში ნაყოფის მრგვალი ფორმა და წითელი შეფერილობა დომინირებს მსხლისებურ ფორმასა და ყვითელ შეფერილობაზე. შეაჯვარეს სხვადასხვა ჯიშის ჰომოზიგოტური მცენარეები: ერთი წითელი მსხლისებური ნაყოფით, მეორე ყვითელი მრგვალი ნაყოფით. მეორე თაობაში მიღებულია 160 მცენარე, მათგან რამდენს ექნება წითელი მრგვალი ნაყოფი?
21. მამრი ზღვის გოჭი, რომელსაც აქვს გრძელი შავი ბეწვი, შეაჯვარეს მოკლებენვიან შავ მდედრთან. მიიღეს 15 გოჭი შავი მოკლებენვიანი, 13 – შავი გრძელბეწვიანი, 4 თეთრი მოკლებენვიანი, 5 თეთრი გრძელბეწვიანი. განსაზღვრე მშობლების გენოტიპები.



- დიჰიბრიდული შეჯვარების დროს შეისწავლება ორი წყვილი ალტერნატიული ნიშან-თვისების მემკვიდრეობა თაობათა განმავლობაში;
- მენდელმა დიჰიბრიდული შეჯვარების დროს დაადგინა გენეტიკური კანონზომიერება, რომელსაც ეწოდება გენების დამოუკიდებლად განაწილების კანონი;
- გენების დამოუკიდებლად განაწილების კანონის ციტოლოგიური საფუძველი იმაში მდგომარეობს, რომ სხვადასხვა ალტერნატიული ნიშნის განმსაზღვრელი ალელური გენები ლოკალიზებულია ქრომოსომების სხვადასხვა ჰომოლოგიურ წყვილში;
- მეიოზის პროცესში გამეტებში ჰომოლოგიური ქრომოსომების თავისუფალი და შემთხვევითი განაწილება, გამეტების თავისუფალი და შემთხვევითი შერწყმა არის გენების ახალი კომბინაციის წყარო და, შესაბამისად, ბიომრავალფეროვნების საფუძველი.



როგორ შეიძლება უცნობი გენოტიპის განსაზღვრა?



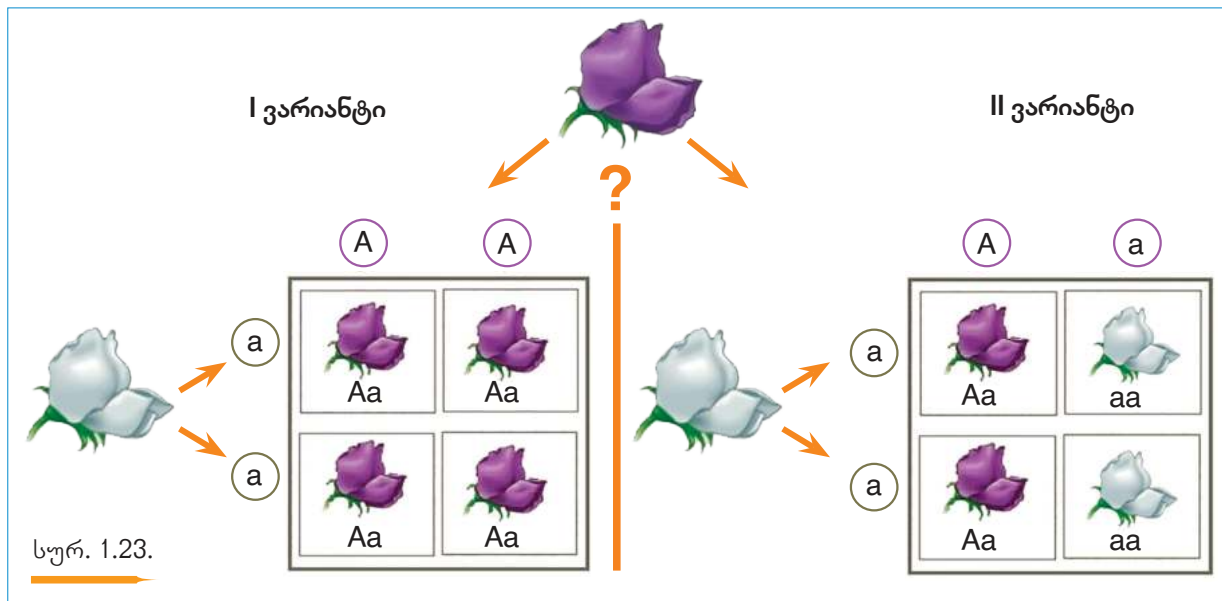
- **სტრუქტურა და ფუნქცია:** ფენოტიპი, გენოტიპი (ჰომოზიგოტური, ჰეტეროზიგოტური).
- **სასიცოცხლო თვისებები:** გამაანალიზებელი შეჯვარება – უცნობი გენოტიპის განსაზღვრის საშუალება.

წინა პარაგრაფებში გენოტიპური და-თიშვის სქემების განხილვამ გვიჩვენა, რომ ფენოტიპის მიხედვით გენოტიპის განსაზღვრა ყოველთვის არ შეიძლება. უცნობ გენოტიპს განსაზღვრავენ ე.წ. **გამაანალიზებელი შეჯვარებით**. ამ მეთოდის არსი შემდგომში მდგომარეობს: **გამოსაკვლევი გენოტიპის ინდივიდს აჯვარებენ რეცესიული ნიშნის მქონე ინდივიდთან, რადგან მისი გენოტიპი ყოველ-**



- მენამულყვავილებიან მცენარეს რამდენი სახის გენოტიპი შეიძლება ჰქონდეს?
- ყვითელი გლუვთესლიანი მცენარე რამდენი სახის გენოტიპით შეიძლება იყოს წარმოდგენილი?
- რა შემთხვევაში შეიძლება ფენოტიპის მიხედვით გენოტიპის ზუსტი განსაზღვრა? მოიყვანე შესაბამისი მაგალითები.

თვის ცნობილია. მაგალითად, მენამული შეფერილობის ყვავილიანი ბარდა შეიძლება იყოს ჰომოზიგოტური (AA) ან ჰეტეროზიგოტური (Aa). მისი გენოტიპის გამოსაკვლევად შეაჯვარეს თეთრყვავილებიან ბარდასთან (aa). მოსალოდნელია ჰიბრიდული თაობის ორი ვარიანტი (სურ. 1.23).



სურ. 1.23.

I ვარიანტი. თუ მხოლოდ მენამული შეფერილობის ყვავილიანი ჰიბრიდები იქნა მიღებული, მაშინ უცნობი გენოტიპის ინდივიდი ჰომოზიგოტურია (AA). იგი ერთი სახის გამეტებს წარმოქმნის (A), როგორც რეცესიული ფორმა (a), გამეტების შერწყმით მიიღება Aa გენოტიპის ჰიბრიდები და ყველას ექნება მენამული ყვავილები.

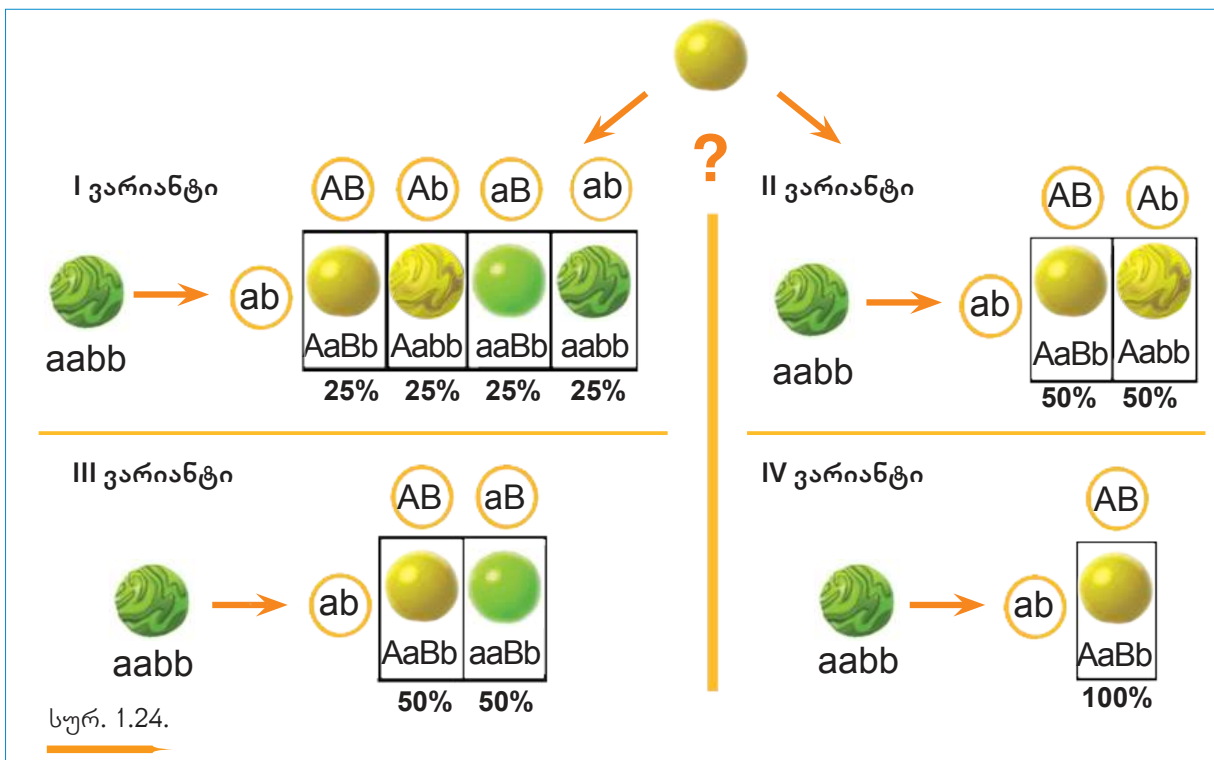
II ვარიანტი. თუ გამოსაკვლევი ინდივი-

დისა და რეცესიული ორგანიზმის შეჯვარებისას მიღებული შთამომავლობის ნახევარს აქვს მენამული ყვავილები, ნახევარს კი – თეთრი, მაშინ გამოსაკვლევი გენოტიპი ჰეტეროზიგოტური (Aa) ყოფილა. იგი წარმოქმნის ორი სახის გამეტას A და a ალელებით, ამიტომ ჰიბრიდები ორი სახის გენოტიპით – Aa და aa მიიღება, შესაბამისად, ფენოტიპურად მენამულყვავილიანი და თეთრყვავილი-

ნი (თითოეული 50%).

გამაანალიზებელი შეჯვარება განვიხილოთ დიჰიბრიდული შეჯვარების მაგალითზეც. დავუშვათ, გვაქვს ყვითელი გლუვთესლიანი ბარდის ჯიშში. მისი გენოტიპი შეიძლება

განისაზღვროს ისეთი ჯიშის მცენარესთან შეჯვარების შედეგად, რომელსაც აქვს მწვანე დანაოჭებული თესლი. მოსალოდნელია ჰიბრიდული თაობის ოთხი ვარიანტი (სურ. 1.24).



I ვარიანტი. დათიშვა შთამომავლობაში – 25% ყვითელი გლუვი, 25% მწვანე გლუვი, 25% ყვითელი დანაოჭებული, 25% მწვანე დანაოჭებული. aabb – ინდივიდი წარმოქმნის მხოლოდ ერთი ტიპის გამეტებს – ab-ს. ამ ალელებს იღებს ყოველი ჰიბრიდი, ხოლო სხვა ალელებს იღებს მეორე მშობლიური ინდივიდისაგან და სწორედ ის განაპირობებს ფენოტიპს. ამიტომ ჰიბრიდებს ექნებათ ასეთი გენოტიპები: ყვითელი გლუვი – AaBb, მწვანე გლუვი – aaBb, ყვითელი დანაოჭებული – Aabb, მწვანე დანაოჭებული – aabb. ამრიგად, ყვითელგლუვთესლიანი ინდივიდი წარმოქმნის ოთხი ტიპის გამეტას: AB, aB, Ab, ab. მაშასადამე, მისი გენოტიპია – AaBb.

II ვარიანტი. შთამომავლობაში დათიშვა ასეთია – 50% ყვითელი გლუვი, 50% ყვითელი დანაოჭებული. განსაზღვროთ ჰიბრიდების გენოტიპები: ყვითელი გლუვი – AaBb, ყვითელი დანაოჭებული – Aabb. ამრიგად,

ყვითელი გლუვთესლიანი ინდივიდი წარმოქმნის AB და Ab გამეტებს. მისი გენოტიპი იქნება AABb.

III ვარიანტი. შთამომავლობაში დათიშვა ასეთია: 50% ყვითელი გლუვი, 50% მწვანე გლუვი. ჰიბრიდების გენოტიპებია: ყვითელი გლუვი – AaBb, მწვანე გლუვი – aaBb. ყვითელი გლუვთესლიანი ინდივიდი წარმოქმნის AB და aB გამეტებს; ე. ი. მისი გენოტიპია AaBB.

IV ვარიანტი. ყველა შთამომავალს აქვს ყვითელი გლუვი თესლი. ჰიბრიდის გენოტიპია AaBb. ყვითელი გლუვთესლიანი ინდივიდი წარმოქმნის ერთი ტიპის გამეტებს – AB, ე. ი. მისი გენოტიპია – AABB.

არის შემთხვევები, როდესაც ფენოტიპის მიხედვით გენოტიპის ზუსტი განსაზღვრა შეიძლება, მაგ., 1) რეცესიული ფორმის; 2) არასრული დომინირებითა და 3) კოდომინირებით განსაზღვრული ნიშან-თვისებების მქონე ინდივიდის.



გამაანალიზებელ შეჯვარებაზე ორიენტირებული გენეტიკური ამოცანების ამოხსნის მაგალითი

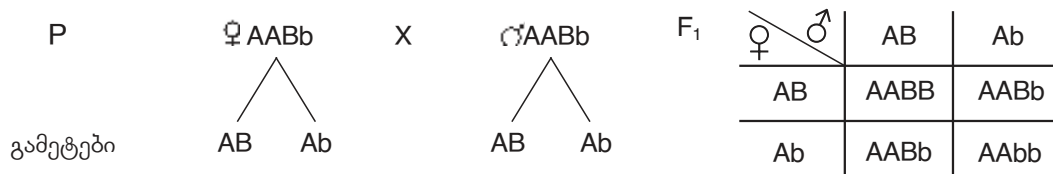
ამოცანა

ლემას ყვავილის მენამული შეფერილობა (A) დომინირებს თეთრზე (a), ხოლო ეკლიანი კოლოფი (B) გლუვზე (b). მენამულყვავილიანი და ეკლიანი კოლოფის მქონე მცენარე შეაჯვარეს მცენარესთან, რომელსაც აქვს თეთრი ყვავილი და გლუვი კოლოფი. შთამომავლობაში მიღებულია 320 მცენარე მენამული ყვავილით და ეკლებიანი კოლოფით, 312 მცენარე მენამული ყვავილითა და გლუვი კოლოფით. როგორი შთამომავლობა მიიღება მენამული ყვავილისა და ეკლიანი კოლოფის მქონე მშობლიური მცენარის თვითდამტვერვის გზით გამრავლებისას?

ამოხსნა:

პირველ რიგში უნდა განისაზღვროს მენამულყვავილიანი და ეკლებიანკოლოფიანი მცენარის გენოტიპი. შთამომავლობაში დათიშვა მოხდა 1:1 თანაფარდობით. ჰიბრიდების გენოტიპებია: მენამული ეკლიანი — AABb; მენამული გლუვი — Aabb.

ეს იმას ნიშნავს, რომ მენამულყვავილიანი და ეკლიანი კოლოფების მქონე მშობლიური მცენარე წარმოქმნის AB და Ab გამეტებს. აქედან გამომდინარე, მისი გენოტიპია — AABb. განვსაზღვროთ ამ მცენარის თვითდამტვერვის შედეგად მიღებული შთამომავლობა:



გენოტიპის მიხედვით დათიშვა იქნება: 1AABB:2AABb:1AAbb, ფენოტიპის მიხედვით კი — 75% მენამული ეკლიანი, 25% მენამული გლუვი.



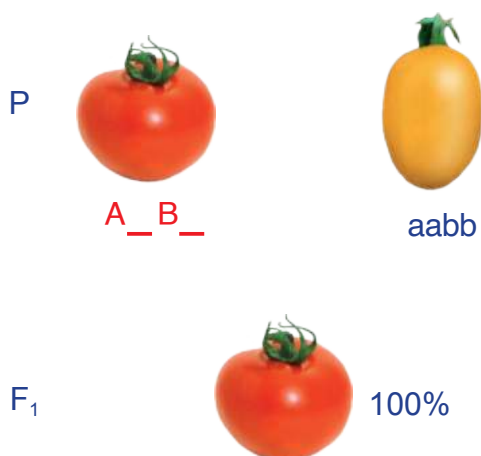
- როგორი იქნება ფენოტიპების თანაფარდობა გამაანალიზებელი შეჯვარების შედეგად მიღებულ შთამომავლობაში, თუ ინდივიდი ჰეტეროზიგოტურია ორი ნიშან-თვისების მიხედვით. ა) 1:1; ბ) 3:1; გ) 1:1:1:1; დ) 9:3:3:1?
- როგორი იქნება ფენოტიპების თანაფარდობა გამაანალიზებელი შეჯვარებისას, თუ ინდივიდს აქვს ასეთი გენოტიპი:
1) Aa, 2) AaBb, 3) AABb, 4) AaCC?
- ჰომიდორში ნაყოფის წითელი შეფერილობა დომინირებს ყვითელზე. ორბუდიანი ნაყოფი მრავალბუდიანზე, მაღალი ღერო — ჯუჯაზე. სელექციონერს აქვს მაღალღეროიანი წითელი ორბუდიანი ნაყოფის მქონე ჯიში. პრაქტიკულად როგორ შეიძლება განისაზღვროს, მას ჰომოზიგოტური გენოტიპი აქვს თუ არა?
- ძაღვებში ბენვის შავი შეფერილობა დომინირებს ყავისფერზე, ხოლო მოკლე ბენვი — გრძელზე. მონადირემ იყიდა შავი მოკლებენვიანი ძაღლი და სურს დარწმუნდეს, რომ იგი არ ატარებს ყავისფერი და გრძელი ბენვის განმსაზღვრელ ალელებს. შესაჯვარებლად როგორი პარტნიორი უნდა შეირჩეს, რომ შემომდგეს ნაყიდი ძაღლის გენოტიპი?
- მწვანე გლუვთესლიანი და მწვანე ნაოჭთესლიანი მცენარეების შეჯვარებისას მიიღეს 125 მწვანე გლუვი და 117 მწვანე ნაოჭიანი თესლი, განსაზღვრე მშობლებისა და მიღებული თაობის სავარაუდო გენოტიპები.
- სურნელოვან ბარდაში მაღალი ღერო დომინირებს ჯუჯაზე; ნაყოფის მწვანე შეფერილობა — ყვითელზე. მაღალი მწვანენაყოფიანი მცენარე შეაჯვარეს ჯუჯა ყვითელნაყოფიან მცენარესთან. შთამომავლობაში მიიღეს 52 მაღალი მწვანენაყოფიანი მცენარე და 49 ჯუჯა მწვანენაყოფიანი განსაზღვრე მშობლიური ინდივიდების გენოტიპები.

7. ცხრილის ცარიელ უჯრებში ჩაწერე გამაანალიზებელი შეჯვარების შესაბამისი გენეტიკური სქემები.

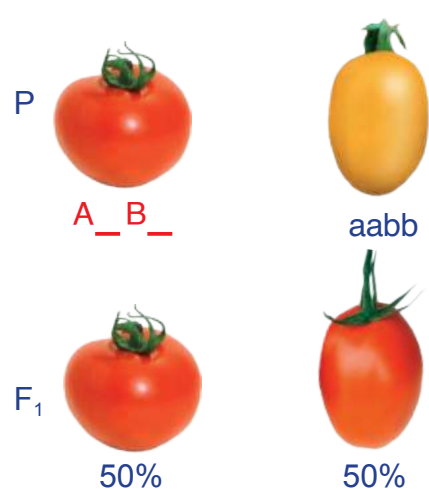
გენოტიპი	გამაანალიზებელი შეჯვარების სქემა
AABBCC	×
AaBBCC	×
AABbCC	×
AaBbCC	×

8. ილუსტრაციებზე მოცემული შეჯვარების სქემების მიხედვით განსაზღვრე დომინანტური მშობლიური ინდივიდისა და ჰიბრიდების გენოტიპები (A/a — ნაყოფის ფორმა, B/b — შეფერილობა).

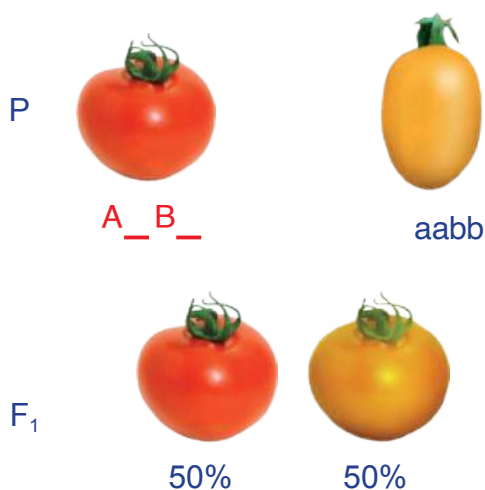
1



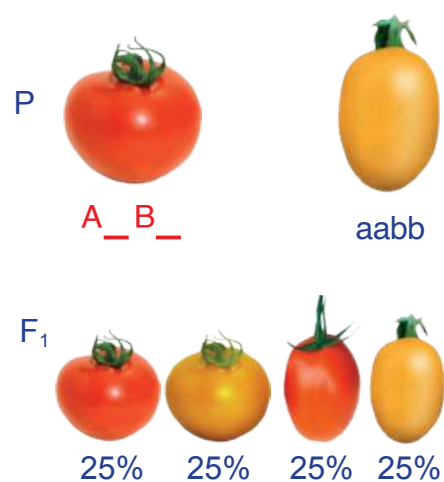
2



3



4



- უცნობი გენოტიპის განსაზღვრის მიზნით, გამოსაკვლევ მცენარეს აჯვარებენ რეცესიულ ფორმასთან, რადგან მისი გენოტიპი ყოველთვის ცნობილია;
- ფენოტიპურად რეცესიული ინდივიდის გარდა, ზუსტი გენოტიპის გამოცნობა შესაძლებელია არასრული დომინირებითა და კოდომინირებით განსაზღვრული ფენოტიპის მქონე ინდივიდის.



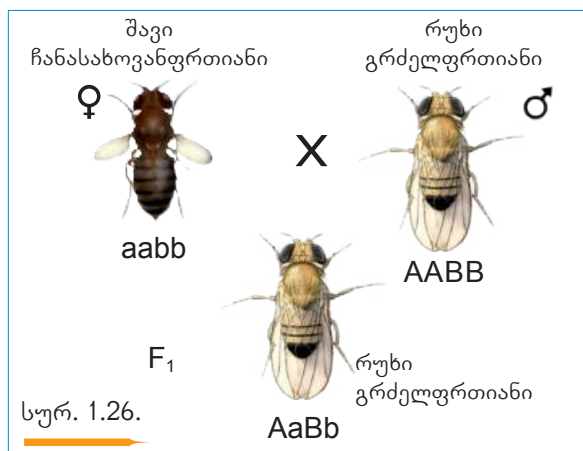
როგორ მემკვიდრეობს ერთ ქრომოსომაში ლოკალიზებული სხვადასხვა გენი?



- **სასიცოცხლო თვისებები:** მემკვიდრეობითობა – შეჭიდული მემკვიდრეობა; ცვალებადობა – კროსოვერული გამეტებისა და ჰიბრიდების მიღება.
- **ბიომრავალფეროვნება:** კროსინგოვერი – გენეტიკური და ბიომრავალფეროვნების ერთ-ერთი საფუძველი.
- **სტრუქტურა და ფუნქციები:** ქრომოსომის სტრუქტურა – შეჭიდულ გენთა ჯგუფები, ქრომოსომული რუკები.

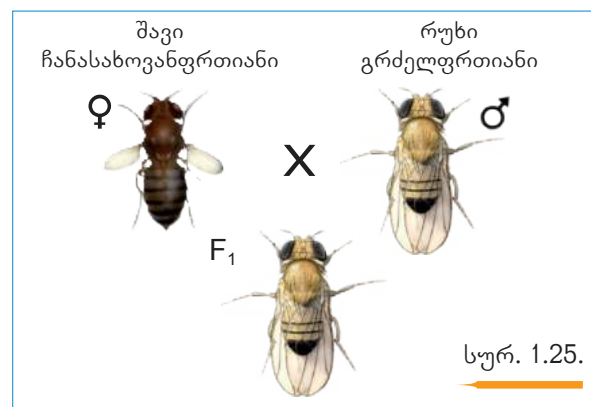
აქამდე განხილული დიჰიბრიდული შეჯვარების ყველა მაგალითი ეხებოდა ისეთი გენების მემკვიდრეობას, რომლებიც სხვადასხვა ჰომოლოგიურ ქრომოსომებში იყო ლოკალიზებული. მაგრამ ორგანიზმებისთვის ნიშან-თვისებების გაცილებით მეტი რაოდენობა დამახასიათებელი, ვიდრე ქრომოსომების. ამიტომ ერთ ქრომოსომაში ლოკალიზებულია მრავალი გენი. აქედან გამომდინარე, მნიშვნელოვანია იმის გარკვევა, თუ როგორია ერთ ქრომოსომაში ლოკალიზებული გენების მემკვიდრეობა.

ამ საკითხის შესწავლაში უდიდესი წვლილი მიუძღვის ამერიკელ გენეტიკოსს **თომას მორგანს**. მან ცდის ობიექტად შეარჩია ხილის ბუზი – დროზოფილა, რომელიც ძალიან ხელსაყრელია ჰიბრიდიზაციისათვის, ვინაიდან ახასიათებს გარეგნულად მკვეთრად გამოხატული მრავალი მემკვიდრული ნიშან-თვისება; აქვს ქრომოსომათა მცირე რიცხვი ($2n=8$); ახასიათებს მაღალი ნაყოფიერება და ლა-



გაანალიზე სურათ 1.25-ზე მოცემული შეჯვარების გენეტიკური სქემა და უპასუხე კითხვებს:

- დაასახელე ნიშან-თვისებები, რომელთა მემკვიდრეობას ასახავს მოცემული სქემა;
- სქემა მონოჰიბრიდულ შეჯვარებას ასახავს თუ დიჰიბრიდულს?
- დაასახელე დომინანტური და რეცესიული ნიშან-თვისებები;
- როგორ ფიქრობ, რა ტიპის ფენოტიპი შეიძლება ჰქონდეთ პირველი თაობისა და რეცესიული ინდივიდის შეჯვარებით მიღებულ ჰიბრიდებს? როგორი %-ული მაჩვენებლით იქნება წარმოდგენილი თითოეული ფენოტიპი?

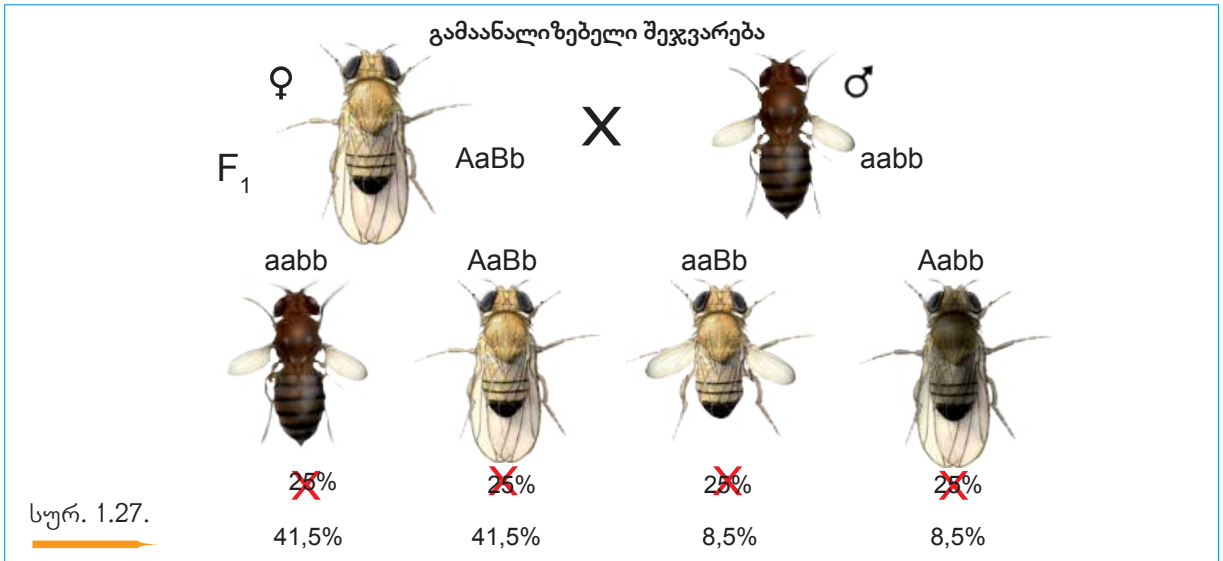


ბორატორიულ პირობებში საკვებ არეში $25-26^{\circ}\text{C}$ -ზე სწრაფად მრავლდება.

განვიხილოთ მორგანის ექსპერიმენტები, რომლებიც მენდელის დიჰიბრიდული შეჯვარების მსგავსი იყო – მან შეაჯვარა რუხი ნორმალურფრთიანი და შავი ჩანასახოვანფრთიანი დროზოფილები (A/a – ფრთების ფორმა, B/b – სხეულის შეფერილობა). პირველ თაობაში მიიღო ყველა რუხი გრძელფრთიანი (სურ. 1.26). შემდეგ პირველი თაობის მდედრი დიჰეტეროზიგოტა ($AaBb$) შეაჯვარა მამრ რეცესიულ ფორმასთან ($aabb$), ე. ი. აწარმოვა გამაანალიზებელი შეჯვარება (სურ. 1.27.). თუ ამ ალელების მემკვიდრეობა მენდელის გენების დამოუკიდებლად განაწილების კანონის მიხედვით მოხდებოდა, მას უნდა მიეღო ასეთი ფენოტიპური შედეგი: 25% რუხი გრძელფრთიანი, 25% რუხი ჩანასახოვან-

ფრთიანი, 25% შავი გრძელფრთიანი, 25% შავი ჩანასახოვანფრთიანი. მაგრამ მან მრავალჯერ გაიმეორა ასეთი შეჯვარება და ყოველთვის მიიღო დაახლოებით ასეთი შედეგი: 41,5% რუხი გრძელფრთიანი, 41,5% შავი

ჩანასახოვანფრთიანი, 8,5% რუხი ჩანასახოვანფრთიანი, 8,5% შავი გრძელფრთიანი. ანუ, შთამომავლობის 83% მიიღო მშობლიური ინდივიდების მსგავსი, ხოლო 17% ახალი კომბინაციები (სურ. 1.27.).

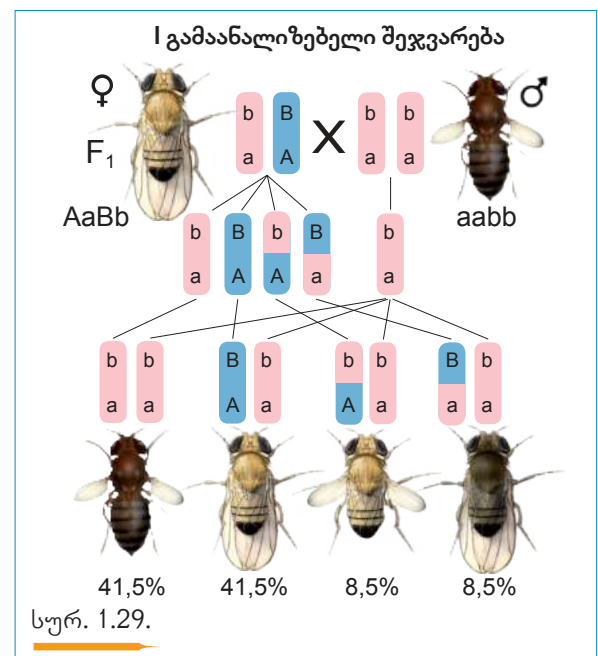
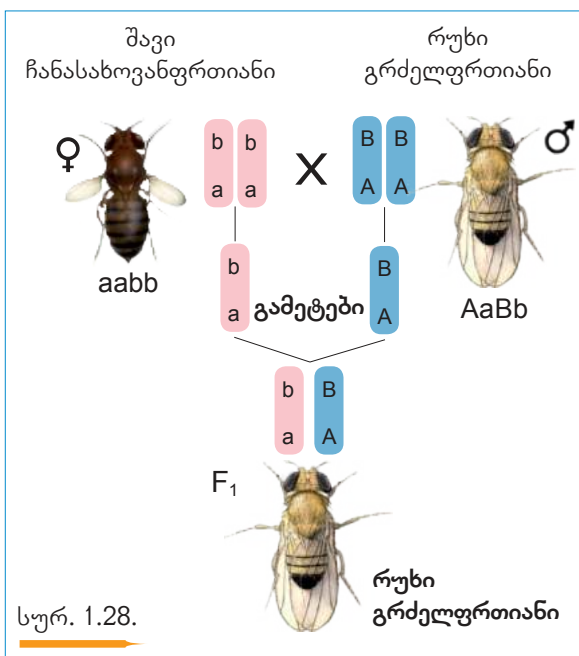


მიღებული შედეგების ანალიზის საფუძველზე მორგანმა დაასკვნა, რომ:

- შესასწავლი გენები ლოკალიზებულია ერთ წყვილ ჰომოლოგიურ ქრომოსომაში;
- ერთ ქრომოსომაში ლოკალიზებული გენები **შეჭიდულად** მემკვიდრეობენ (სურ. 1.28);
- ყოველი გენის ალელები განლაგებულია ჰომოლოგიურ ქრომოსომებში;
- მეიოზის პროცესში ჰომოლოგიურმა ქრო-

მოსომებმა შეიძლება გაცვალონ უზნები (შესაბამისად, ამ უზნებში ლოკალიზებული გენები) და დაირღვეს გენთა შეჭიდულობა (სურ. 1.29). მორგანმა შთამომავლობაში ახალი კომბინაციების მიღება ახსნა კროსინგოვერის მოვლენით.

ერთ ქრომოსომაში ლოკალიზებულ გენებს **შეჭიდული გენების ჯგუფს** უწოდებენ. **შეჭიდულ გენთა ჯგუფების რაოდენობა სხვადასხვა**



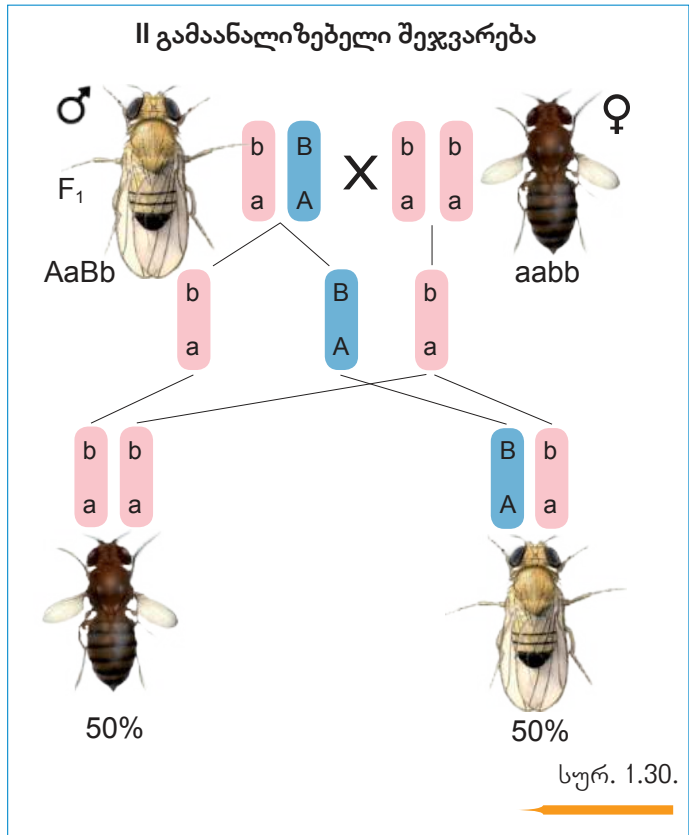
სახეობის ორგანიზმებისათვის განსხვავებულია. იგი მათთვის დამახასიათებელი ქრომოსომების ჰაპლოიდური რიცხვის ტოლია. მაგალითად, დროზოფილაში შეჭიდული გენების ჯგუფის რიცხვი 4-ის ტოლია.

როგორც დროზოფილას მაგალითზე ვნახეთ, დიჰიბრიდული შეჯვარების დროს შეჭიდული გენები (ანუ ერთ ქრომოსომაში ლოკალიზებული გენები) მენდელის კანონებს არ ემორჩილება. მეორე მხრივ, სრული შეჭიდულობა იშვიათია. შთამომავლობაში გვხვდება გენოტიპის ახალი და, შესაბამისად, ფენოტიპის ახალი კომბინაციებიც. ქრომოსომებში ალელების საწყისი კომბინაცია იყო *ab* და *AB*, კროსინგოვერის შედეგად მიიღება ალელების ახალი კომბინაცია – *aB* და *Ab*. თუ ჰიბრიდებში იშვიათად გვხვდება ახალი კომბინაციები, ეს იმის მიმანიშნებელია, რომ საქმე გვაქვს გენების შეჭიდულობასთან.

გამაანალიზებელი შეჯვარების მეორე შემთხვევაში მორგანმა პირველი თაობის მამრი დროზოფილა შეუჯვარა შავ ჩანასახოვან ფრთებიან მდედრს. მან პირველი შემთხვევისაგან სრულიად განსხვავებული დათიშვა მიიღო (სურ. 1.30). გამოირკვა, რომ სქესი გარკვეულწილად მოქმედებს კროსინგოვერზე. მაგალითად, დროზოფილაში კროსინგოვერი ხდება მხოლოდ მდედრებში. მამრებში კი – არა და ამიტომ მათში ერთ ქრომოსომაში განლაგებული გენების შეჭიდულობა სრულია.

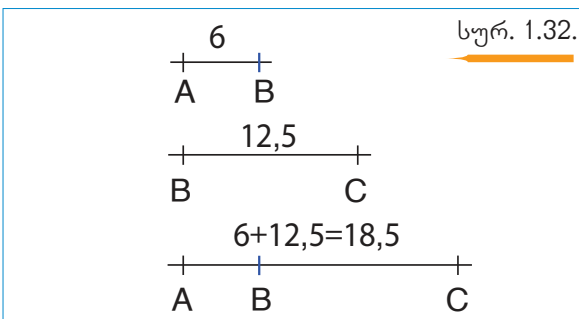
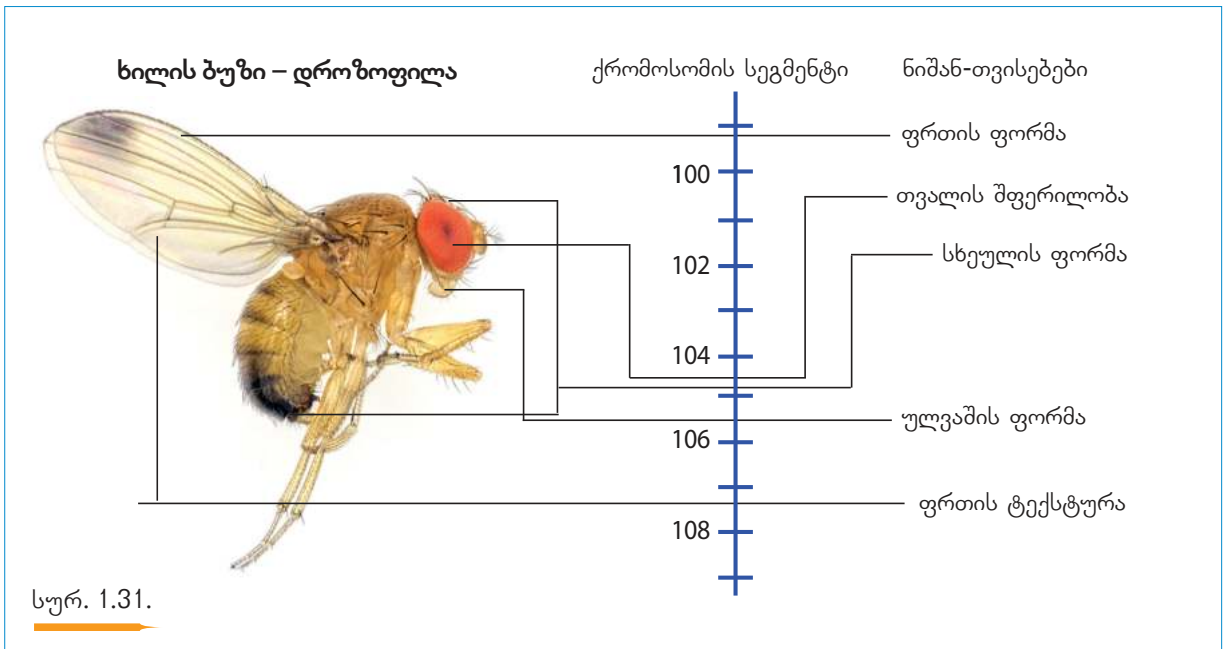
თუ გენები ლოკალიზებულია ჰომოლოგიური ქრომოსომების ერთ წყვილში, მაშინ ინდივიდის გენოტიპი ჩაინერება ასეთი სახით: *AB/ab*. ეს ინდივიდი კროსინგოვერის შედეგად წარმოქმნის ასეთი ტიპის გამეტებს: *Ab* და *aB*. ეს კროსოვერული გამეტებია, ხოლო *AB* და *ab* – არაკროსოვერული. **კროსოვერული გამეტები** შეიცავენ ალელების ახალ კომბინაციას. ამიტომ კროსინგოვერი ბუნებაში გენეტიკური მრავალფეროვნების ერთ-ერთი საფუძველია.

მორგანის ერთ-ერთმა მოსწავლემ **ალფრედ სტერტევანტმა** წამოაყენა ჰიპოთეზა, რომ



მეიოზის პროცესში კროსინგოვერის სიხშირე დაკავშირებულია ქრომოსომაში გენებს შორის მანძილთან. სტერტევანტმა დროზოფილაში გამოიკვლია სამი ნიშან-თვისების – სხეულის ფერის, თვალის ფერისა და ფრთების ზომის – განმსაზღვრელ გენებს შორის კავშირი. იგი აჯვარებდა ამ ნიშან-თვისებების მიხედვით ჰეტეროზიგოტურ მდედრებს რეცესიულ მამრებთან და გამოითვლიდა ახალი ფენოტიპის მქონე ჰიბრიდების პროცენტს. ეს პროცენტი წარმოადგენდა ჰომოლოგიური ქრომოსომების ქრომატიდებს შორის კროსინგოვერის სიხშირეს. კროსინგოვერის სიხშირის გათვალისწინებით სტერტევანტმა შეადგინა გენთა შეჭიდულობის რუკები. ეს რუკა ასახავს ქრომოსომაში გენების შეფარდებით განლაგებას. რუკის მაგალითი წარმოდგენილია სურათ 1.31-ზე.

წარმოიდგინე *A* გენის მდებარეობა ქრომოსომაში, როგორც სწორ ხაზზე წერტილი. *B* გენი მდებარეობს *A* გენის მარცხნივ ან მარჯვნივ. იგივე სამართლიანია *B* და *C* გენების მიმართ. თუ შენთვის ცნობილია მანძილი *A* და *B* გენებს შორის და, ასევე,



მანძილი B და C გენებს შორის, შენ ვერ განსაზღვრავ სამივე გენის თანმიმდევრობას ქრომოსომაში. ამისთვის აუცილებლად უნდა იცოდე მანძილი A და C გენებს შორისაც. როგორც სურათზეა (სურ. 1.32) ნაჩვენები, A და B გენებს შორის, B და C გენებს შორის მანძილების ჯამი ტოლია A და C გენებს შორის მანძილის. შესაბამისად, რუკაზე B გენი უნდა მდებარეობდეს A და C გენებს შორის. თუ მანძილი A და C გენებს შორის იქნებო-

და 6.5 ერთეული, 18.5 ერთეულის ნაცვლად, მაშინ A გენის მდებარეობა იქნებოდა B და C გენებს შორის.

მოცემულ გენებს შორის კროსინგოვერის სიხშირე პირდაპირპროპორციულია მათ შორის მანძილის, ანუ ქრომოსომაში რაც უფრო დაშორებულია გენები ერთმანეთისაგან, მით უფრო მაღალი სიხშირით ხდება მათ შორის კროსინგოვერი და დაბალია ამ გენებს შორის შეჭიდულობის ხარისხი. მანძილი იზომება პირობით ერთეულებში – მორგანიდებში. ერთი **მორგანიდი** (სანტიმორგანი) ეს ისეთი მანძილია გენებს შორის, რომლის დროსაც კროსინგოვერი ხდება 1% სიხშირით. მოცემულ გენებს შორის კროსინგოვერის სიხშირე რიცხობრივად გამაანალიზებელი შეჯვარების დროს მიღებული კროსოვერული ინდივიდების* %-ის ტოლია. ანუ ჰეტეროზიგოტური მშობლიური ინდივიდის მიერ წარმოქმნილი კროსოვერული გამეტების* %-ის ტოლია.



1. რას უდრის შეჭიდული გენების ჯგუფის რიცხვი ადამიანში? ახსენი შენი პასუხი.
2. შეადარე სურათებზე (სურ. 1.29 და 1.30) წარმოდგენილი პირველი და მეორე გამაანალიზებელი შეჯვარების შედეგები ერთმანეთს. ახსენი I I შეჯვარების შედეგად მიღებული დათიშვის თანაფარდობის განსხვავება I შეჯვარების დათიშვის თანაფარდობასთან შედარებით.
3. როდის მოქმედებს გენების დამოუკიდებლად განაწილების კანონი და როდის – შეჭიდულობის კანონი?



კროსინგოვერის მოდელის შექმნა

საკვლევი კითხვები:

- კროსინგოვერის სიხშირე როგორ არის დამოკიდებული ერთ ქრომოსომაში ლოკალიზებულ გენებს შორის მანძილზე;
- როგორ შეიძლება გენებს შორის კროსინგოვერის სიხშირე გამოყენებული იყოს ქრომოსომული რუკის შესადგენად.

საჭირო მასალა: ხის 15 სმ სიგრძის ჯოხი, რომლის ქვედა ბოლო შეფერილია მარკერით; სახაზავი; სანერ-კალამი; თაბახის ფურცელი.

მონაცემთა ცხრილი 1. კროსინგოვერის მოდელი				
გენები, რომლებიც A გენს სცილდება	რამდენჯერ დასცილდა A გენს	კროსინგოვერის სიხშირე	გენების ადგილმდებარეობა ქრომოსომაში A გენის მიმართ	
			გამოთვლილი	ფაქტობრივი
B	×	×	×	1
C	×	×	×	3
D	×	×	×	6
E	×	×	×	10
F	×	×	×	15

პროცედურა:

1. თაბახის ფურცლის ცენტრში სახაზავით ჩამოუსვი 15 სმ სიგრძის ხაზი. ხაზის ბოლოში გააკეთე პატარა ჰორიზონტალური ხაზი, აქედან გადაზომე და გააკეთე ხაზზე მონიშვნები ყოველ 1-3-6-10 და 15 სმ-ზე.
2. თითოეული ჰორიზონტალური მონიშვნა დაასათაურე ანბანის (A – F) მიხედვით (დაიწყე ბოლოდან).
3. ვერტიკალური ხაზი ასახავს ქრომოსომას, რომელშიც განლაგებულია 6 გენი (A, B, C, D, E, F). ამ ქრომოსომის ჰომოლოგიური ქრომოსომა მონიშნულბოლოიანი ხის ჯოხი.
4. თაბახის ფურცელი ისე მოათავსე მაგიდაზე, რომ მისი ქვედა კუთხე 15 სმ-ით იყოს დაშორებული მაგიდის კიდიდან. სკამი, რომელზედაც ზიხარ, გასწიე უკან ისე, რომ მისი წინა მხარე 30 სმ-ით იყოს დაშორებული მაგიდიდან.
5. გამოთქვი ჰიპოთეზა, რომელი გენები უფრო ხშირად დასცილდებიან A გენს კროსინგოვერის შედეგად?
6. ისროლე ხის ჯოხი ვერტიკალური ხაზის მიმართულებით ისე, რომ ჯოხი დაეცეს ხაზზე ან ხაზის გასწვრივ. ეს „კროსინგოვერის პროცესს“ ასახავს.
7. როდესაც „კროსინგოვერი მოხდება“, შეხედე ჯოხის ფერად კუთხეს, რათა განსაზღვრო, თუ სად მოხდა კროსინგოვერი A გენსა და დანარჩენ გენებს შორის. შესაბამისი აღრიცხვა გააკეთე მონაცემთა აღრიცხვის ცხრილში. მაგალითად, თუ ჯოხის ფერადი კუთხე დაეცემა D-სა და E-ს შუა, ცხრილში აღნიშვნა გააკეთე E და F გენებზე, რადგან A გენს ეს გენები გამოეყვნენ კროსინგოვერის შედეგად.
8. ჯოხი ისროლე 100-ჯერ და დააფიქსირე შედეგები მონაცემების ცხრილში.
9. შეაჯამე რიცხვები თითოეული 5 გენისათვის. შენი ცხრილის შესაბამის ადგილზე ჩაწერე რამდენჯერ დასცილდა თითოეული გენი A გენს.
10. გამოიანგარიშე კროსინგოვერის სიხშირე. ამისათვის თითოეული გენის A გენიდან გამოყოფის საერთო რაოდენობა გაყავი 100-ზე. შედეგი ჩაწერე მონაცემთა ცხრილის შესაბამის ადგილას.
11. გამოთვალე ადგილმდებარეობა თითოეული გენის A გენთან მიმართებით შენს ექსპერიმენტში მიღებული კროსინგოვერის სიხშირის მიხედვით: მათი კროსინგოვერის სიხშირე გაამრავლე 15-ზე და დაამრგვალე უახლოეს მთელ რიცხვამდე. მონაცემთა ცხრილში ჩაინიშნე მიღებული შედეგი.

ანალიზი და დასკვნა:

1. ჯოხის ყოველი სროლა იწვევს თუ არა „კროსინგოვერს“?
2. რომელი გენი სცილდება ყველაზე ხშირად **A** გენს?
3. რომელი გენი სცილდება ყველაზე იშვიათად **A** გენს?
4. შეადარე მიღებული შედეგი შენ მიერ გამოთქმულ ჰიპოთეზას.
5. როგორ არის დამოკიდებული კროსინგოვერის შედეგად გენების დაცილების (ანუ კროსინგოვერის) სიხშირე ამ გენებს შორის მანძილზე?
6. შენ მიერ გამოთვლილი გენის ადგილმდებარეობა ზუსტად ისეთია, როგორიც ფაქტობრივი ადგილმდებარეობა (თაბახის ფურცელზე გაკეთებული ნახაზის მიხედვით)? თუ კი, ახსენი, რატომ წარმართა ექსპერიმენტი ისე, როგორც თეორიულად იყო მოსალოდნელი. თუ არა, ჩამოთვალე შეცდომების შესაძლო მიზეზები.
7. როგორ შეიძლება გენებს შორის კროსინგოვერის სიხშირის გამოყენება ქრომოსომული რუკების შესადგენად?



გენთა შეჭიდულ მემკვიდრეობაზე გენეტიკური ამოცანების ამოხსნის მაგალითები

ამოცანა 1

მამაკაცმა დედისაგან მიიღო ქრომოსომა **A** და **B** გენებით, მამისაგან – **a** და **b** გენებით, თანაც ეს გენები შეჭიდულად მემკვიდრეობენ. მისი მეუღლე რეცესიული ჰომოზიგოტაა. როგორი ალბათობაა იმისა, რომ მათი ბავშვი იქნება რეცესიული ორივე გენის მიხედვით, თუ გენებს შორის მანძილი 8 მორგანიდია?

ამოხსნა

მამაკაცის გენოტიპია **AB//ab**, მისი ცოლის **ab//ab**. **AB//ab** გენოტიპის მამაკაცი წარმოქმნის ოთხი ტიპის გამეტას: არაკროსოვერულს **AB** და **ab**, კროსოვერულს **Ab** და **aB**.

კროსოვერული გამეტების – **Ab** და **aB** – რიცხვი შეესაბამება გენებს შორის მანძილს. ე. ი. 8%-ს. არაკროსოვერული გამეტების – **AB** და **ab** – რიცხვი 92%-ს. აქედან გამომდინარე, ყოველი ტიპი გამეტების რიცხვი იქნება: **AB** – 46%, **ab** – 46%, **Ab** – 4%, **aB** – 4%. ბავშვი რეცესიული ორივე გენის მიხედვით იქნება **ab** და **ab** გამეტების შერწყმის დროს, რის ალბათობაც შეადგენს 46%-ს.

ამოცანა 2

B და **C** გენები შეჭიდულია და მათ შორის კროსინგოვერის სიხშირე არის 24%. **E** გენი იმყოფება შეჭიდულობის სხვა ჯგუფში. **BC//bc E//e** გენოტიპის მქონე ინდივიდი როგორი ტიპის გამეტებს და როგორი პროცენტული თანაფარდობით წარმოქმნის?

ამოხსნა:

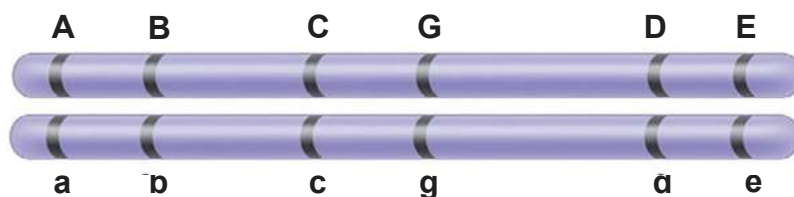
თავიდან განვსაზღვროთ კროსოვერული და არაკროსოვერული გამეტების რიცხვი: 76% არაკროსოვერულია – **BC** და **bc**; 24% კროსოვერულია **Bc** და **bC**. ცალ-ცალკე: **BC** – 38%, **bc** – 38%, **Bc** – 12%, **bC** – 12%. გამეტების წარმოქმნისას ალელების თითოეული ეს კომბინაცია თანაბარი ალბათობით უკავშირდება ქრომოსომას **E** ალელით, ანდა **e** ალელით. ამის შედეგად წარმოიქმნება გამეტების რვა ტიპი: 19% (თითოეული 19%) – **BCE**, **BCe**, **bCE**, **bce**, 6% – **BcE**, **Bce**, **bCE**, **bCe** (თითოეული 6%).



4. შეადგინე **DdKk** გენოტიპის ორგანიზმებისათვის ქრომოსომაში გენთა ლოკალიზაციის სქემები, თუ გენები მემკვიდრეობს – 1) ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად; 2) შეჭიდულად.
5. ახსენი, კროსინგოვერი როგორ ზრდის გენეტიკურ მრავალფეროვნებას.
6. ნიშან-თვისების მემკვიდრეობაზე დაკვირვების წარმოების საფუძველზე როგორ შეიძლება ქრომოსომული/გენთა შეჭიდულობის რუკების შედგენა?
7. გენთა შეჭიდულობის რუკები როგორაა დაკავშირებული კროსინგოვერთან?
8. ქრომოსომების დიპლოიდური ნაკრები ადამიანის უჯრედებში 46-ია, მტრედში — 80, კატაში — 38, ბაყაყში — 26, ძაღლში — 78, ასკარიდაში — 4, შიმპანზეში — 48, ძროხაში — 60, განსაზღვრე შეჭიდულ გენთა ჯგუფების რიცხვი ყველა ჩამოთვლილ ორგანიზმში.



9. ოთხი დიჰეტეროზიგოტური ინდივიდი წარმოქმნის ასეთი ტიპის გამეტებს:
 1) AB - 40%, Ab - 10%, aB - 10%, ab - 40%; 2) AB - 50%, ab - 50%;
 3) AB - 25%, Ab - 25%, aB - 25%, ab - 25%; 4) AB - 30%, aB - 20%, Ab - 20%, ab - 30%.
 როგორი ტიპის მემკვიდრეობაა თითოეულ ზემოთ აღნიშნულ შემთხვევაში.
10. B და C გენები ლოკალიზებულია ჰომოლოგიური ქრომოსომების ერთ წყვილში. დანერე შესაძლო გენოტიპები: 1) ჰომოზიგოტა დომინანტური ნიშნის მიხედვით; 2) ჰომოზიგოტა რეცესიული ნიშნის მიხედვით; 3) ჰეტეროზიგოტა ორივე ნიშნის მიხედვით.
11. A და B გენები ლოკალიზებულია ჰომოლოგიური ქრომოსომების ერთ წყვილში და სრულად შეჭიდულნი არიან, ე. ი. მათ შორის კროსინგოვერი არ ხდება. როგორი ტიპის და როგორი პროცენტული თანაფარდობით წარმოქმნის გამეტებს ორივე ნიშნის მიხედვით ჰეტეროზიგოტი ინდივიდი?
12. როგორი ტიპის კროსოვერულ და არაკროსოვერულ გამეტებს წარმოქმნიან ორგანიზმები, რომელთაც აქვთ ასეთი გენოტიპები: 1) CB/cb; 2) cb/cB?
13. განსაზღვრე მანძილი C და E გენებს შორის, თუ ამ გენების მიხედვით ჰეტეროზიგოტურ ინდივიდს შეაჯვარებენ რეცესიულ ჰომოზიგოტასთან და მიიღებენ 12% კროსოვერულ ინდივიდს?
14. როგორი ტიპის გამეტებს და როგორი პროცენტული თანაფარდობით წარმოქმნის A/a BC/bc გენოტიპის ინდივიდი, თუ შეჭედულ გენებს შორის კროსინგოვერის სიხშირე 20%-ია?
15. დააკვირდი ჰომოლოგიური ქრომოსომების სქემას:



სურათზე გამოსახულია ჰომოლოგიური ქრომოსომების წყვილი, რომლებშიც ლოკალიზებულია 6 წყვილი ალელური გენი.

- 1) რომელ ალელურ გენებს აქვს ერთად მოხვედრის მეტი ალბათობა ქრომოსომების კონიუგაციისას? 2) ქრომოსომების ყველა მონაკვეთში ხდება კროსინგოვერი? 3) სად და რომელ მონაკვეთშია კროსინგოვერის ალბათობა ყველაზე მაღალი? რატომ?

16. აწარმოეს შემდეგი ტიპის შეჯვარება: ♀ $\frac{AB}{ab} \frac{D}{d}$ X ♂ $\frac{ab}{ab} \frac{d}{d}$

განსაზღვრე, როგორი ტიპის კროსოვერული და არაკროსოვერული გენოტიპების მქონე შთამომავლობა მიიღება ამ შეჯვარების შედეგად.

17. ძაღლებში ბალნისა და ნორმალური კბილების განვითარებაზე პასუხისმგებელი გენები დომინირებს უბალნო და ანომალური კბილების გენებზე. თუ ჰომოზიგოტ ინდივიდებს (ორივე ნიშნის მიხედვით) შევაჯვარებთ ერთმანეთთან, პირველი თაობის ყველა ინდივიდი იქნება ბალნიანი ნორმალური კბილებით. პირველი თაობის ყველა ინდივიდზე ჩაატარეს გამანალიზებელი შეჯვარება და მიიღეს შემდეგი შედეგი: ბალნიანი, ნორმალური კბილებით — 390 ინდივიდი; ბალნიანი, ანომალური კბილებით — 10; უბალნო, ანომალური კბილებით — 380; უბალნო, ნორმალური კბილებით — 12.

გამოიანგარიშე მანძილი ბალნის განვითარებასა და კბილების განვითარების გენებს შორის. გამოიყენე ფორმულა:

$$\text{კროსინგოვერის სიხშირე/მანძილი გენებს შორის} = \frac{\text{კროსოვერული ინდივიდების რაოდენობა} \times 100}{\text{ინდივიდების საერთო რაოდენობა}}$$



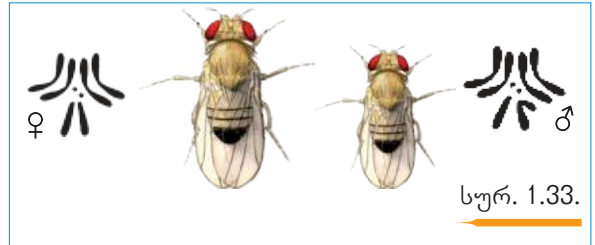
- მენდელის გენების დამოუკიდებლად განაწილების კანონი მოქმედებს იმ შემთხვევაში, როდესაც სხვადასხვა გენი ლოკალიზებულია არაჰომოლოგიურ ქრომოსომებში ($AaBb - A//a B//b$);
- მორგანის გენების შეჭიდულობის კანონი მოქმედებს მაშინ, როდესაც სხვადასხვა ალელური გენი ჰომოლოგიური წყვილის ერთ ქრომოსომაშია ლოკალიზებული ($AaBb - AB//ab$);
- კროსინგოვერი არის ბიომრავალფეროვნების ერთ-ერთი საფუძველი.



როგორ განისაზღვრება სქესი ცალსქესიან ორგანიზმებში?



- **სტრუქტურა და ფუნქციები:** ქრომოსომული ნაკრების სტრუქტურა და ფუნქციები – აუტოსომები და სასქესო ქრომოსომები; ჰომოგამეტური და ჰეტეროგამეტური ორგანიზმები.
- **სასიცოცხლო თვისებები:** გამრავლება – მეიოზი, განაყოფიერება.



სურათ 1.33-ის მიხედვით შეადარე მდედრი და მამრი დროზოფილას ქრომოსომული ნაკრები და უპასუხე კითხვებს:

- რამდენი წყვილი ქრომოსომა აქვთ ერთნაირი? განსხვავებული?
- რაში გამოიხატება განსხვავება?

ორგანიზმის გენოტიპი შეიცავს ისეთ გენებსაც, რომლებიც განსაზღვრავს სქესს და ამ სქესისათვის დამახასიათებელ ნიშან-თვისებებს. სქესი არის ორგანიზმის ნიშან-თვისებათა ერთობლიობა, რომელიც უზრუნველყოფს შთამომავლობის წარმოქმნისა და მემკვიდრული ინფორმაციის გადაცემის ფუნქციას გამეტების საშუალებით. ბევრ სახეობაში მამრობითი და მდედრობითი ინდივიდების თანაფარდობა თითქმის ყოველთვის თანაბარია, ე. ი. სქესის მიხედვით დათიშვა არის 1 : 1. რატომ ხდება ასე?

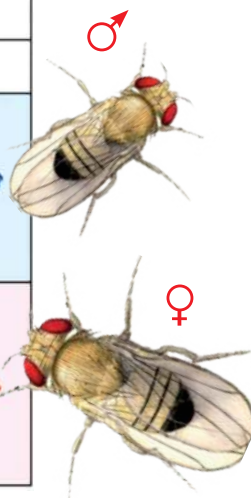
როდესაც შეადარეს ერთი სახეობის მდედ-

რებისა და მამრების ქრომოსომული ნაკრები, მათ შორის მსგავსებაც აღმოაჩინეს და განსხვავებაც. ეს საკითხი შეისწავლეს დროზოფილას მაგალითზე, რომელსაც სომატურ უჯრედებში აქვს 8 ქრომოსომა, ანუ 4 წყვილი (სურ. 1.34). აქედან მდედრსა და მამრს ერთნაირი აქვთ 3 წყვილი ქრომოსომა, ხოლო განსხვავებული – 1 წყვილი. ქრომოსომების წყვილს, რომლებიც მდედრებსა და მამრებს ერთნაირი აქვთ, **აუტოსომები** ეწოდება, ხოლო ქრომოსომულ წყვილს, რომლებიც მათ განსხვავებული აქვთ, **სასქესო ქრომოსომები** ეწოდება.

იმ სასქესო ქრომოსომებს, რომლებიც ორივე სქესისათვის ერთნაირია და ერთ-ერთი სქესის ორგანიზმში იგი წყვილია, უწოდებენ **X-ქრომოსომას**, ხოლო რომლითაც განსხვავდებიან – **Y-ქრომოსომას**. სქესის ფორმირების ქრომოსომული მექანიზმი განვიხილოთ

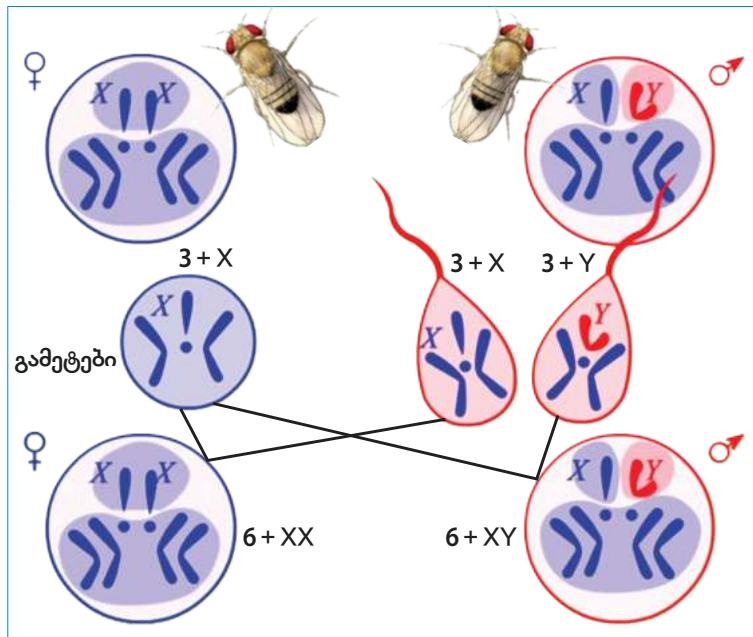
დროზოფილას ქრომოსომული ნაკრები

სასქესო ქრომოსომები	აუტოსომები		
I	II	III	IV
 X Y			
 X X			

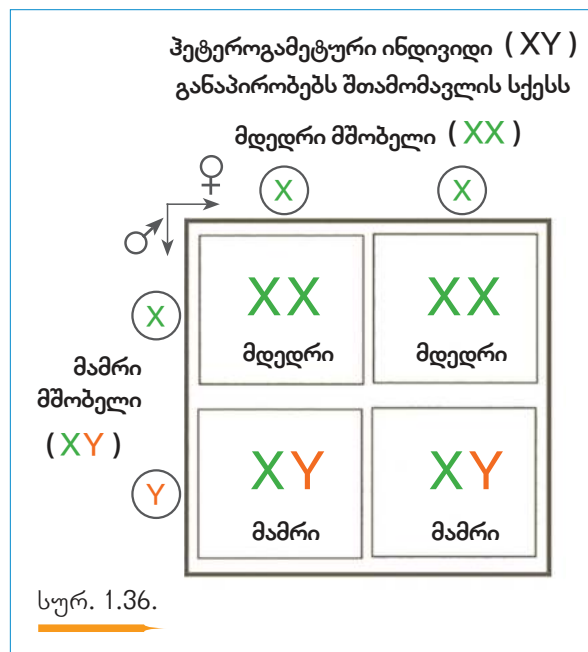


სურ. 1.34.

დროზოფილას მაგალითზე (სურ. 1.35): მეიოზის შედეგად გამეტები იღებენ ქრომოსომების ჰაპლოიდურ ნაკრებს, ჰომოლოგიური ქრომოსომები სცილდებიან ერთმანეთს, შესაბამისად, სცილდებიან სასქესო ქრომოსომებიც. ამიტომ მდედრობითი ინდივიდი წარმოქმნის მხოლოდ X-ქრომოსომიან გამეტებს, ხოლო მამრობითი – X-ქრომოსომიანსა და Y-ქრომოსომიანს. თუ კვერცხუჯრედი განაყოფიერდება X-ქრომოსომის მატარებელი სპერმატოზოიდით, განვითარდება მდედრობითი ორგანიზმი. თუ კვერცხუჯრედი განაყოფიერდება Y-ქრომოსომის მატარებელი სპერმატოზოიდით, განვითარდება მამრობითი ორგანიზმი.



სურ. 1.35.

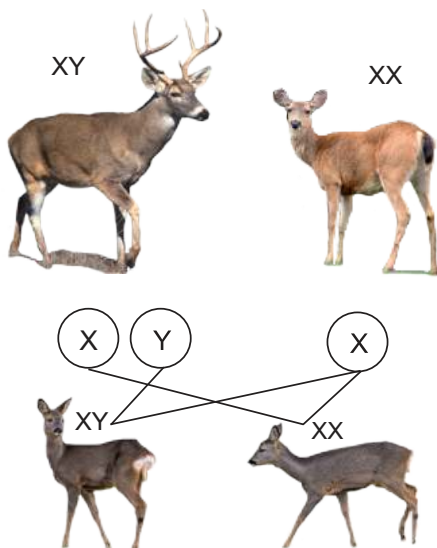


სურ. 1.36.

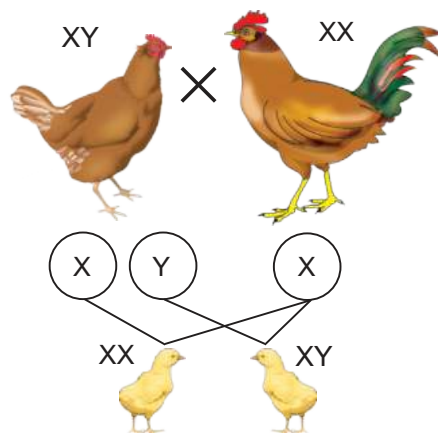
სქესს, რომელიც სასქესო ქრომოსომების მიხედვით ერთნაირ გამეტებს წარმოქმნის, ჰომოგამეტური ეწოდება, ხოლო, რომელიც განსხვავებულ გამეტებს – ჰეტეროგამეტური. სქესი განისაზღვრება განაყოფიერების მომენტში და მისი განმსაზღვრელი არის ჰეტეროგამეტური ორგანიზმი (სურ. 1.36). ეს არის სქესის განსაზღვრის ქრომოსომული მექანიზმი.

უმრავლესობა სახეობის ორგანიზმში მდედრობითი სქესი ჰომოგამეტურია (XX), ხოლო მამრობითი სქესი – ჰეტეროგამეტური (XY), ზოგიერთი სახეობისათვის პირიქითაა დამახასიათებელი (სურ. 1.37.), ზოგიერთს კი სასქესო ქრომოსომებიდან მხოლოდ ერთი X-ქრომოსომა აქვს, რასაც შეგიძლიათ გაეცნოთ ქვემოთ მოცემულ ცხრილში (ცხრ. 1.2).

ცხრ. 1.2 სასქესო ქრომოსომები სხვადასხვა სისტემატიკური ჯგუფის ორგანიზმში		
მდედრობითი სქესი	მამრობითი სქესი	მაგალითი
ჰომოგამეტური XX	ჰეტეროგამეტური XY	ძუძუმწოვრები, უმრავლესობა ამფიბიები, თევზების ნაწილი, მწერები (ზოგიერთში).
ჰომოგამეტური XX	ჰეტეროგამეტური XO	ბალლინჯოები, კალიები.
ჰეტეროგამეტური XY	ჰომოგამეტური XX	ფრინველები, ქვეწარმავლები, თევზების ნაწილი, პეპლები (მაგ., თუთის აბრეშუმხვევია).
ჰეტეროგამეტური XO	ჰომოგამეტური XX	ჩრჩილი



სქესის განსაზღვრის სქემა ძუძუმწოვრებში

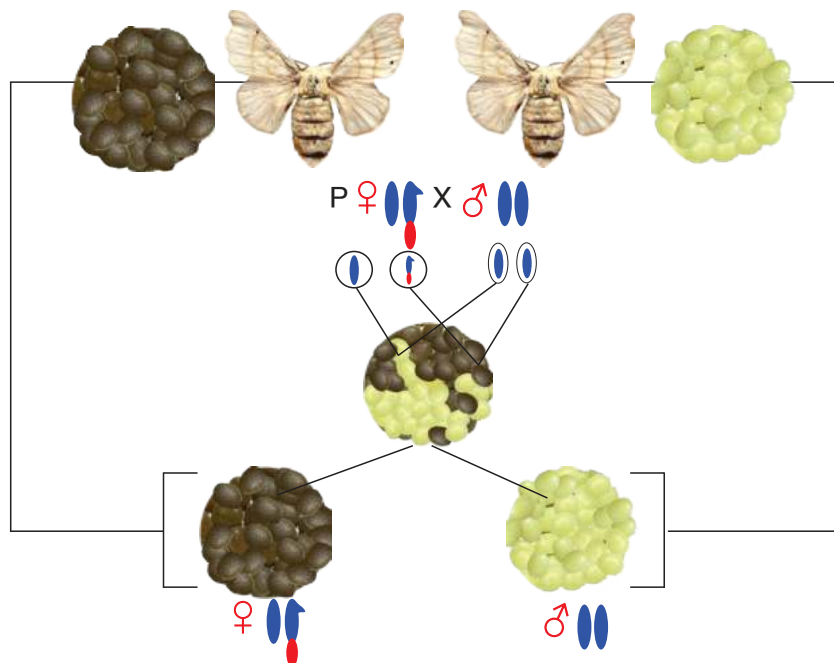


სქესის განსაზღვრის სქემა ფრინველებში

სურ. 1.37.



განვითარებადი ორგანიზმის სქესის დადგენის საკითხს შეიძლება პრაქტიკული მნიშვნელობა ჰქონდეს. ამის დასტურს წარმოადგენს მებარეშუმეობის დარგი. აქ ძალიან დიდი მნიშვნელობა აქვს ჯერ კიდევ კვერცხის სტადიაზე მდედრებისა და მამრების გარჩევას, რადგან ცნობილია, რომ მამრი ჭუპრი 30 %-ით უფრო მეტ აბრეშუმს წარმოქმნის, ვიდრე მდედრი. ამიტომ მომგებიანია მხოლოდ მამრების გამოკვება. ეს საკითხი გადაწყვიტა გენეტიკოსმა ვ.ა. სტრუნნიკოვმა.



როგორც ცნობილია, აბრეშუმხვევიაში ჰეტეროგამეტური სქესი მდედრობითია (XY), ხოლო ჰომოგამეტური – მამრობითი (XX). აბრეშუმხვევიას მე-10 აუტოსომი ლოკალიზებულია გენი, რომლის დომინანტური ალელი (A) კვერცხის მუქ შეფერილობას განაპირობებს, ხოლო რეცესიული (a) – თეთრ შეფერილობას. სტრუნნიკოვმა შექმნა აბრეშუმხვევიას ხაზი, რომელშიც მდედრის Y-ქრომოსომასთან მიბმულია მე-10 აუტოსომის ფრაგმენტი, სადაც არის კვერცხის მუქი შეფერილობის ალელის (A)



ლოკუსი (იგი ასე აღნიშნოთ – Y^A). მუქი კვერცხიდან (გენოტიპი – XY^A) განვითარებული მდედრის შეჯვარებით თეთრი კვერცხიდან (გენოტიპი – XX) განვითარებულ მამრთან წარმოიქმნება თეთრი და შავი კვერცხები. ამის შედეგად ადვილია გარჩევა, თუ რომელი კვერცხებიდან რომელი სქესის მატლები განვითარდება, რადგან შავი კვერცხებიდან მხოლოდ მდედრები ვითარდება, ხოლო თეთრიდან – მამრები. ფოტოელექტრული სწრაფმოქმედი ავტომატით განცალკევდება შავი და თეთრი კვერცხები. ასეთი მაღალეფექტური მეთოდი საშუალებას იძლევა, რომ იზოლირებულ პარტიებად გამოკვებონ მამრი და მდედრი მატლები, ან უფრო მეტად გამოკვებონ მხოლოდ მამრი მატლები.



1. დააკვირდი სურათზე (1.37.) მოცემული სქესის განსაზღვრის სქემებს ფრინველებსა და ძუძუმწოვრებში. 1) გააკეთე სქესის აღმნიშვნელი სიმბოლოები როგორც მშობლებისთვის, ისე შთამომავლებისთვის ორივე სქემაში. 2) აღნიშნე რა განსხვავებაა სქესის მემკვიდრეობაში ფრინველებსა და ძუძუმწოვრებს შორის. 3) განმარტე, რა მნიშვნელობა აქვს სახეობისათვის სქესთა თანაფარდობას — 1:1.
2. შეადგინე სქესის ფორმირების სქემა კალიაში: ♂22+XO x ♀22+XX.
3. შეადგინე სქესის ფორმირების სქემა თუთის აბრეშუმხვევიაში: ♂54+XX x ♀54+XY.
4. სქესის განსაზღვრის ქრომოსომული მექანიზმი ადამიანში ისეთივეა, როგორიც დროზოფილაში. 1) ადამიანისათვის რამდენი წყვილი აუტოსომა იქნება დამახასიათებელი? 2) შეადგინე ადამიანებში სქესის განსაზღვრის სქემა. 3) სქემის საშუალებით ახსენი, რატომ არის ადამიანში თანაბარი ალბათობით მოსალოდნელი გოგოს ან ბიჭის დაბადება.
5. რუბრიკაში – „მეცნიერება პრაქტიკაში“ – მოცემული ინფორმაციის მიხედვით, მდედრი აბრეშუმხვევია დებს ორი ტიპის კვერცხს – მუქ (შავ) და თეთრ კვერცხებს. თანაც მუქი კვერცხებიდან მხოლოდ მდედრები ვითარდებიან, რომლებიც, თავის მხრივ, ამ ნიშან-თვისებას მხოლოდ მდედრ შთამომავლობას გადასცემენ. განსაზღვრე: 1) რატომ გადაეცემა აღნიშნული ნიშან-თვისება მხოლოდ მდედრობითი ხაზით? 2) აბრეშუმხვევიას კვერცხების რამდენ პროცენტს ექნება ღია შეფერილობა? 3) რა ეკონომიკურ სარგებელს იძლევა თუთის აბრეშუმხვევიაში სქესის ადრეული განსაზღვრის გენეტიკური მეთოდები?



- სქესის განსაზღვრის ქრომოსომული მექანიზმის მიხედვით, სქესი განისაზღვრება განაყოფიერების მომენტში და მისი განმსაზღვრელი არის ჰეტეროგამეტური ორგანიზმი;
- ჰეტეროგამეტური ორგანიზმი არის სქესის განმსაზღვრელი, რადგან იგი, სასქესო ქრომოსომების მიხედვით, წარმოქმნის ორი ტიპის გამეტებს, ხოლო ჰომოგამეტური ორგანიზმი – მხოლოდ ერთი ტიპის გამეტებს;
- ორგანიზმთა ზოგიერთ სახეობაში მდედრი ჰეტეროგამეტურია და მამრი ჰომოგამეტური;
- მომავალი ორგანიზმის სქესის ადრეულ ეტაპზე დადგენას შეიძლება პრაქტიკული მნიშვნელობა ჰქონდეს.



როგორ მემკვიდრეობს სასქესო ქრომოსომებში ლოკალიზებული გენები?



- **სტრუქტურა და ფუნქციები:** ქრომოსომის სტრუქტურა და ფუნქცია – სასქესო ქრომოსომები და მათში ლოკალიზებული გენები.
- **სასიცოცხლო თვისებები:** მემკვიდრეობითობა – სქესთან შეჭიდული მემკვიდრეობა.
- **ჯანმრთელობა და დაავადება:** დაავადება – სქესთან შეჭიდული მემკვიდრეული დაავადება.

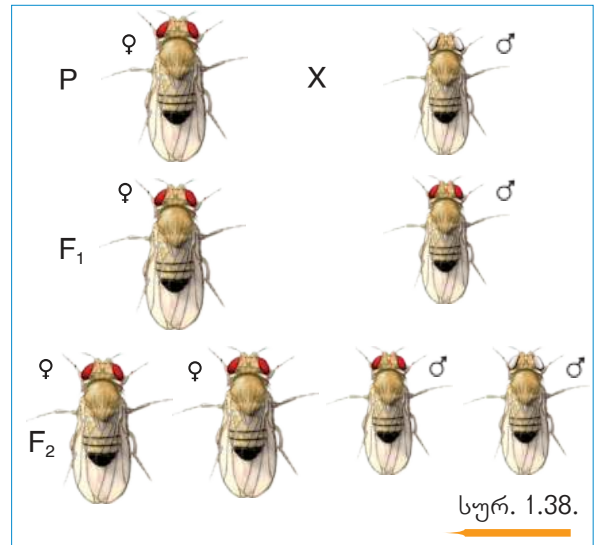


ყურადღებით დააკვირდი სურათ 1.38.-ზე წარმოდგენილ შეჯვარების სქემას და უპასუხე კითხვებს:

- თვალის როგორი შეფერილობაა დომინანტური და როგორი – რეცესიული?
- რატომ არ გაჩნდა პირველ თაობაში თეთრთვალა ჰიბრიდები?
- განსაზღვრე F_2 -ში ფენოტიპური დათიშვის თანაფარდობა როგორც თვალის შეფერილობის, ისე სქესის მიხედვით;
- როგორ ფიქრობ, F_2 -ში თეთრთვალა ჰიბრიდები რატომ არიან მხოლოდ მამრები?

სასქესო ქრომოსომები პასუხისმგებელი არიან არა მარტო სქესის ფორმირებაზე, არამედ სასქესო ქრომოსომებში ლოკალიზებული ისეთი გენებიც, რომლებიც სხვა ნიშან-თვისებებს განსაზღვრავენ. სასქესო ქრომოსომებში ლოკალიზებულ გენებს **სქესთან შეჭიდული გენები** ეწოდება, ხოლო ასეთი ნიშან-თვისებების მემკვიდრეობას — **სქესთან შეჭიდული მემკვიდრეობა**.

იმ შემთხვევაში, როდესაც ამა თუ იმ ნიშან-თვისების ფორმირებაზე პასუხისმგებელი გენი ლოკალიზებულია აუტოსომებში, იგი მემკვიდრეობს იმის დამოუკიდებლად, თუ რომელი სქესის მშობელია საკვლევი გენის მატარებელი. სიტუაცია მკვეთრად იცვლება, როდესაც ნიშან-თვისება განისაზღვრება სასქესო ქრომოსომებში ლოკალიზებული გენებით. სქესთან შეჭიდული მემკვიდრეობის შესწავლაში დიდი წვლილი მიუძღვის თ. მორგანსა და მის თანამშრომლებს. მათ შეამჩნიეს, რომ დროზოფილაში თვალის შეფერილობის



სურ. 1.38.

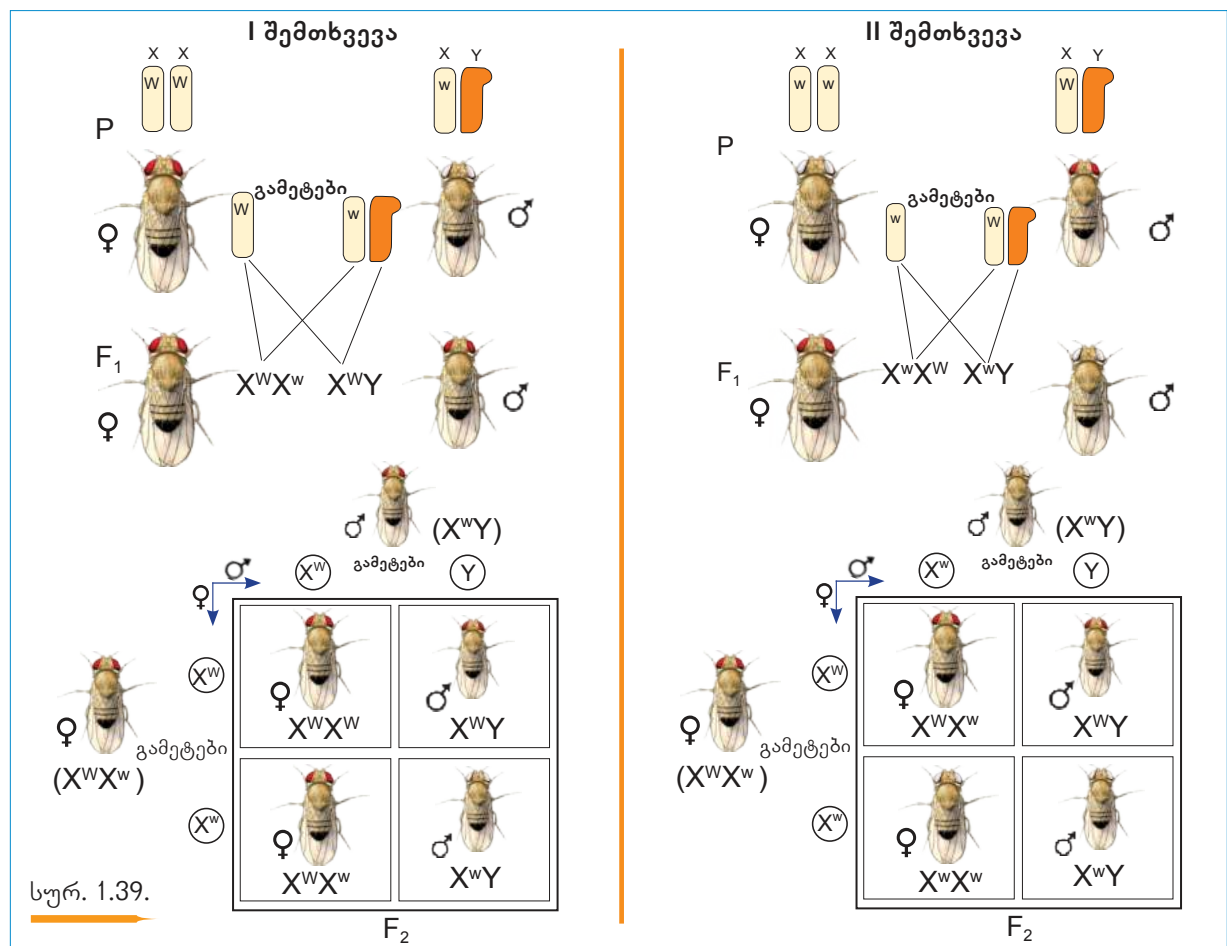
მემკვიდრეობა დამოკიდებული იყო იმაზე, თუ მშობლიური ინდივიდის რომელი სქესი რომელი ალტერნატიული ალელის მატარებელი იყო.

განვიხილოთ სურათზე (სურ. 1.39) მოცემული შეჯვარების პირველი შემთხვევა. შეაჯვარეს ჰომოზიგოტური წითელთვალა მდედრი თეთრთვალა მამრთან. პირველ თაობაში ყველა ჰიბრიდი — როგორც მდედრი, ისე მამრი, წითელთვალაა. მეორე თაობაში ასეთი ფენოტიპური დათიშვა მიიღეს: 3 წითელთვალიანი : 1 თეთრთვალიანი. მენდელისეული მემკვიდრეობისგან იმით განსხვავდება, რომ თეთრთვალიანი მხოლოდ მამრებია: 2 მდედრი წითელთვალა : 1 მამრი წითელთვალა : 1 მამრი თეთრთვალა. გენოტიპური დათიშვა კი ასეთია: $1X^W X^W : 1X^W X^w : 1X^W Y : 1X^w Y$.

მეორე შემთხვევაში, როდესაც თეთრთვალა მდედრები შეაჯვარეს წითელთვალა მამრებს, ყველა მდედრი წითელთვალაა ($X^W X^W$), ყველა მამრი კი — თეთრთვალა ($X^w Y$). მეორე თაობაში თანაბარი რაოდენობით მიიღება წითელთვალა და თეთრთვალა მდედრები, ასევე წითელთვალა და თეთრთვალა მამრები. მენდელისეული მემკვიდრეობისგან განსხვავებული შედეგი გამოწვეულია იმით, რომ დროზოფილაში თვალის წითელი შეფერილობის დომინანტური (W) და თეთრი შეფერილო-

ბის რეცესიული (w) ალელები სქესთან შეჭიდულია – ლოკალიზებულია X-ქრომოსომაში,

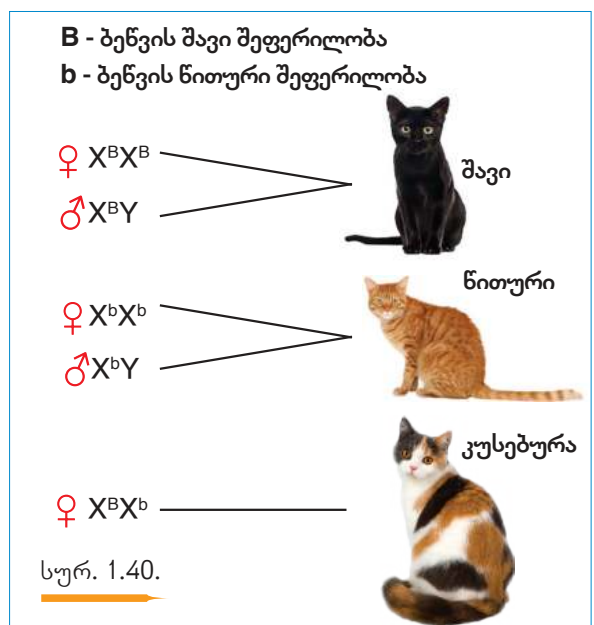
რომლის ჰომოლოგიური უბანი Y-ქრომოსომაში არ არის.



ამრიგად, X-ქრომოსომაში არის უბანი, რომლის ჰომოლოგი Y-ქრომოსომაში არ არის. ამიტომ რეცესიული ალელი, რომელიც

ლოკალიზებულია X-ქრომოსომის ამ უბანში, უფრო ხშირად ფენოტიპურად გამოვლენდება მამრობით ინდივიდებში. მდებარეობს კი მხოლოდ მამინ გამოვლინდება, თუ ორივე X-ქრომოსომა შეიცავს რეცესიულ ალელს, რაც საკმაოდ იშვიათია.

განვიხილოთ კატებში კუსებური შეფერილობის (სხეულზე შავი და წითური ბენჯის მონაცვლეობა) მემკვიდრეობა. მამრი კატები არიან შავი ან წითური შეფერილობის, ხოლო კუსებური შეფერილობის მამრი არ არსებობს. ასეთი შეფერილობა აქვთ მხოლოდ მდედრებს. საქმე ისაა, რომ ბენჯის შეფერილობის გენი ლოკალიზებულია X-ქრომოსომაში. შავი შეფერილობა დომინანტურია (X^B), ხოლო წითური შეფერილობა — რეცესიული (X^b). Y-ქრომოსომაში ეს გენი არ არის. რამდენადაც მამრ კატას აქვს მხოლოდ ერთი X-ქრომოსომა, არ შეიძლება ჰქონდეს კუსებური შეფერილობა, რადგან ასეთი შეფერილობის



განვითარებისათვის აუცილებელია გენოტიპში B და b ალელების ერთად არსებობა (სურ. 1.40).

ადამიანებში სქესთან შეჭიდული მემკვიდრეობის ნათელ მაგალითს წარმოადგენს ჰემოფილიის მემკვიდრეობა (სისხლის შედედების უუნარობა). ჰემოფილია არის მძიმე მემკვიდრული დაავადება, რომელიც გამოწვეულია იმით, რომ სისხლში არ არის ზოგიერთი ცილა – სისხლის შედედების ფაქტორები. სისხლის შედედების განმსაზღვრელი გენი ლოკალიზებულია X-ქრომოსომაში. რეცესიული ალელი h განაპირობებს ჰემოფილიას, ხოლო დომინანტური ალელი – H, სისხლის ნორმალურ შედედებას. ხშირად ქალები არიან ჰემოფილიის ალელის მატარებელნი, რომლებშიც დაავადება ფენოტიპურად არ ვლინდება, თუ მეორე X-ქრომოსომაში ლოკალიზებულია H-ალელი.

ევროპის სამეფო ოჯახებში გავრცელებული იყო ჰემოფილია, რომელიც მემკვიდრეობით მიიღეს ინგლისის დედოფალ ვიქტორიასგან (1819-1901 წწ.), ამიტომ ითვლებოდა იგი სამეფო დაავადებად. ამ დაავადებამ რუსეთის სამეფო კარსაც უნია (სურ.1.41). ჰემოფილიის მქონე იყო ნიკოლოზ მეორის ვაჟი — ალექსი.



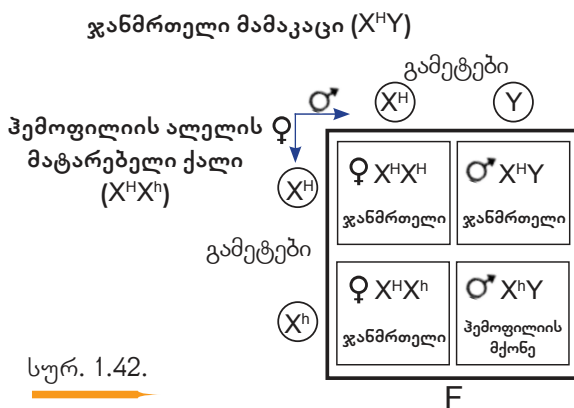
სურ. 1.41.

რომანოვების ოჯახი

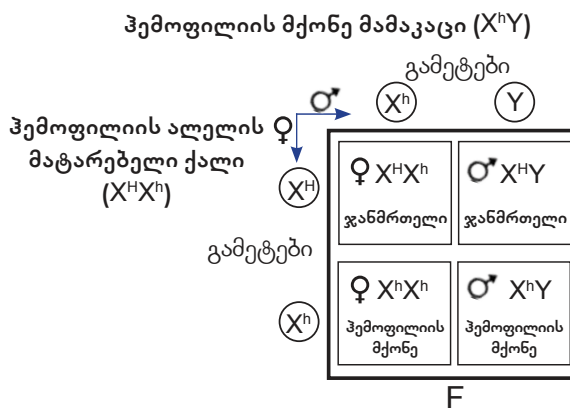
ჰემოფილიის მემკვიდრეობის სქემები (სურ. 1.42) გვიჩვენებს, რომ ვაჟი ჰემოფილიის ალელს მხოლოდ დედისგან იღებს, რადგან ეს ალელი X-ქრომოსომაშია ლოკალიზებული და იგი დედისგან იღებს ყოველთვის X-ქრომოსომას. გოგომ კი ეს ალელი შეიძლება მიიღოს როგორც დედისგან, ისე მამისგან, რადგან იგი ყოველთვის ერთ X-ქრომოსომას დედისგან იღებს და მეორეს — მამისგან. ქალებში ჰემოფილია ფენოტიპურად მხოლოდ ჰომოზიგოტურ მდგომარეობაში გამოვლინდება.

ჰემოფილიის მემკვიდრეობის სქემები

I შემთხვევა



II შემთხვევა



მონაცემების ანალიზი

მოიძიე გენეალოგიური სქემა, რომელიც ასახავს ჰემოფილიის მემკვიდრეობის გზებს ინგლისის დედოფალ ვიქტორიას შთამომავლობაში. ამ სქემის მიხედვით განსაზღვრე:

- 1) როგორია ვიქტორიას შთამომავალთა რიცხვი;
- 2) რამდენია ჰემოფილიის მქონე და რამდენი ჰემოფილიის გენის მატარებელი?
- 3) ვისგან გადაეცა რუსეთის მეფის შვილს ალექსის ჰემოფილიის გენი?



სქესთან შეჭიდული გენების მემკვიდრეობის შესახებ გენეტიკური ამოცანების ამოხსნის მაგალითი

ამოცანა

ჰემოფილიის მქონე მამაკაცის შვილი ქორწინდება, ასევე, ჰემოფილიის მქონე მამაკაცის ვაჟზე. საცოლესა და საქმროში ჰემოფილია ფენოტიპურად არ არის გამოვლენილი. განსაზღვრე ჰემოფილიის მქონე ბავშვის დაბადების ალბათობა ამ ოჯახში.

ამოხსნა:

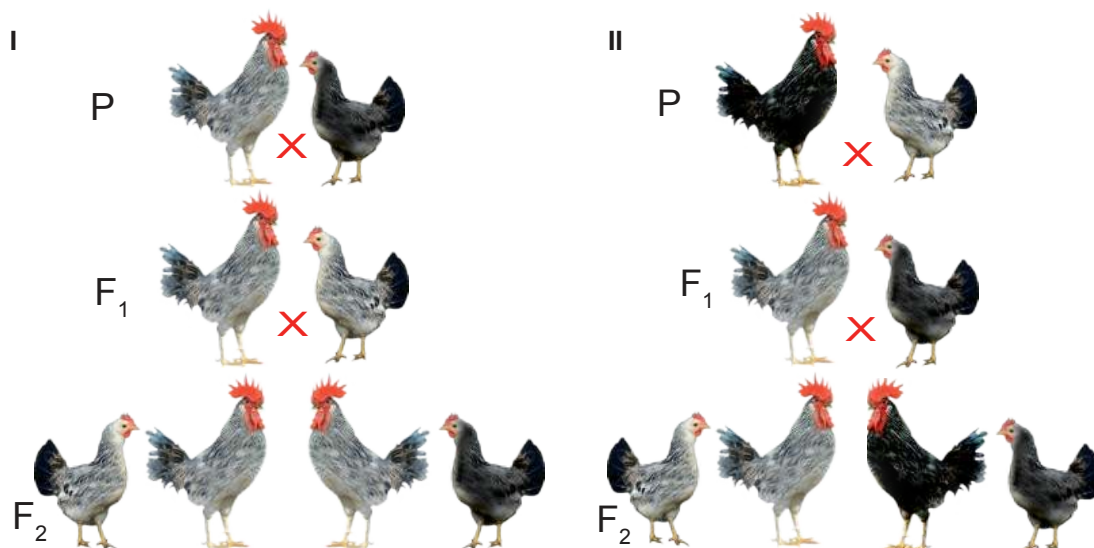
ჰემოფილიის მქონე მამისგან საპარტაძლომ მიიღო X-ქრომოსომა ჰემოფილიის რეცესიული h ალელით, ხოლო, რამდენადაც მასში არ არის გამოვლენილი ჰემოფილია, ამიტომ მისი მეორე X-ქრომოსომა შეიცავს დომინანტურ H ალელს. ამრიგად, საპარტაძლოს გენოტიპია — $X^H X^h$. სასიძომ მამისაგან მიიღო Y-ქრომოსომა, დედისაგან X-ქრომოსომა H ალელით. ამრიგად, მისი გენოტიპია $X^H Y$.

$$\begin{array}{c}
 P \quad \text{♀ } X^H X^h \quad \times \quad \text{♂ } X^H Y \\
 \text{გამეტები} \quad X^H \quad X^h \quad \quad X^H \quad Y \\
 \\
 F \quad \text{♀ } X^H X^H \quad \quad \text{♀ } X^H X^h \quad \quad \text{♂ } X^H Y \quad \quad \text{♂ } X^h Y \\
 \text{ჯანმრთელი} \quad \quad \text{ჯანმრთელი} \quad \quad \text{ჯანმრთელი} \quad \quad \text{ჰემოფილიის მქონე}
 \end{array}$$

ჰემოფილიის მქონე ბავშვის დაბადების ალბათობაა $1/4$.



- დედასა და მამას აქვთ სისხლის შედედების უნარი, ხოლო ბავშვი ჰემოფილიის მქონეა. როგორია ბავშვის სქესი?
- ჯანმრთელი ქალი, რომლის მამაც ჰემოფილიის მქონე იყო, დაქორწინდა ჯანმრთელ მამაკაცზე. როგორია ჰემოფილიის მქონე ბავშვის დაბადების ალბათობა?
- დააკვირდი სურათზე წარმოდგენილ ორ შეჯვარების სქემას (შენიშვნა: ქათმებში რუხი შეფერილობის ალელი დომინანტურია, ხოლო შავი შეფერილობის – რეცესიული).
 - შეადარე ერთმანეთს I და II შეჯვარების შედეგები.
 - დაადგინე, მოცემულ შემთხვევაში რომელი გენეტიკური კანონზომიერება ვლინდება.
 - განსაზღვრე P-ს, F_1 -ის გენოტიპები.
 - მიუთითე ორივე შეჯვარებისათვის ცალ-ცალკე ფენოტიპური დათიშვის თანაფარდობა F_1 და F_2 თაობებში როგორც ბუმბულის შეფერილობის, ისე სქესის მიხედვით.



4. რატომ მუღავნდება ფენოტიპურად ჰემოფილია უფრო ხშირად მამაკაცებში, ვიდრე ქალებში?
5. რომელი სქესის წარმომადგენელი შეიძლება იყოს ჰემოფილიის ალელის მატარებელი? რატომ?
6. თუ დედა ჰემოფილიის ალელის მატარებელია – 1) როგორი ალბათობითაა მოსალოდნელი, რომ მას შეეძინოს ჰემოფილიის მქონე შვილი? 2) როგორი ალბათობითაა მოსალოდნელი, რომ მას შეეძინოს ჰემოფილიის მქონე ბიჭი?
7. ყურის ნიჟარების გადაჭარბებული თმინობა (ჰიპერტრიქოზი) განისაზღვრება Y-ქრომოსომაში ლოკალიზებული გენით. თუ მამას აქვს ეს ნიშანი, როგორია ასეთი ნიშნით – 1) ბავშვის დაბადების ალბათობა? 2) ბიჭის დაბადების ალბათობა?



ამოსანების შედგენა

დავლების პირობა:

მემკვიდრეობის გენეტიკური კანონზომიერებების აღქმა ადვილდება შესაბამისი ამოცანების განხილვითა და ამოხსნით. შეადგინე თითო ამოცანა საკითხებზე: 1) დათიშვის კანონი; 2) ალელურ გენთა ურთიერთქმედება; 3) გენების დამოუკიდებლად განაწილების კანონი; 4) გენთა შეჭიდულობა; 5) სქესთან შეჭიდულობა. ამოხსენი შენ მიერ შედგენილი ამოცანები გენეტიკური სიმბოლოების გამოყენებითა და მსჯელობით ისე, რომ სხვებისთვისაც გასაგები იყოს. **ამოცანები, თავისი ამონახსნით, დაიტანე პოსტერზე**, რომელიც შეგიძლია წარმოადგინო ფლიპჩარტზე ან ელექტრონული ვერსიის სახით.

პოსტერზე დატანილი გენეტიკური ამოცანების პრეზენტაციისას თვალსაჩინოდ წარმოაჩინე:

- რა არის მემკვიდრეობითობა და ცვალებადობა, როგორც სასიცოცხლო თვისებები?
- რაში მდგომარეობს მენდელის მიერ კვლევებით დადგენილი ნიშან-თვისებების მემკვიდრეობის გენეტიკური კანონზომიერების – დათიშვის კანონის არსი?
- რაში მდგომარეობს მენდელის მიერ კვლევებით დადგენილი ნიშან-თვისებების მემკვიდრეობის გენეტიკური კანონზომიერების – გენების დამოუკიდებლად განაწილების კანონის არსი?
- რაში მდგომარეობს მორგანის მიერ კვლევებით დადგენილი ნიშან-თვისებების მემკვიდრეობის გენეტიკური კანონზომიერებების – გენთა შეჭიდულობის კანონისა და სქესის განსაზღვრის ქრომოსომული მექანიზმის არსი?
- რა კავშირია უჯრედების მეიოზურ გამრავლებასა და მემკვიდრეობის გენეტიკურ კანონზომიერებებს შორის?
- მემკვიდრეობითობა უჯრედის რა სტრუქტურებს უკავშირდება?
- რა მსგავსება-განსხვავებაა ერთი სახეობის სხვადასხვა სქესის ინდივიდის კარიოტიპს შორის?
- როგორ ხსნის კვლევების შედეგად დადგენილი გენეტიკური კანონზომიერებები მემკვიდრეობითობისა და ცვალებადობის როლს ბიომრავალფეროვნების წარმოქმნასა და მის შენარჩუნებაში?



- სასქესო ქრომოსომებში ლოკალიზებული გენების მემკვიდრეობას სქესთან შეჭიდულ მემკვიდრეობას უწოდებენ;
- აუტოსომაში ლოკალიზებული გენის შემდეგ თაობაში მემკვიდრეობა არ არის დაკავშირებული იმასთან, ამ გენის მატარებელი მდედრია თუ მამრი;
- სასქესო ქრომოსომებში ლოკალიზებული გენის მემკვიდრეობა შემდეგ თაობაში დამოკიდებულია იმაზე, ამ გენის მატარებელი მდედრია თუ მამრი;
- მხოლოდ ქალი შეიძლება იყოს X-ქრომოსომასთან შეჭიდული რეცესიული ალელის მატარებელი;
- X-ქრომოსომასთან შეჭიდული რეცესიული ალელი ფენოტიპურად უფრო ხშირად ვლინდება მამაკაცში.

ერთი გენი ყოველთვის მხოლოდ ერთ ნიშანს განსაზღვრავს?

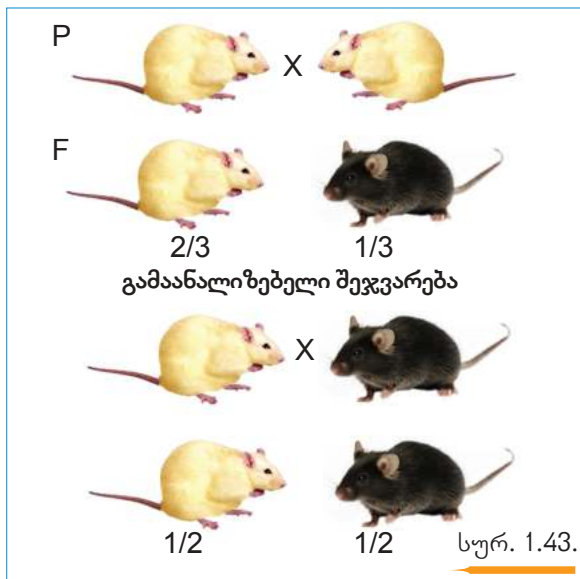


სასიცოცხლო თვისებები:

- მემკვიდრეობითობა – პლეიოტროპიზმი, არაალელურ გენთა ურთიერთქმედება (კომპლემენტარობა, ეპისტაზი, პოლიმერია).
- **ბიომრავალფეროვნება:** არაალელურ გენთა ურთიერთქმედების როლი ბიომრავალფეროვნების წარმოქმნაში.



- თავგებში ბენვის ყვითელი შეფერილობა დომინირებს ბენვის მუქ შეფერილობაზე. შეადგინე ჰეტეროზიგოტური ყვითელი თავგების შეჯვარების გენეტიკური სქემა, განსაზღვრე როგორც ფენოტიპური, ისე გენოტიპური დათიშვა.
- შეადგინე ჰეტეროზიგოტური ყვითელი თავგისთვის გამაანალიზებელი შეჯვარების გენეტიკური სქემა. განსაზღვრე გენოტიპური და ფენოტიპური დათიშვა.
- მენდელის რომელი კანონის მიხედვით იმოქმედე?
- შენ მიერ შედგენილი შეჯვარების გენეტიკური სქემები და ჰიბრიდებში თეორიულად მოსალოდნელი დათიშვა შეადარე სურათ 1.43-ზე წარმოდგენილ შედეგებს; გამოთქვი მოსაზრება სურათზე გამოსახული შედეგების მიზეზის შესახებ.

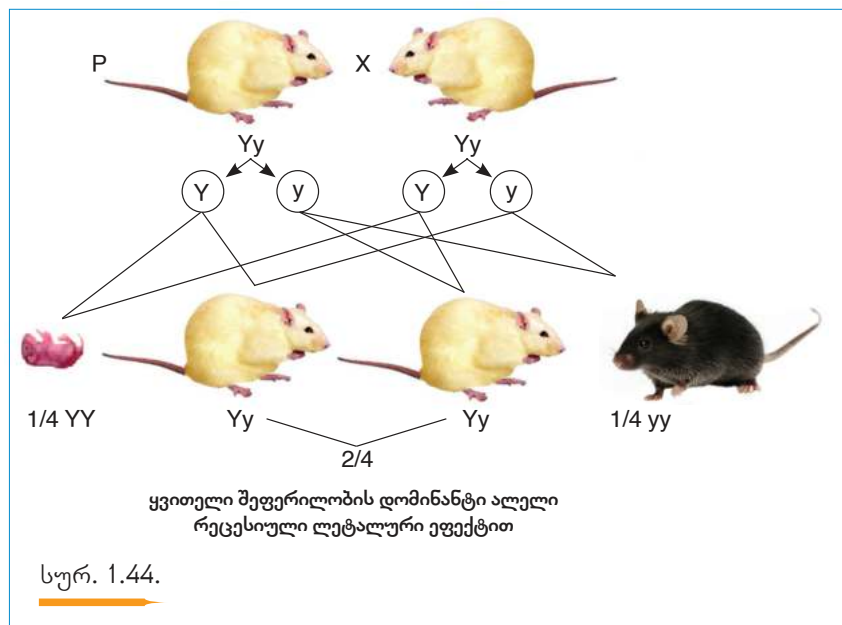


მენდელის კანონების ხელახლა აღმოჩენის შემდეგ მალე ფრანგმა მეცნიერმა კენომ დაადგინა, რომ ყვითელი თავგების ერთმანეთთან შეჯვარებისას შეიმჩნევა შთამომავლობაში ასეთი დათიშვა $2/3$ ყვითელი თავგები: $1/3$ მუქი თავგები. გამაანალიზებელი შეჯვარებისას, ე. ი. ყვითელი და მუქი თავგების შეჯვარებისას ხდებოდა დათიშვა — $1:1$.

ასეთ შედეგს ერთადერთი ახსნა აქვს, რომ

ყვითელი თავგები ჰეტეროზიგოტურები არიან. მენდელის დათიშვისაგან გადახრის მიზეზი კი არის ის, რომ ჰომოზიგოტური ყვითელი თავგები დაბადებამდე ჩანასახში იღუპებიან (სურ. 1.44).

მაკე ყვითელი თავგების (რომელნიც შეჯვარებულნი იყვნენ, ასევე, ყვითელ თავგებთან) გაკვეთისას მათ საშვილოსნოში აღმოჩნდა მკვდარი ყვითელი თავგების ჩანასახები. თუ ყვითელ თავგებს შეაჯვარებდნენ რუხ



თავგებთან, მაშინ მაკე თავგების საშვილოს-
ნოში არ აღმოჩნდებოდა ყვითელი თავგების
მკვდარი ჩანასახები, რადგან ასეთი შეჯვარე-
ბის შედეგად შეუძლებელია ყვითელი ბენვის
გენის მიხედვით ჰომოზიგოტური შთამომავ-
ლობის მიღება.

ზოგჯერ გენის ალელი ერთ ნიშან-თვისე-
ბასთან მიმართებით წარმოადგენს დომინან-
ტურს, ხოლო სხვა ნიშან-თვისებასთან და-
მოკიდებულების მიხედვით – რეცესიულს.
განსაკუთრებული შემთხვევაა, როდესაც
დომინანტურ ალელს აქვს **რეცესიული ლეტა-
ლური მოქმედება**, ე. ი. ჰომოზიგოტურ მდგო-
მარეობაში მოქმედებს, როგორც რეცესიული
ალელი და იწვევს ინდივიდის სიკვდილს. გენს,
რომელიც ორგანიზმის სიკვდილს იწვევს, **ლე-
ტალური გენი** ეწოდება.

თავგებზე ზემოთ განხილულ შემთხვევაში
აღმოჩნდა, რომ თავგში ბენვის ყვითელი შეფე-
რილობის განმსაზღვრელი დომინანტი ალელი
გავლენას ახდენს ორ ნიშანზე: განსაზღვრავს
ბენვის ყვითელ შეფერილობას (დომინან-
ტური ეფექტი) და სიცოცხლისუნარიანობას

(ჰომოზიგოტურ მდგომარეობაში აქვს რეცე-
სიული ლეტალური ეფექტი). ეს გენი ლოკა-
ლიზებულია არასასქესო ქრომოსომაში – აუ-
ტოსომაში. მოვლენას, როდესაც ერთი გენი
განსაზღვრავს რამდენიმე განსხვავებული
ნიშნის განვითარებას, გენის **მრავლობითი
მოქმედება**, ანუ **პლეოტროპიზმი** ეწოდება.

მცენარეებში პლეოტროპიზმის პირველი
მაგალითი თვით მენდელმა აღწერა. მან შეამ-
ჩნია, რომ ბარდაში ყვავილის მენამული შე-
ფერილობის განმსაზღვრელი გენი გავლენას
ახდენს აგრეთვე თესლის კანის რუხ შეფე-
რილობაზეც. შემდეგ გამოირკვა, რომ მცენა-
რე წყალიკრეფიაში დომინანტი გენი იწვევს
ყვავილის წითელ შეფერილობას, ფოთლის
ზედაპირის იისფერ ელფერს, ლეროს დაგრძე-
ლებასა და თესლის მასიურობას. დროზოფი-
ლაში გენი, რომელიც განსაზღვრავს თვალ-
ში პიგმენტის უქონლობას, ამასთან ერთად
აქვეითებს ნაყოფიერებას, გავლენას ახდენს
ზოგიერთი შინაგანი ორგანოს შეფერილო-
ბასა და ფორმაზე, ამცირებს სიცოცხლის
ხანგრძლივობას.

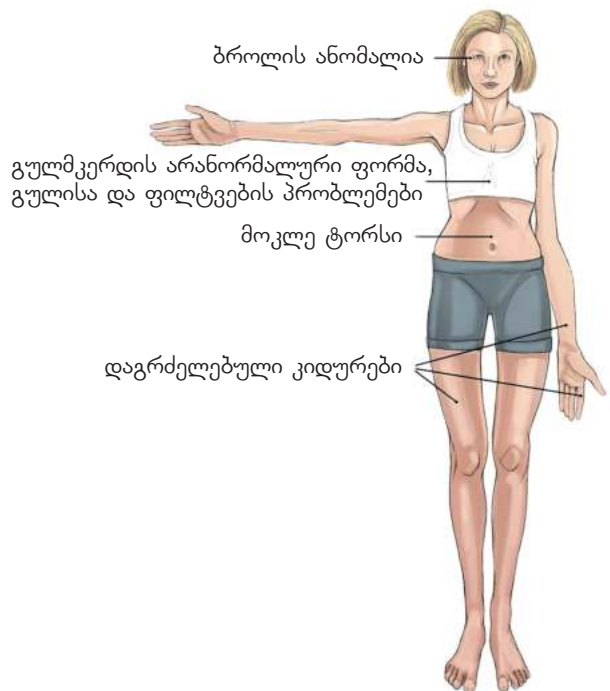


დომინანტური ლეტალური გენები შესასწავლად რთულია და მათ შესახებ ცნობები შეზღუდულია.
პირიქით, ლეტალური რეცესიული გენების მოქ-
მედება უკეთესადაა შესწავლილი.

ადამიანებში გამოვლენილია დომინანტუ-
რი გენი, რომელიც საყრდენ-მამოძრავებელი
სისტემის დამახასიათებელ ცვლილებებთან ერ-
თად (დაგრძელებული ძვლები, ზედმეტად მოძ-
რავი სახსრები), იწვევს თვალის ბროლის ანომა-
ლიებსა და გულის მანკს. ამ დაავადების ნიშნები
პირველად ფრანგმა ექიმმა ა. მარფანმა აღწერა
1896 წელს. ამიტომ მას **მარფანის სინდრომი**
ეწოდება. ვარაუდობენ, რომ მარფანის სინდრო-
მით იყვნენ დაავადებულნი ფარაონი ეხნატონი,
გენიალური მევიოლინე ნიკოლო პაგანინი, ჰანს
ქრისტიან ანდერსენი, აბრაამ ლინკოლნი და სხვა
ცნობილი ადამიანები. ამიტომ მარფანის სინ-
დრომს გენიოსების სინდრომსაც უწოდებენ.

გენი, რომელიც ადამიანსა და სხვა ძუძუმ-
წოვრებში გავლენას ახდენს ხრტილის განვითარე-
ბაზე, ჰომოზიგოტურ მდგომარეობაში განაპი-
რობებს თანდაყოლილ დაზიანებებს, რომელიც
იწვევს ნაყოფის ან ახალშობილის სიკვდილს.
ადამიანში არის გენი, რომელიც განსაზღვრავს
წითურ თმებს, ამავე დროს, განაპირობებს კანის
უფრო ღია შეფერილობასა და ჭორფლიანობას.

მარფანის სინდრომი





ხმელთაშუაზღვისპირა ქვეყნებში, ინდოეთში, აფრიკასა და ჩრდილოეთ აფრო-ამერიკელებში გავრცელებულია დაავადება ნამგლისებური ანემია, რომელიც 1954-1959 წწ-ში დეტალურად გამოიკვლია ალისონმა. ამ დაავადების დროს გენის მუტაციის შედეგად ერითროციტებში ნორმალური (A) ჰემოგლობინის ნაცვლად, მისი სახეშეცვლილი ვარიანტი – S-ჰემოგლობინი სინთეზირდება. S-ჰემოგლობინი ნაკლებად ხსნადია და ერითროციტების შიგნით გამოილექება, რის გამოც სისხლის წითელი უჯრედები დამახასიათებელ ნამგლისებრ ფორმას იღებენ. ეს კი ერითროციტების მიერ ჟანგბადის ტრანსპორტირების უნარის დაქვეითებას იწვევს. ეს მუტაცია რეცესიულია და ლეტალურია ჰომოზიგოტურ მდგომარეობაში. ინდივიდები, რომელთაც ეს ალელები ჰომოზიგოტურ მდგომარეობაში აქვთ, როგორც წესი, იღუპებიან და ვერ აღწევენ სქესობრივ სიმწიფეს. რაც შეეხება ჰეტეროზიგოტებს, ისინი არ იღუპებიან. დადგენილია, რომ დედამიწის ბევრ ადგილას ნამგლისებრი ანემიის ალელების სიხშირე შედარებით სტაბილურია. აფრიკის ზოგიერთ ტომში ჰეტეროზიგოტური გენოტიპის სიხშირე 40%-ს აღწევს. გამოკვლევებით დადგინდა, რომ აფრიკის ბევრ ადგილას გავრცელებულია ადამიანის ჯანმრთელობისა და სიცოცხლისათვის საშიში დაავადება მალარია; ადამიანი, რომელიც ნამგლისებრი ანემიის ალელის მატარებელია, მდგრადია მალარიის მიმართ. ამრიგად, ნამგლისებური ანემიის ალელსაც პლეოტროპული მოქმედება აქვს.

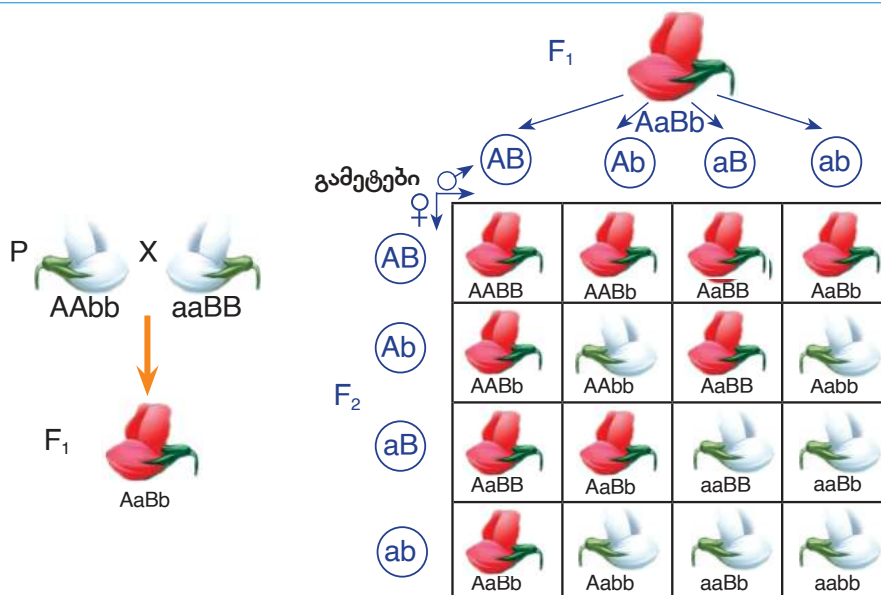
ყვითელი თაგვის ანალოგიური სქემით მემკვიდრეობს პლატინისფერი (Aa) და შავი (aa) შეფერილობა მელიებში, რუხი და შავი შეფერილობა საკარაკულე ჯიშის ცხვრებში. ამიტომ სელექციონერები, ახალი ჯიშების გამოყვანის მიზნით ან სასურველი ნიშან-თვისებების ინდივიდების დიდი რაოდენობით მისაღებად, ითვალისწინებენ გენების მრავლობით მოქმედებას.



ერთ ნიშანს ყოველთვის მხოლოდ ერთი გენი განსაზღვრავს?

შენ გაცნანი ალელური გენების ურთიერთქმედების სხვადასხვა სახეს: სრული დომინირება, არასრული დომინირება, კოდომინირება. თუმცა ორგანიზმის ინდივიდუალური განვითარების პროცესში არაალელური გენებიც ურთიერთქმედებენ. მაგალითად, სურნელოვანი ბარდის ორი სხვადასხვა წმინდა ჯიშის თეთრყვავილიანი მცენარეების

შეჯვარებისას მიიღეს წითელყვავილიანი ჰიბრიდები. როდესაც მიღებული ჰიბრიდები თვითდამტვერვით (ან ერთმანეთთან შეჯვარებით) გაამრავლეს, მეორე თაობაში მიიღეს მონოჰიბრიდული შეჯვარებისათვის დამახასიათებელი დათიშვისაგან სრულიად განსხვავებული შედეგი: 9 წითელყვავილიანი : 7 თეთრყვავილიანი.



ბიოქიმიურმა ანალიზმა აჩვენა, რომ სურნელოვანი ბარდის ყვავილების წითელი შეფერილობა ორ ნივთიერებას შორის ქიმიური რეაქციის შედეგია; თითოეული ამ ნივთიერების სინთეზი კი განისაზღვრება ორი სხვადასხვა გენით. აღმოჩნდა, რომ სურნელოვან ბარდაში ყვავილების წითელი შეფერილობა განისაზღვრება გენოტიპში **A** და **B** ალელების ერთდროული არსებობით. გენოტიპში ერთ-ერთი მათგანის ან ორივეს არარსებობის შემთხვევაში ყვავილები თეთრია. ინდივიდების **AAbb** (თეთრი) $\times$ **aaBB** (თეთრი) შეჯვარებისას F_1 თაობაში ყველა მცენარე წითელყვავილიანია (**AaBb**), ხოლო F_2 -ში ხდება დათიშვა – $9/16$ წითელი : $7/16$ თეთრი (სურ. 1.45).

ყოველი ორგანიზმის გენოტიპი წარმოადგენს გენების რთულ სისტემას. სხვადასხვა გენი ხშირად მოქმედებს არა ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად, არამედ ურთიერთქმედებენ. ასეთი ურთიერთქმედების ძირითადი ტიპებია: კომპლემენტარობა, ეპისტაზი, პოლიმერია.

კომპლემენტარობა – ეს არის ის შემთხვევა, როდესაც ნიშან-თვისების გამოვლენაზე გავლენას ახდენს გენოტიპში სხვადასხვა გენის დომინანტური ალელების ერთდროული არსებობა. ამ შემთხვევაში F_2 -თაობაში შესაძლებელია დათიშვის ოთხი შემთხვევა:

1. ორი სხვადასხვა დომინანტური ალელიდან არცერთს არა აქვს ფენოტიპურად დამოუკიდებლად გამოვლინების უნარი. კომპლემენტარული ურთიერთქმედების ამ სახისათვის მეორე თაობაში დამახასიათებელია დათიშვა – $9/16(A-B-):7/16(A-bb; aaB-; aabb)$ ამის მაგალითია სურნელოვანი ბარდისთვის ზემოთ განხილული შემთხვევა.

2. ერთ-ერთ დომინანტურ ალელს აქვს ფენოტიპურად დამოუკიდებლად გამოვლინების უნარი, მეორეს კი – არა (სურ.1.46). ბოცვრებში **A** ალელი განსაზღვრავს პიგმენტის არსებობას, **a** – პიგმენტის არარსებობას; **B** ალელი პიგმენტის არათანაბარ განაწილებას, **b** – თანაბარ განაწილებას. თუ ბენვის გასწვრივ პიგმენტი თანაბრად განაწილდება, ბენვის შეფერილობა შავი იქნება, თუ არათანაბრად – რუხი. ინდივიდების **AAbb** (შავი) $\times$ **aaBB** (თეთრი) შეჯვარებისას F_1 -ში ყველა ბაჭია რუხია (**AaBb**), ხოლო F_2 -ში ხდება დათიშვა – $9/16$ რუხი (**A-B-**): $4/16$ თეთრი (**aaB-** და **aabb**): $3/16$ შავი (**A-bb**).



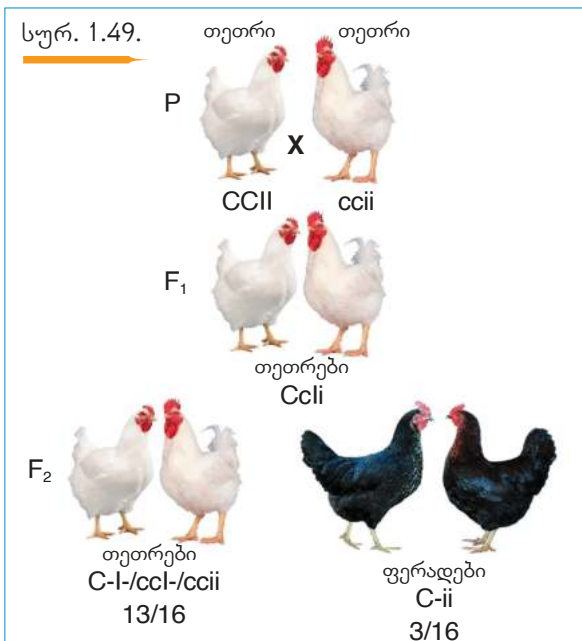
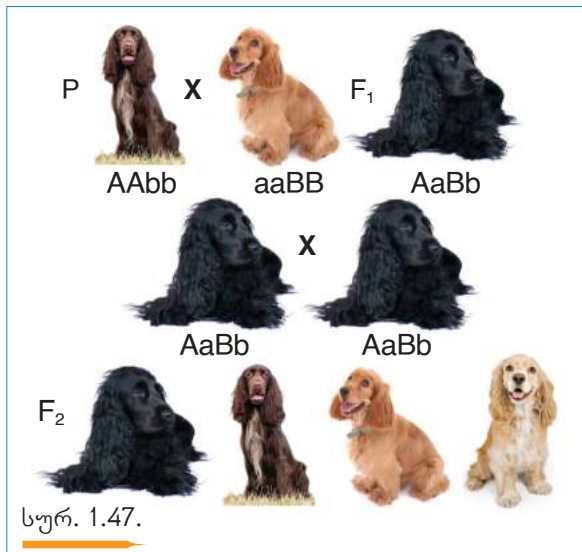
3. ორივე დომინანტურ ალელს შეუძლია დამოუკიდებლად გამოვლენა და თანაც ფენოტიპურად განსხვავებულად. კოკერ-სპანიელის ჯიშის ძაღლებში **A** – ალელი განსაზღვრავს ბენვის წაბლისფერ შეფერილობას, **B** – წითურ შეფერილობას; გენოტიპში **A** და **B** ალელების თანაარსებობისას ბენვი შავია;

ინდივიდს **aabb** – გენოტიპით აქვს ღია ყვითელი შეფერილობის ბენვი. **AAbb** (წაბლისფერი) $\times$ **aaBB** (წითური) ინდივიდების შეჯვარებისას F_1 -ში ყველა ძაღლს შავი შეფერილობა აქვს, ხოლო F_2 -ში ფენოტიპურად მიიღება შავი, წაბლისფერი, წითური და ღია ყვითელი (სურ. 1.47).

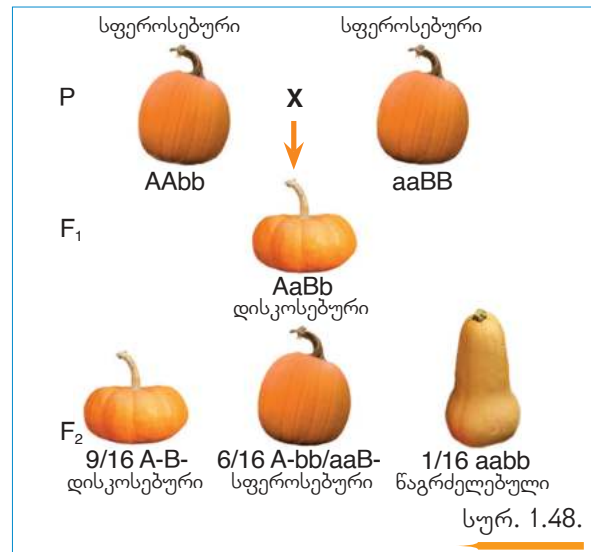


1. სურათ 1.45-ის მიხედვით დაწერე F_2 -ში ფენოტიპური და გენოტიპური დათიშვის თანაფარდობა.
2. სურათ 1.46-ის მიხედვით დაწერე F_2 -ის რუხი ბოცვრების გენოტიპის ყველა შესაძლო ვარიანტი.

4. ორივე დომინანტურ ალელს აქვს დამოუკიდებლად გამოვლინების უნარი და მსგავს ფენოტიპებს წარმოქმნიან. გოგრაში ნაყოფის სფეროსებური ფორმა (სურ. 1.48.) განისაზღვრება სხვადასხვა გენის A და B დომინანტური ალელებით. გენოტიპში A და B ალელების ერთდროული არსებობისას ნაყოფის ფორმა დისკოსებურია,



მცენარეს aabb გენოტიპით აქვს წაგრძელებული ნაყოფი. AAbb (სფეროსებური) და aaBB (სფეროსებური) ინდივიდების შეჯვარებისას F₁-ში ყველა მცენარეს დისკოსებური ნაყოფი აქვს (AaBb), ხოლო F₂-ში ხდება დათიშვა – 9 დისკოსებური (A-B-): 6 სფეროსებური (A-bb; aaB-) : 1 წაგრძელებული (aabb).



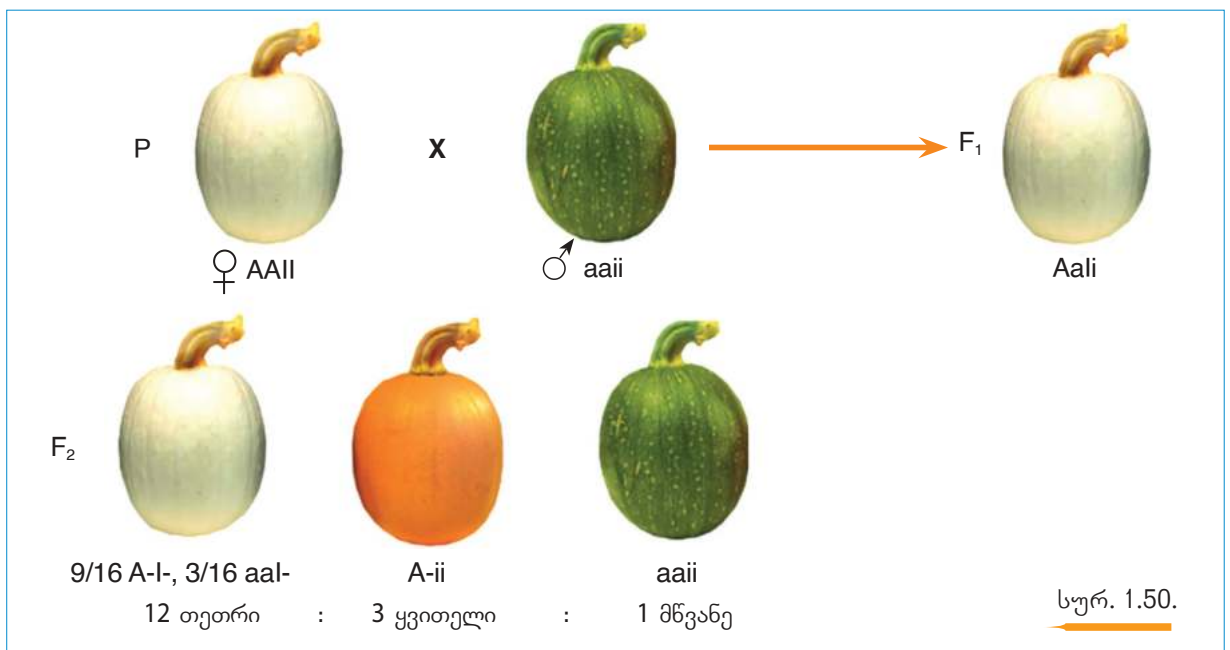
გენთა ისეთ ურთიერთქმედებას, როდესაც ერთი გენი ახშობს მეორე არაალელური გენის მოქმედებას, ეპისტაზი ეწოდება. გენს, რომელიც ახშობს სხვა გენის მოქმედებას, ეპისტაზურს/სუპრესორს უწოდებენ, ხოლო გენს, რომლის მოქმედება იხშობა – ჰიპოსტაზურს. განასხვავებენ დომინანტურ და რეცესიულ ეპისტაზს. დომინანტური ეპისტაზის დროს ერთი დომინანტი გენი თრგუნავს მეორე არაალელური დომინანტი ან რეცესიული გენის მოქმედებას. გენი – სუპრესორები აღინიშნება I ან S-ით. მაგალითად, I > B ან I > b. რეცესიული ეპისტაზის დროს რეცესიული გენი ახშობს არაალელური დომინანტი ან რეცესიული გენის მოქმედებას). მაგალითად, i > B ან i > b.

დომინანტური ეპისტაზის დროს, როდესაც სუპრესორი გენი დამოუკიდებლად ფენო-

- სურათ 1.47.-ის მიხედვით დაწერე: 1) F₂-ის ყველა ჰიბრიდის შესაძლო გენოტიპი, 2) F₂-ში ფენოტიპური და გენოტიპური დათიშვის თანაფარდობა.
- სურათ 1.48-ის მიხედვით შეადგინე შეჯვარების გენეტიკური სქემა და განსაზღვრე ჰიბრიდების გენოტიპები და ფენოტიპები: 1) F₁-ის ჰიბრიდების ერთმანეთთან შეჯვარებისას; 2) F₁-ის დისკოსებური და წაგრძელებული ფორმის გოგრების შეჯვარებისას.

ტიპურად არ გამოვლინდება, მეორე თაობაში მიიღება დათიშვა თანაფარდობით 13:3. მაგალითად, ქათმებში ორი განსხვავებული ჯიშის თეთრი ინდივიდების შეჯვარებით პირველ თაობაში კვლავ თეთრი შეფერილობის შთამომავლობა მიიღეს (სურ.1.49). მეორე თაობაში ქათმები შეფერილობით ორ ფენოტიპურ ჯგუფად დაიყო: 13 წილი აღმოჩნდა თეთრი, ხოლო 3 წილი – შავი. მშობლებიდან ერთ-ერთის გენოტიპია – CCII, სადაც C გენი განსაზღვრავს შავი პიგმენტის – მელანინის სინთეზს, მისი რეცესიული c ალელი პიგმენტის სინთეზს ვერ იწვევს. მეორე დომინანტ სუპრესორ I გენს დამოუკიდებელი ფენოტი-

პური ეფექტი არ გააჩნია. იგი ახშობს C გენის მოქმედებას, რეცესიული i ალელი პიგმენტის სინთეზზე გავლენას არ ახდენს. პირველ თაობაში მიღებული დიჰეტეროზიგოტი – Ccli ფრინველების გენოტიპში I სუპრესორი გენის არსებობის გამო თეთრი შეფერილობისანი არიან. მეორე თაობაში, მენდელის კანონიდან გამომდინარე, უნდა მოხდეს დათიშვა თანაფარდობით – 9C-I- : 3C-ii : 3ccl- : 1ccii. წარმოქმნილი კომბინაციებიდან მხოლოდ 3/16-ს (CCii და Ccii) ექნება შავი შეფერილობა, სადაც დომინანტი C გენი ფუნქციონირებს, ხოლო 13/16-ს (C-I-, ccl- და ccii) ექნება თეთრი შეფერილობა.



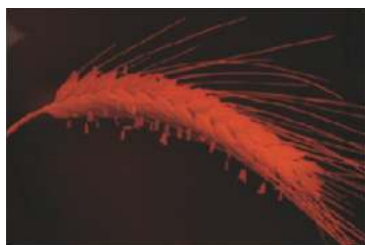
დომინანტური ეპისტაზის დროს ფენოტიპური დათიშვა მეორე თაობაში შეიძლება იყოს 12:3:1. ამ სახის დათიშვა ხდება მაშინ, როდესაც ორივე რეცესიული გენის მქონე ჰომოზიგოტ ინდივიდს სპეციფიკური ფენოტიპი აქვს. მაგალითად, გოგრაში ნაყოფები შეიძლება იყოს ყვითელი ფერის (A) ან მწვანე (a). ორივე ალელი შეიძლება დაითრგუნოს დომინანტური I ალელით ($I > A$, $I > a$), რის შედეგადაც წარმოიქმნება თეთრი ნაყოფები. რეცესიული i ალელი არ თრგუნავს A და a ალელების გამოვლენას (სურ. 1.50).

გენების ურთიერთქმედების კიდევ ერთი ტიპია – **პოლიმერია**. არის შემთხვევები, რო-

დესაც სხვადასხვა გენი ამჟღავნებს ერთნაირ მოქმედებას. მათ აღნიშნავენ ერთნაირი სიმბოლოებით და ინდექსად უწერენ ციფრებს: $A_1 A_2 a_1 a_2$ და ა.შ. არსებობს პოლიმერიის ორი ვარიანტი – არაკუმულაციური და კუმულაციური. **არაკუმულაციური პოლიმერიის** შემთხვევაში ნიშან-თვისების გამოვლენის ხარისხი არ განისაზღვრება გენოტიპში დომინანტური ალელების რიცხვის მიხედვით. ქათამში ფეხების შებუმბულა განისაზღვრება სხვადასხვა გენის დომინანტური ალელებით: A_1 და A_2 . **კუმულაციური პოლიმერიის** დროს ნიშან-თვისების გამოვლენის ხარისხი დამოკიდებულია გენოტიპში დომინანტური ალელე-

ბის რიცხვზე. ასე მემკვიდრეობს, მაგალითად, ხორბლის ერთ-ერთ ჯიშში მარცვლის შეფერილობა (სურ. 1.51.) (F_2 -ში შეიმჩნევა დათიშვა – 15 შეფერილი: 1 თეთრი. მარცვლების შეფე-

რილობა იცვლება მუქი წითელიდან ვარდისფერამდე დომინანტური ალელების რიცხვზე დამოკიდებულებით). ასევე მემკვიდრეობს ადამიანში კანის ფერი (სურ. 1.52.).



$A_1A_1A_2A_2$
მუქი წითელი



$A_1A_1A_2a_2 / A_1a_1A_2A_2$
წითელი



$a_1a_1A_2A_2 / A_1a_1A_2a_2 / A_1A_1a_2a_2$
ღია წითელი



$A_1a_1a_2a_2 / a_1a_1A_2a_2$
ვარდისფერი



a_1a_1 / a_2a_2
თეთრი

სურ. 1.51.



$A_1A_1A_2A_2$

$A_1a_1a_2a_2 / a_1a_1A_2a_2$

$A_1A_1a_2a_2 / A_1a_1A_2a_2 / a_1a_1A_2A_2$

$a_1a_1a_2a_2$

სურ. 1.52.

ამრიგად, ყოველი ორგანიზმის გენოტიპი წარმოადგენს გენების რთულ სისტემას. სხვადასხვა გენი ხშირად მოქმედებს არა ერთმა-

ნეთისგან დამოუკიდებლად, არამედ ურთიერთქმედებენ, რაც გენეტიკურ მრავალფეროვნებას ქმნის.



გენების მრავლობით მოქმედებასა და არაალელური გენების ურთიერთქმედებაზე ორიენტირებული გენეტიკური ამოცანების ამოხსნის მაგალითები

ამოცანა 1.

ქათმებში მოკლე ფეხის განმსაზღვრელი ალელი (A) დომინირებს გრძელი ფეხის განმსაზღვრელ ალელზე (a), მაგრამ იგი ლეტალურია ჰომოზიგოტურ მდგომარეობაში და იწვევს შთამომავლობის დაღუპვას ჩანასახის სტადიაზე. მოკლეფეხება დედლისა და მამლის შეჯვარებით მიღებულია 200 კვერცხი. რამდენი მოკლეფეხება წიწილი გამოიჩეკება?

ამოხსნა:

მოკლეფეხება მშობლიური ინდივიდების გენოტიპი შეიძლება იყოს მხოლოდ Aa.

შეჯვარების სქემა:

P Aa X Aa

F₁ 1AA (იღუპება) : 2Aa (მოკლეფეხება) : 1aa (გრძელფეხება)

მოკლეფეხება ინდივიდების წილია 1/2, ე.ი. 100 წიწილია.

ამოცანა 2.

ქათმებში X-სასქესო ქრომოსომასთან შეჭიდული რეცესიული ალელის ფენოტიპურ გამოვლენას აქვს ლეტალური შედეგი. შთამომავლობის რა ნაწილი დაიღუპება, თუ დედალს შევაჯვარებთ ჰეტეროზიგოტურ მამალთან?

ამოხსნა:

ფრინველებში მდედრობითი სქესი ჰეტეროგამეტურია, ხოლო მამრობითი – ჰომოგამეტური. დედლის გენოტიპია X^AY, მამლის – X^AX^a.

შეჯვარების სქემა:

P ♀ X^AY X ♂ X^AX^a

გამეტები: X^A Y X^A X^a

F₁ ♂ X^AX^A ♂ X^AX^a ♀ X^AY ♀ X^aY

მდედრობითი ინდივიდები X^aY გენოტიპით იღუპებიან, მათი წილი შეადგენს 25%-ს.

ამოცანა 3.

თუთიყუშში A-ალელი განსაზღვრავს ბუმბულის ყვითელ ფერს, B — ცისფერს, A და B გენების ურთიერთქმედებისას ბუმბულის ფერი მწვანეა, ინდივიდები aabb გენოტიპით თეთრებია. ჰეტეროზიგოტური ყვითელი და ცისფერი ინდივიდების შეჯვარებისას მიღებულია 20 თუთიყუში. რამდენია მათ შორის თეთრი?

ამოხსნა:

დავწეროთ შეჯვარების სქემა:

P Aabb x aaBb
ყვითელი ცისფერი

გამეტები Ab, ab aB, ab

F₁ AaBb Aabb aaBb aabb
მწვანე ყვითელი ცისფერი თეთრი

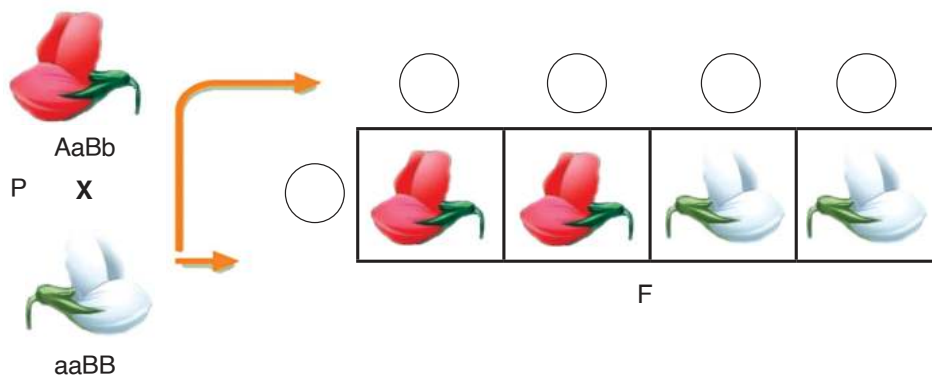
შესაბამისად, თეთრი ინდივიდების წილია — 1/4, ე. ი. 5 თუთიყუში.



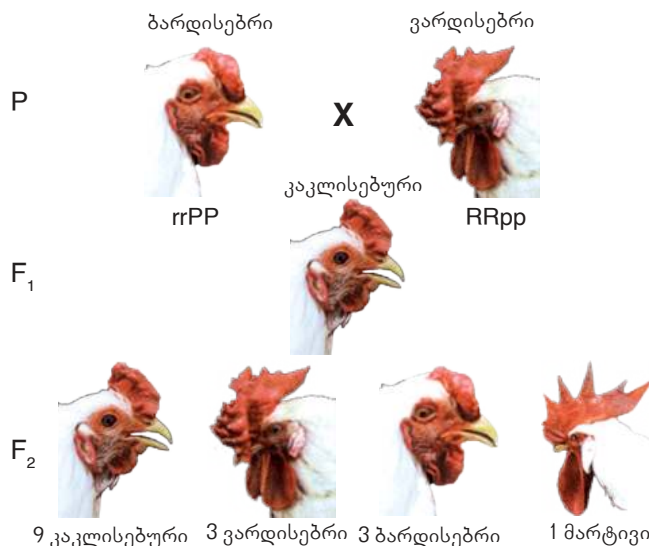
- ქორიანი იხვების ერთმანეთთან შეჯვარებისას ჭუკები იჩეკებიან მხოლოდ კვერცხების 3/4-დან, ხოლო ემბრიონების 1/4 იღუპება. გამოჩეკილი ჭუკების 2/3 ქორიანია და 1/3 – უქორრო. როგორი იქნება შთამომავლობა ქორიანი იხვის უქორროსთან შეჯვარებისას?



6. ფენოტიპის მიხედვით როგორი თანაფარდობით მოხდება დათიშვა შთამომავლობაში, რომელიც მიღებულია ჰეტეროზიგოტური რუხი კარაკულისებრი ცხვრების შეჯვარებით, თუ ჰომოზიგოტები დომინანტური ალელის მიხედვით ლეტალურები, ხოლო რეცესიული ჰომოზიგოტები შავები არიან? ახსენი, რატომ?
7. ბენვის შეფერილობის მიხედვით როგორი მელიების გადარჩევაა შესაფერებლად ეკონომიური, რომ ერთდროულად რაც შეიძლება ბევრი პლატინისფერი და ვერცხლისფერი მელიები მიიღონ იმის გათვალისწინებით, რომ ჰომოზიგოტური პლატინისფერი მელიები იღუპებიან.
8. განიხილე სურათზე მოცემული შეჯვარების სქემა და განსაზღვრე:
1) გამეტების ალელური შემადგენლობა; 2) ჰიბრიდების გენოტიპები; 3) შთამომავლობაში როგორც გენოტიპური, ისე ფენოტიპური დათიშვა.



9. სურათზე მოცემული ქათმების შეჯვარების პირობის მიხედვით განსაზღვრე:
1) მოცემული ილუსტრაცია გენთა ურთიერთქმედების რომელ ტიპს ასახავს;
2) როგორია F_1 და F_2 თაობების ჰიბრიდების შესაძლო გენოტიპები;
3) ბარდისებრბილიანი ინდივიდების ვარდისებრბილიანი ინდივიდებთან შეჯვარებისას F_1 -ის ყველა ჰიბრიდს აქვს კაკლისებური ბიბილო. როგორი შთამომავლობა მიიღება F_1 -თაობის ინდივიდის ჰომოზიგოტურ ვარდისებრბილიანი ინდივიდთან შეჯვარებისას?



10. თუ ძუძუმწოვრების რომელიმე სახეობის წარმომადგენლებში ზოგიერთი მათგანი ატარებს სქესთან შეჭიდულ ლეტალურ გენს, რომელიც განვითარების ადრეულ პერიოდში იწვევს ჩანასახის სიკვდილსა და შეწოვას, მაშინ სქესთა როგორ შეფარდებას უნდა მოველოდეთ ამ გენის მატარებელი ნორმალური მდედრისა და ნორმალური მამრის შეჯვარებისას?
11. წაულაში ბენვის შეფერილობა გვხვდება როგორც ყავისფერი, ისე ვერცხლისფერი. ვერცხლისფერების ყავისფერებთან შეჯვარებისას ყოველთვის ხდება დათიშვა შემდეგი თანაფარდობით:

50% ყავისფერი : 50% ვერცხლისფერი. ყავისფერი წაულების გამრავლებისას შთამომავლობაში ვერცხლისფერი ინივიდები არასოდეს არ ჩნდებიან. როგორი იქნება შთამომავლობა ვერცხლისფერი წაულების ერთმანეთთან შეჯვარებისას?

12. ადამიანში სიყრუის ერთ-ერთი ფორმა განისაზღვრება სხვადასხვა გენის რეცესიული d და e ალელებით. სმენისათვის აუცილებელია ორი დომინანტური D და E ალელების არსებობა, რომელთაგანაც ერთი განსაზღვრავს ლოკოკინის, ხოლო მეორე სმენის ნერვის განვითარებას. ოჯახში მშობლები ყრუები არიან, ხოლო მათ ბავშვებს სმენის პრობლემა არ აქვთ. განსაზღვრე ოჯახის წევრების გენოტიპები.
13. გოგრაში ნაყოფის ფორმა შეიძლება იყოს სფეროსებური (A ან B), დისკოსებური (AB) და წაგრძელებული (ab). დისკოსებურნაყოფიანი და წაგრძელებულნაყოფიანი ჯიშების შეჯვარებით შთამომავლობაში მიიღეს დათიშვა: 49 დისკოსებური : 102 სფეროსებური : 51 წაგრძელებული. განსაზღვრე მშობლებისა და შთამომავლების გენოტიპები.
14. ჰომოზიგოტური მენამული და ყვითელი ყვავილების მქონე მცენარეების შეჯვარებით პირველ თაობაში მიიღეს მწვანე ყვავილების მქონე მცენარეები. ამ თაობის მცენარეების თვითდამტვერვის შედეგად მეორე თაობაში მიიღეს: 890 – მწვანე, 306 – მენამული, 300 – ყვითელი და 107 თეთრი ყვავილის მქონე მცენარეები. ახსენი შეჯვარების შედეგები. როგორია მშობლიური და ჰიბრიდული ფორმების გენოტიპები?
15. ადამიანში კანის ფერი განისაზღვრება რამდენიმე გენის ურთიერთქმედებით კუმულაციური პოლიმერიის ტიპის მიხედვით, ე.ი. კანი მით უფრო მუქია, რაც გენოტიპში უფრო მეტი დომინანტური ალელია. შავკანიანის გენოტიპია $A_1A_1A_2A_2$. 1) შეიძლება თუ არა, რომ მუქკანიან მშობლებს ჰყავდეთ ღია ფერის შვილები, ვიდრე თვითონ არიან? თუ კი, დანერე მშობლების შესაბამისი გენოტიპები. 2) მოცემული გენოტიპების მქონე ადამიანებიდან ვისი კანი იქნება უფრო მუქი? $A_1A_1a_2a_2$; $A_1a_1A_2a_2$; $A_1A_1A_2A_2$. 3) როგორი შთამომავლობაა მოსალოდნელი მულატი მამაკაცისა და ქალის ($A_1a_1A_2a_2$) ქორწინებით?
16. სურათზე მოცემული ღორების შეჯვარების პირობის მიხედვით განსაზღვრე: 1) მოცემული ილუსტრაცია გენთა ურთიერთქმედების რომელ ტიპს ასახავს? 2) როგორია F_1 -ის, F_2 -ის შესაძლო გენოტიპები?

შავი  P $BBii$	თეთრი  თეთრი $bbII$	თეთრი  $bbII$
F_1		
თეთრი  F_2 12/16	შავი  3/16	წითელი  1/16



- ერთი გენი ყოველთვის ერთ ნიშანს არ განსაზღვრავს, არამედ შესაძლებელია, ერთი გენი სხვადასხვა ნიშან-თვისებას აკონტროლებდეს;
- ერთ ნიშან-თვისებას ზოგჯერ რამდენიმე გენი განსაზღვრავს;
- გენოტიპი ორგანიზმისათვის დამახასიათებელი გენების მექანიკური ჯგუფი არ არის, არამედ იგი არის გენების რთული სისტემა, რომელშიც გენები ერთმანეთთან ურთიერთქმედებენ;
- არაალელური გენების ურთიერთქმედების ფორმებია: კომპლემენტარობა, ეპისტაზი და პოლიმერია.



რა გავლენას ახდენს გარემო ორგანიზმის ნიშან-თვისების ფორმირებაზე?



● **სასიცოცხლო თვისებები:** ცვალებადობა – მოდიფიკაციური ცვალებადობა; მოდიფიკაციური ცვალებადობის როლი გარემო პირობებთან ადაპტაციაში.



- რა არის გენოტიპი და რა – ფენოტიპი?
- იდენტური ტყუპი ერთი ზიგოტიდან ვითარდება. 1) როგორ ახსნი მათ ფენოტიპურ მსგავსებას? 2) შესაძლებელია მათ შორის ფენოტიპური განსხვავება იყოს. როგორ ახსნი ამ ფაქტს?



კვლევის მონაცემების ანალიზი

ყარყუმისებრ ბოცვერს სხეულის რომელიმე ადგილას ჰპარსავდნენ ბენვს, ამ ადგილს უქმნიდნენ სხვადასხვა ტემპერატურას და აკვირდებოდნენ, თუ ამოსული ბენვის შეფერილობა როგორ იცვლებოდა გარემოს ტემპერატურაზე დამოკიდებულებით.

ექსპერიმენტის შედეგები:

- მოჰპარსეს თეთრი ბენვი ზურგზე (ან გვერდზე); ცხოველი ამყოფეს 2°C-ზე მაღალ ტემპერატურაზე, ამ ადგილზე კვლავ თეთრი ბენვი ამოვიდა.
- მეორე შემთხვევაში იმავე ადგილზე მოჰპარსეს ბენვი და ცხოველი ამყოფეს 2°C-ზე დაბალ ტემპერატურაზე. მოპარსული თეთრი ბენვის ადგილზე ამოეზარდა შავი ბენვი;
- ბენვი მოჰპარსეს ყურზე, მაშინ ჩვეულებრივ ტემპერატურაზე კვლავ შავი ბენვი ამოვიდა;
- ყურზე მოპარსული ადგილი 30°C-მდე კომპრესორით გაათბეს. ამ შემთხვევაში ამოეზარდა თეთრი ბენვი.



ყარყუმისებრი ბოცვერი



ალბინოსი ბოცვერი

ყურადღებით გაეცანი კვლევის ეტაპებსა და მის შედეგებს; შედეგები გააანალიზე და უპასუხე კითხვებს:

- რა არის ექსპერიმენტის საკვლევი კითხვა?
- რა არის ამ ექსპერიმენტში დამოუკიდებელი ცვლადი და რა დამოკიდებული?
- როგორ იცვლება ექსპერიმენტის სხვადასხვა ეტაპზე ყარყუმისებრი ბოცვერის ბენვის შეფერილობა?
- გარემოს რომელი ფაქტორია ამ ცვლილების გამომწვევი?
- როგორ ფიქრობ, ამ შემთხვევაში ნიშნის ფენოტიპური ცვლილება დაკავშირებულია თუ არა გენოტიპის ცვლილებასთან?
- ყარყუმისებრი ბოცვერები სრულიად თეთრები იბადებიან, შემდეგ კი სხეულის ზოგიერთ ადგილას შავი ბენვი ამოსდით. როგორ გამოიყენებ ამ ფაქტის ასახსნელად ექსპერიმენტის შედეგებს?
- როგორ ფიქრობ, თუ ასეთივე ექსპერიმენტს ალბინოს ბოცვერზე ჩაატარებდნენ, იმავე შედეგებს მიიღებდნენ? რატომ?

ცვალებადობა ცოცხალი სისტემების ზოგადი თვისებაა. იგი თან ახლავს გამრავლებას, რის შედეგადაც ორგანიზმები განსხვავებული ფორმებით — ვარიაციებით არსებობენ. იგი მემკვიდრეობის საპირისპირო მოვლენაა და ორგანიზმთა ნაირგვარობაში ვლინდება. ინდი-

ვიდთა ცვალებადობას მათი ფენოტიპის შეცვლის მიხედვით აფასებენ.

ტერმინი „ნიშანი“ გამოიყენება ფენოტიპური ვარიაციების აღწერისთვის. ორგანიზმის ყველა ნიშანი შეიძლება დავაჯგუფოთ ორად – ხარისხობრივად და რაოდენობრივად. ხა-

რისხობრივს უწოდებენ ნიშნებს, რომლებიც დგინდება აღწერილობითი გზით. ასეთი ნიშნების მემკვიდრეობის აღწერა, როგორც წესი, კარგად შეიძლება მენდელისეული კანონზომიერებებით. დათიშვის დროს ასეთი ნიშნები ფენოტიპურად ადვილად გასარჩევია. მაგალითად, შავი ან წაბლისფერი ძროხა, წითელი ან თეთრი მელა, სურნელოვანი ბარდის თეთრი ან წითელი ყვავილები და სხვ. თუმცა ნიშნის სახესხვაობას (ვარიაციებს) აქვს რაოდენობრივი ხასიათიც. **რაოდენობრივი** ეწოდება ნიშნებს, რომელთა შესწავლა შეიძლება გაზომვის, დათვლის გზით. ქათმებში მეკვერცხულობა, ძროხებში მერძეულობა, ხორბლის თესლის მასა — ეს რაოდენობრივი ნიშნების მაგალითებია.

ფენოტიპი იმაზე მეტს ნიშნავს, ვიდრე გამოვლენილი/ექსპრესიული გენების ჯამი. მაგალითად, ზღვის კუების სქესი დამოკიდებულია როგორც გენებზე, ასევე, გარემო პირობებზე. მდედრი კუ სანაპიროზე აშენებს ბუდეს და კვერცხებს ფლავს ქვიშაში. კვერცხიდან, რომელიც უფრო მაღალ ტემპერატურაზე მნიფდება, მდედრი იჩეკება, ხოლო უფრო დაბალ ტემპერატურაზე მომნიფებული კერცხიდან — მამრი. ჩინური ფურისულას ყვავილების შეფერილობა (სურ. 1.53) დამოკიდებულია გარემოს ტემპერატურასა და ტენიანობაზე. ოთახის პირობებში ვითარდება წითელი ყვავილები. თუ კოკრების ფორმირების მომენტში მცენარეს ჩვეულებრივი ოთახის პირობებიდან გადაიტანენ თბილ და ტენიან სათბურის პირობებში 30-35°C ტემპერატურაზე, მაშინ განვითარდება თეთრი ყვავილები. ოთახის პირობებში დაბრუნებისას თეთრი ყვავილები შეფერილობას არ იცვლიან, მაგრამ კოკრებიდან კვლავ წითელი ყვავილები იშლება. **ამ შემთხვევაში იცვლება ნიშანი და არა ამ ნიშნის განმსაზღვრელი გენი, რადგან ეს ცვლილება შექცევადია.**

მსგავს მაგალითს წარმოადგენს ტემპერატურის გავლენა ყარყუმისებრი ბოცვრის ბენვის შეფერილობაზე. ყარყუმისებრსა და ალბინოს ბოცვერს დაბადებისას აქვთ თეთრი ბენვი. ალბინოსები თეთრები რჩებიან მთელი სიცოცხლის განმავლობაში. ხოლო ყარყუმისებრი ბოცვერს დაბადების შემდეგ ყურები, თათები, კუდი და პირი თანდათან შავი უხდება.



ადამიანშიც ნიშან-თვისებების ფენოტიპური გამოვლენა დამოკიდებულია გენებისა და გარემო პირობების ურთიერთქმედებაზე, მაგალითად, ადამიანის სიმაღლე. გენები განსაზღვრავს რომელიღაც ინდივიდში ტენდენციას, იყოს დაბალი ან მაღალი, მაგრამ ამ გენების ექსპრესიაზე გარემო ფაქტორებიც, მაგალითად, კვების რაციონი, დიდ გავლენას ახდენს. გენებსა და გარემო ფაქტორებს შორის ურთიერთქმედების შესახებ საინტერესო კითხვაა: „ერთი კვერცხუჯრედიდან განვითარებული ტყუპები ფენოტიპურად ყოველთვის იდენტურია?“ ერთკვერცხუჯრედიან/იდენტურ ტყუპებზე ჩატარებულმა კვლევებმა აჩვენეს, რომ მათი განვითარების ადრეულ ეტაპზე გარემო პირობებს შეიძლება ჰქონდეს ნიშან-თვისებების ფენოტიპურ გამოვლენაზე ხანგრძლივი ეფექტი. საშვილოსნოში მდებარეობიდან გამომდინარე, ერთ-ერთმა ტყუპისცალმა შეიძლება უფრო მეტი საკვები ნივთიერებები მიიღოს, ვიდრე მეორემ. ამ ფაქტმა შეიძლება გამოიწვიოს ტყუპს შორის დიდი განსხვავება მასასა და სიმაღლეში მთელი სიცოცხლის განმავლობაში. გარდა ამისა, თუ ტყუპი იზრდება განსხვავებული, მაგალითად, კვებისა და სამედიცინო მომსახურების პირობებში, ხშირად განსხვავდებიან სიმაღლითა და სხვა ფიზიკური მახასიათებლებით.

ერთმა და იმავე გენოტიპმა შეიძლება გარემოს სხვადასხვა პირობებში განაპირობოს ნიშან-თვისების განსხვავებული გამოვლენა. **ამრიგად, ნიშან-თვისებების განვითარება ხდება გენოტიპისა და გარემო პირობების ურთიერთქმედებით.** ფენოტიპების მრავალფეროვნებას (გენოტიპის შეცვლის გარეშე), რომელიც წარმოიქმნება ორგანიზმებში გარემო პირობების გავლენით, **მოდიფიკაციურ ცვა-**

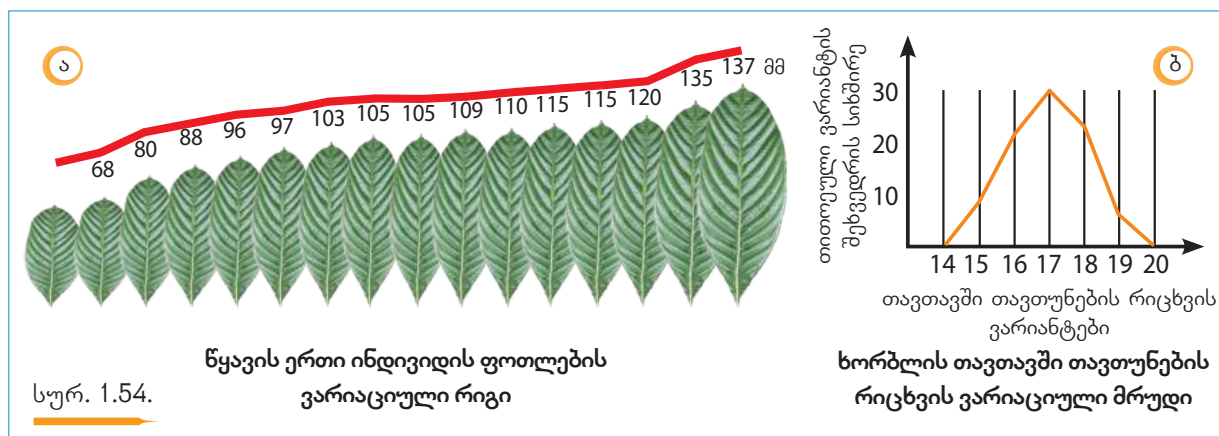
ლებადობას უწოდებენ. მოდიფიკაციური ცვა-
ლებადობა არამემკვიდრული ცვალებადო-
ბაა, რომლის დროსაც ინდივიდის გენოტიპი
უცვლელია, იცვლება მხოლოდ მისი ფენოტი-
პი, რადგან გარემო ფაქტორების გავლენით
იცვლება გენების, ფერმენტების მუშაობა და
აქტივობა. გამოყოფენ ცვალებადობის ორ ძი-
რითად ფორმას: **არამემკვიდრულსა (ფენოტი-
პურს) და მემკვიდრულს (გენოტიპურს).**

განსხვავებული გენოტიპის გამო მსხვილ-
ფეხა რქოსანი საქონლის ჯიშები მკვეთრად
განირჩევიან რომელიმე ნიშან-თვისების, მა-
გალითად, სხეულის მასის საშუალო სიდი-
დის, რძის წველადობის მიხედვით. თუმცა
გარემო პირობები, საკვების რაოდენობა და
ხარისხი, არანაკლებ როლს ასრულებენ ამ
ნიშან-თვისებათა ფორმირებაში. მაგალი-
თად, არასათანადო კვებამ შეიძლება გა-
მოიწვიოს ის, რომ ძროხის ჯიშში, რომელიც
წელიწადში 4500-5000 ლ რძეს იწველიდა,
შეამციროს რძის პროდუქტიულობა 2500
ლ-მდე და უფრო დაბლაც. ცნობილია, რომ
ზოგიერთი ჯიშის ძროხა ჩვეულებრივ პირო-
ბებში წელიწადში იწველება 800-1200 ლიტრ
რძეს. ამ ცხოველების კვებისა და სხვა პირო-
ბების გაუმჯობესება მკვეთრად ამაღლებს
მათ პროდუქტიულობას, მაგრამ, რაც უნდა

გაუმჯობესდეს მისი კვება, ამ ძროხის რძის
პროდუქტიულობა ვერ მიაღწევს მერძეული
ჯიშის ძროხის რძის პროდუქტიულობის მაჩ-
ვენებელს. ეს აიხსნება იმით, რომ **შეცვლილ
გარემო პირობებში ნიშან-თვისების ცვლილე-
ბის ფარგლებს გენოტიპი განსაზღვრავს.**

მოცემული ნიშან-თვისების ფენოტიპის
ცვლილების ფარგლებს გენოტიპის ცვლილე-
ბის გარეშე **რეაქციის ნორმა** ეწოდება. ზოგი-
ერთ ნიშანს აქვს რეაქციის ფართო ნორმა,
ზოგს კი — ვიწრო. მაგალითად, ფართო
რეაქციის ნორმა აქვს მცენარის ნაყოფების
ან ფოთლების ზომას მაშინ, როდესაც მწე-
რებით დამტვერავი ყვავილის ფორმა ან
ზომა უმნიშვნელოდ იცვლება. ზოგიერთი
ნიშნისთვის, მაგალითად, სისხლის ჯგუფე-
ბის სისტემისთვის, რეაქციის ნორმა საკმაოდ
შეზღუდულია, ანუ მოცემული გენოტიპი
ზუსტად განსაზღვრავს ძალიან სპეციფიკურ
ფენოტიპს.

**ყოველი ორგანიზმის ფენოტიპი არის მისი
გენოტიპისა და გარემო ფაქტორების ურთიერ-
თქმედების შედეგი. ამდენად, მემკვიდრეობით
გადაცემა არა ნიშან-თვისება, არამედ ორ-
განიზმის უნარი, რომ გარემო პირობებსა და
გენოტიპის ურთიერთქმედებით წარმოქმნას
გარკვეული ფენოტიპი.**



ვარიაციული რიგი (სურ. 1.54.ა) უჩვენებს
მოდიფიკაციური ცვალებადობის ფარგლებს
(რეაქციის ნორმას) და თითოეული ვარიანტის
სიდიდეს, ხოლო ვარიაციული მრუდი (სურ.
1.54.ბ) — მოდიფიკაციური ცვალებადობის
ფარგლებს (რეაქციის ნორმას), თითოეული
ვარიანტის სიდიდესა და მისი შეხვედრის სიხ-
შირეს.

მოდიფიკაციური ცვალებადობა შეიძლება
იყოს შეგუებითი — ადაპტური ტიპის. მაგა-
ლითად, გნოლი, ყარყუმი, ყარსარი, კურდლე-
ლი ზამთარში თეთრია, ზაფხულში კი — არა
(სურ. 1.55). ზოგიერთ მწერს, თევზს, ამფი-
ბიას, ქვეწარმავალს და სხვ. გარემოს ფონის
შესაბამისად ეცვლებათ სხეულის შეფერილო-
ბა.



კურდღელი ზაფხულში



კურდღელი ზამთარში

სურ. 1.55.

ზემოთ განხილულის საფუძველზე მოდიფიკაციური ცვალებადობა შემდეგი ნიშნებით შეიძლება დახასიათდეს:

- მოდიფიკაციური ცვალებადობის დროს არ იცვლება გენოტიპი, ამიტომ იგი მემკვიდრეობით არ გადაეცემა;
- მოდიფიკაციის მიმართულებითი ხასიათი, ანუ კონკრეტული გარემო ფაქტორის შესაბამისი — ადექვატური ცვლილების წარმოქმნა (მაგალითად, ყველა ჯანმრთელ ადამიანში, რომლებსაც ღია კანის ფერი აქვთ, მზის სხივები იწვევს კანის გარუჯვას);
- მოდიფიკაციური ცვალებადობის ინტენსივობა გარკვეული ხარისხით პროპორციულია ორგანიზმზე მოქმედი ფაქტორის ძალისა და ხანგრძლივობისა. მაგალითად, ადამიანში ჭორფლიანო-

ბას იწვევს დომინანტური გენი, მაგრამ მისი გამოვლენის ხარისხი მზიან გარემოში ადამიანის ყოფნის ხანგრძლივობაზეა დამოკიდებული;

- უმრავლეს შემთხვევაში მოდიფიკაციები ორგანიზმებისათვის სასარგებლო შეგუებულობაა, განსაკუთრებით იმ შემთხვევაში, როდესაც ორგანიზმებზე საკმაოდ რეგულარულად მოქმედებს ესა თუ ის ფაქტორი;
- უფრო ხშირად ცვლილება შექცევადია, საწყის პირობებში დაბრუნებისას ინდივიდები იბრუნებენ პირვანდელ ფენოტიპს (მაგალითად, ავიტამინოზით გამოწვეული დარღვევები ორგანიზმში აღდგება ვიტამინებით მდიდარი საკვების მიღების შემდეგ).



მოდიფიკაციური ცვალებადობის შესწავლას დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს. ადამიანისათვის მოდიფიკაციური ცვალებადობის კანონზომიერებების ცოდნა განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია სოფლის მეურნეობის პრაქტიკისთვის. კულტურულ მცენარეებსა და შინაურ ცხოველებში პროდუქტიულობის გაზრდა შესაძლებელია მათი საარსებო პირობების გაუმჯობესებით. მოდიფიკაციური ცვალებადობის კანონზომიერებათა ცოდნა აუცილებელია მედიცინაში. ამჟამად დიდი ყურადღება ეთმობა ადამიანის არა მემკვიდრული ინფორმაციის შეცვლას, არამედ რეაქციის ნორმის ფარგლებში ორგანიზმის განვითარებას. ჯანმრთელი ბავშვი რომ გაიზარდოს, მნიშვნელოვანია კვების, ფიზიკური ვარჯიშის, სწორი რეჟიმისა და ჰიგიენური მოთხოვნილებების დაცვა, ანუ ჯანსაღი ცხოვრების წესის დაცვა.



1. ახსენი, როგორ შეიძლება გენებისა და გარემო ფაქტორების ურთიერთქმედებამ გავლენა მოახდინოს ფენოტიპზე?
2. მზის სხივების ინტენსიურობა ზემოქმედებამ შეიძლება გამოიწვიოს ადამიანში თმის ფერის გახუნება. ეს არის გენებისა და გარემო ფაქტორების ურთიერთქმედების მაგალითი? ახსენი შენი პასუხი.



3. რა მნიშვნელობა აქვს კურდღლისთვის სეზონის მიხედვით ბენვის შეფერილობის შეცვლას?
4. როგორ იცვლება ადამიანში კანის შეფერილობა მზის სხივების ინტენსიური მოქმედების საპასუხოდ და რა მნიშვნელობა აქვს მას?
5. როგორ ფიქრობ, ზემოთ აღწერილ მაგალითებში სხეულის შეფერილობის მოდიფიკაციური ცვლილება შექცევადი იქნება თუ შეუქცევადი? ანუ თუ ამ ცვლილების გამომწვევი ფაქტორი მოიხსნება, ორგანიზმი შეინარჩუნებს ნიშან-თვისების ამ მოდიფიკაციას?
6. რაზეა დამოკიდებული მოდიფიკაციური ცვალებადობის ფარგლები?
7. დაახასიათე მოდიფიკაციური ცვალებადობა.
8. მემკვიდრული დიაბეტით დაავადებულ ადამიანს უნიშნავენ სპეციალურ დიეტას და სამკურნალო პრეპარატს – ინსულინს, რის შედეგადაც დაავადება არ გამოვლინდება ან მისი გამოვლენა სუსტდება. როგორ ფიქრობ, ამ დროს ამ დაავადების განმსაზღვრელი გენი იცვლება თუ არა? პასუხი დაასაბუთე.
9. როგორ ფიქრობ, რა მოხდებოდა ბუნებაში, თუ ორგანიზმებისთვის დამახასიათებელი იქნებოდა მხოლოდ: 1) მემკვიდრეობითობა? 2) მოდიფიკაციური ცვალებადობა?



ექსპერიმენტის დაგეგმვა

დაგეგმე ექსპერიმენტი, რომლითაც დაადგენ, თუ გარემო პირობებმა რა გავლენა შეიძლება მოახდინოს ბაბუანწერას ნიშან-თვისებების ფენოტიურ გამოვლენაზე.

ექსპერიმენტის გეგმაში წარმოადგინე:

- ექსპერიმენტის საკვლევი კითხვა;
- ჰიპოთეზა;
- ექსპერიმენტის ეტაპები;
- მონაცემების შეგროვების საშუალება/საშუალებები.

ერთი ფესვიდან (ფესვის შუაზე გაჭრის შედეგად) განსხვავებულ პირობებში განვითარებული მცენარეები



კვლევის განხორციელება და კვლევის ანგარიშის მომზადება

გაზომე ერთი ხის 50 ფოთლის ფირფიტის სიგრძე. მონაცემები ჩაინიშნე.

- ა) მიღებული მონაცემების მიხედვით ააგე ფოთლის ფირფიტის სიგრძის ვარიაციების გამომხატველი გრაფიკი ან დიაგრამა.
- ბ) დაადგინე ფოთლის ფირფიტის სიგრძის მოდიფიკაციური ცვალებადობის ფარგლები – რეაქციის ნორმა.
- გ) რომელი ვარიანტია ყველაზე იშვიათი და ყველაზე ხშირი? გამოიტანე დასკვნა: რით შეიძლება იყოს გამომწვეული ეს ცვლილება?



- ყველა ორგანიზმისთვის დამახასიათებელია ორი ურთიერთსაზღვრავი თვისება – მემკვიდრეობითობა და ცვალებადობა;
- ფენოტიპი ყალიბდება გენოტიპისა და გარემო ფაქტორების ურთიერთქმედებით;
- ცვალებადობა შეიძლება იყოს მემკვიდრული ან არამემკვიდრული;
- არამემკვიდრულ ცვალებადობას მოდიფიკაციური ცვალებადობა ეწოდება;
- მოდიფიკაციური ცვალებადობა ორგანიზმს ეხმარება გარემოს ცვლად პირობებთან შეგუებაში.



რა არის გენების რეკომბინაციის მიზეზები და რა მნიშვნელობა აქვს მას?



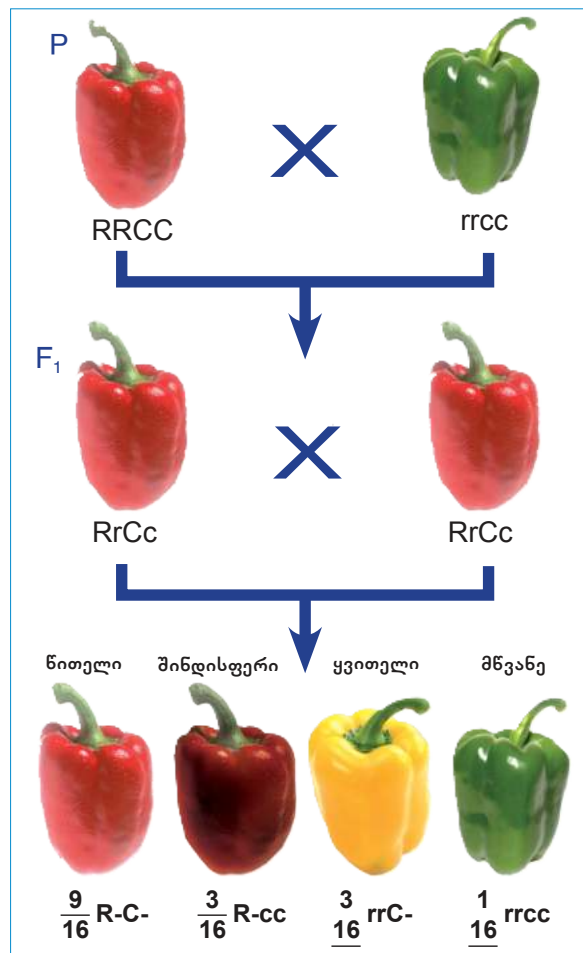
- **სასიცოცხლო თვისებები:** ცვალებადობა – მემკვიდრული ცვალებადობა; კომბინაციური ცვალებადობა, გენური მუტაცია.
- **ბიომრავალფეროვნება:** კომბინაციური ცვალებადობისა და გენური მუტაციის როლი გენეტიკური მრავალფეროვნების წარმოქმნაში.
- **ჯანმრთელობა და დაავადება:** გენეტიკური დარღვევები და დაავადებები, სიმპტომები, გამომწვევი მიზეზები.



- სქესობრივი გამრავლებით მიღებული არცერთი ორგანიზმი არ არის რომელიმე მშობლის იდენტური. ახსენი, რატომ?
- სურათ 1.56.-ზე დააკვირდი წინაკების შეჯვარების სქემას და უპასუხე კითხვებს:
- ფენოტიპურად რამდენი ტიპის ჰიბრიდი წარმოიქმნა მეორე თაობაში?
 - მათგან რომელია მშობლიური ფორმები და რომელი – ახალი ფორმები?
 - როგორ ფიქრობ, ეს მოდიფიკაციური ცვალებადობის მაგალითია თუ მემკვიდრული ცვალებადობის?
 - რა არის ფენოტიპურად ახალი ფორმების წარმოქმნის მიზეზი?

მემკვიდრული ცვალებადობის შემთხვევაში ნიშან-თვისების შეცვლას განაპირობებს გენოტიპის ცვლილება, რომელიც შთამომავლობას გადაეცემა. გენოტიპის ცვლილების გამო იცვლება ფენოტიპი. **გამოყოფენ მემკვიდრული ცვალებადობის ორ ფორმას: კომბინაციურსა და მუტაციურს.**

გავიხსენოთ დიჰიბრიდული შეჯვარება (სურ.1.22, გვ.36), მეორე თაობაში ფენოტიპურად ოთხი ტიპის ჰიბრიდია მიღებული. მათგან მშობლიური ფორმებია ყვითელი გლუვთესლიანი და მწვანე დანაოჭებულთესლიანი, ხოლო ყვითელი დანაოჭებული და მწვანე გლუვი – ახალი ფორმებია. ფენოტიპურად ახალი ფორმების წარმოქმნის მიზეზი არის არსებული ალელური გენების ახალი შეთანწყობა – რეკომბინაცია: $A-bb$ და $aaB-$,



სურ. 1.56.

რამაც შეცვალა გენოტიპი და, შესაბამისად, ფენოტიპი. ეს კომბინაციური მემკვიდრული ცვალებადობაა.

კომბინაციური ცვალებადობის საფუძველია გენოტიპში გენების ახალი შეთანწყობის წარმოქმნა, რასაც რეკომბინაცია ეწოდება. ამიტომ კომბინაციურ ცვალებადობას **რეკომბინაციურ ცვალებადობასაც** უწოდებენ. რეკომბინაცია არის უნივერსალური ბიოლოგიური მექანიზმი, რომელიც მთელ ცოცხალ სისტემაში — პროკარიოტებსა და ეუკარიოტებში მოქმედებს. რეკომბინაციური ცვალებადობა არის მნიშვნელოვანი წყარო გენეტიკური მრავალფეროვნებისა, რომელიც

შეიმჩნევა ცოცხალ ორგანიზმებში. ეუკარიოტებში რეკომბინაციური ცვალებადობის წყარო არის სქესობრივი გამრავლება და მისი თანმდევი სამი მნიშვნელოვანი პროცესი:

1. ჰომოლოგიურ ქრომოსომებს შორის მონაკვეთების გაცვლა/კროსინგოვერი, რითაც შეჭიდულ გენტა ჯგუფებში გაერთიანებული ალელები გადანაწილდება და ჯგუფების ახალი ვარიანტები ჩამოყალიბდება;
2. მეიოზის პროცესში ჰომოლოგიური ქრომოსომების დაცილება, ქრომოსომათა შემთხვევითი და დამოუკიდებელი განაწილება, რის გამოც ქრომოსომათა კომბინაციების მიხედვით განსხვავებული გამეტები ყალიბდება;
3. განაყოფიერების დროს მამრობითი და მდედრობითი გამეტების შემთხვევითი შერწყმა.

კომბინაციური ცვალებადობის ყველა სამი ძირითადი წყარო მოქმედებს დამოუკიდებლად და ერთდროულად და ქმნიან გენოტიპების მრავალფეროვნებას. სქესობრივი გამრავლების დროს გენების კომბინაცია იწვევს ახალი უნიკალური გენოტიპისა და ფენოტიპის ფორმირებას. ნებისმიერ ბავშვში შეიძლება დედისა და მამის ტიპური ნიშნის აღმოჩენა. მიუხედავად ამისა, ახლო ნათესაებს შორისაც კი შეუძლებელია აბსოლუტურად ორი ერთნაირი ადამიანის პოვნა, გარდა იდენტური ტყუპისა.

სქესობრივი გამრავლება და მისი თანმხლები მოვლენები ორგანიზმთა მრავალფეროვნებას იწვევს, რადგან გენტა ახალ შეთანწყობაში თავს იჩენს ალელურ გენტა ერთ წყვილში სხვადასხვა ალელის ურთიერთქმედება (არასრული დომინირება, კოდომინირება) და სხვადასხვა არაალელური გენის ურთიერთქმედება (კომპლემენტარობა, ეპისტაზი, პოლიმერია).



გენების ახალი კომბინაციები სქესობრივი გამრავლების შედეგად არა მარტო ხშირად და ადვილად წარმოიქმნება, არამედ იგი ადვილადვე ირღვევა თაობიდან თაობაში გადაცემის დროს. ამიტომ სასურველი ნიშან-თვისებების შენარჩუნების მიზნით, სოფლის მეურნეობაში მიმართავენ ახლონათესაურ შეჯვარებას. ასეთი შეჯვარების დროს იზრდება მსგავსი გენური შემადგენლობის გამეტების შეხვედრის ალბათობა. ამის შედეგად შესაძლებელია შთამომავლობაში გენების ისეთი კომბინაციის მიღება, რომელიც მშობლების გენების კომბინაციასთან ახლოსაა. ასეთი გზით შექმნილია მცენარეებისა და ცხოველების ზოგიერთი ჯიში.

მრავალრიცხოვანმა გამოკვლევამ და პრაქტიკულმა გამოცდილებამ აჩვენა, რომ ცხოველებში **ახლონათესაური შეჯვარებისა** და ჯვარედინმტერია მცენარეების **ხელოვნური თვითდამტვერვისა**, ძალიან ხშირად შთამომავლობაში სიცოცხლისუნარიანობა და ნაყოფიერება ქვეითდება. ამის ერთ-ერთი მიზეზი შთამომავლობაში ჰომოზიგოტურობის სწრაფი ამაღლება და მავნე რეცესიული ალელური გენების ფენოტიპური გამოვლენაა. ამასთან, ნათესაური შეჯვარება ჰომოზიგოტურობის ამაღლების წყალობით ცალკეული ინდივიდების საუკეთესო თვისებებს განამტკიცებს. ამის გამო, სელექციონერი ხშირად მიმართავს ახლონათესაურ შეჯვარებას ცხოველებში რაიმე ნიშან-თვისების შენარჩუნების მიზნით. ამ ტიპის შეჯვარებას მიმართავენ აგრეთვე წმინდა ხაზების გამოსაყვანად და შემდეგ ხაზთაშორისი შეჯვარებისათვის. ამ დროს ვლინდება ჰეტეროზისის მოვლენა. მემცენარეობაში, მაგალითად, გენეტიკურად დაცილებულ ორ სიმინდის ჯიშში გამოჰყავთ წმინდა ხაზები თვითდამტვერვით. ასეთი ხაზების მცენარეები სიმაღლით დაბალი და ნაკლებნაყოფიერია. ხაზთაშორისი ჰიბრიდიზაციის შედეგად კი F₁ ჰიბრიდები ძალიან ბევრი გენის მიმართ ჰეტეროზიგოტურნი არიან და მჟღავნდება



♀ ცხენი



♂ ვირი



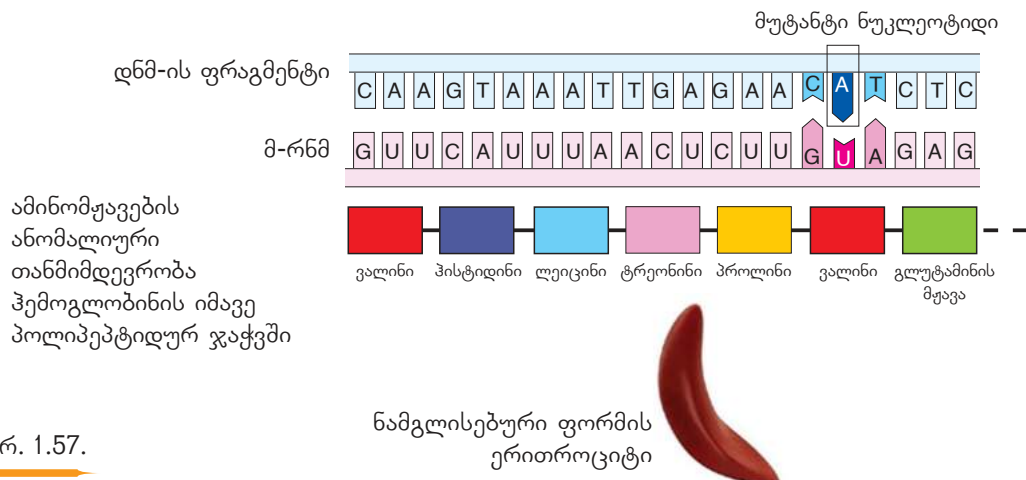
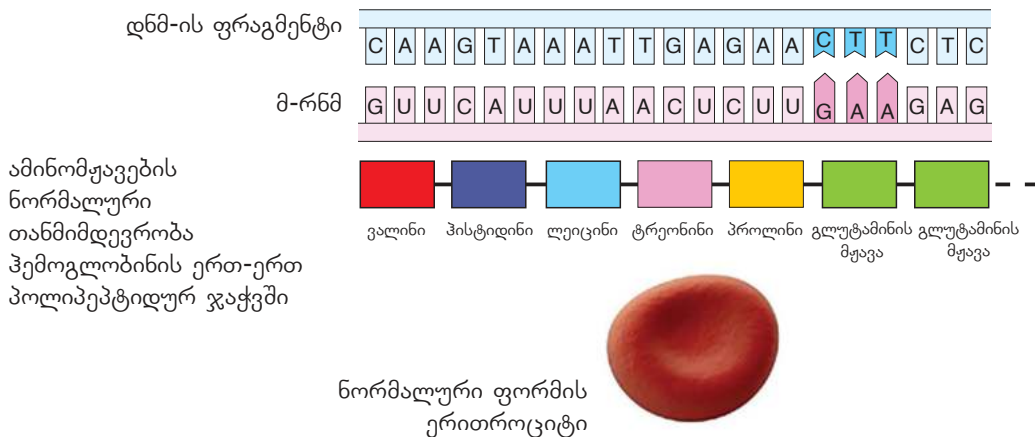
ჯორი

ჰეტეროზისის მოვლენა – მაღლდება სიცოცხლისუნარიანობა და თითქმის 2-ჯერ იზრდება მოსავლიანობა. ჰეტეროზისის მოვლენა ვლინდება **შორეული ჰიბრიდიზაციის** (სხვადასხვა სახეობის ორგანიზმების შეჯვარების) დროსაც. ჰეტეროზისის გამოვლენის კლასიკურ მაგალითს წარმოადგენს ჯორი, რომელიც ვირისა და ცხენის შეჯვარებით მიიღება. იგი უნაყოფოა, მაგრამ უფრო სიცოცხლისუნარიანია და გამძლე არახელსაყრელი პირობებისადმი, ვიდრე მშობლები.

სტრუქტურული გენის რა ცვლილებები განაპირობებს გენურ მუტაციებს?

მუტაციური ცვალებადობა არის გენოტიპური ცვალებადობის ფორმა, რომლის დროსაც იცვლება გენი, ქრომოსომის სტრუქტურა ან მათი რიცხვი. ცალკეული გენის სტრუქტურის ცვლილებას **გენური მუტაცია** ეწოდება. დნმ-ის მოლეკულაში ერთი წყვილი ნუკლეოტიდის ცვლილებას **წერტილოვან მუტაციას**

უწოდებენ. ნამგლისებრი ანემია წერტილოვანი გენური მუტაციის შედეგია (სურ. 1.57). შესაბამისი გენის ერთ ტრიპლეტში — CTT, ერთი ნუკლეოტიდი T შეიცვალა მეორით — A(CAT), რამაც გამოიწვია პოლიპეპტიდურ ჯაჭვში ამინომჟავა — გლუტამინის მჟავას შეცვლა ვალინით.



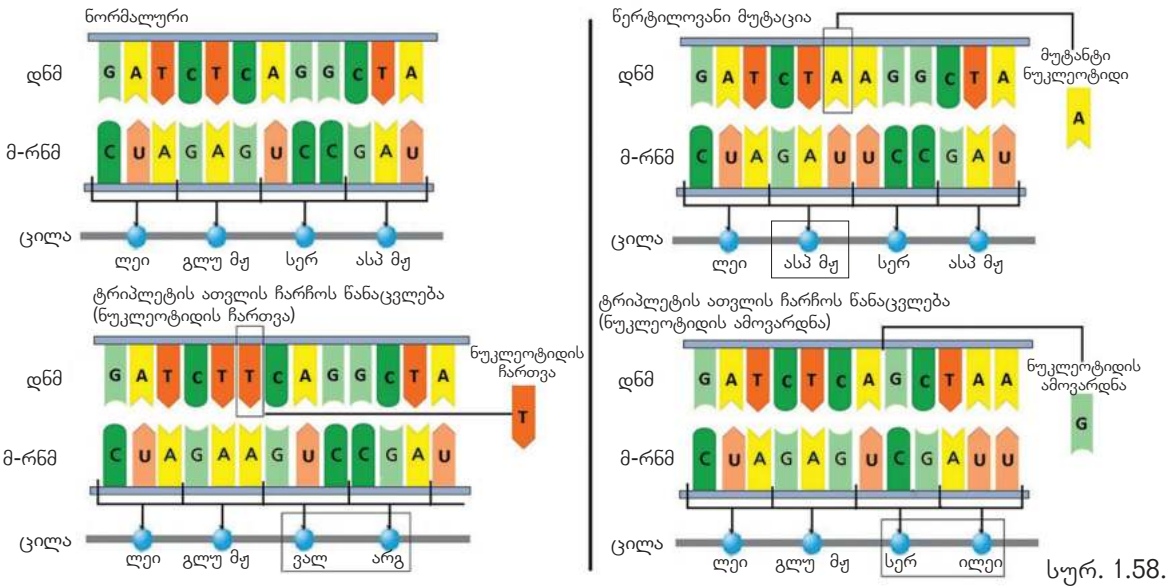
სურ. 1.57.



გენური მუტაციების სიმულაცია

გენური მუტაციების მოდელირება ვირტუალური ლაბორატორიის გამოყენებით – <https://bit.ly/3DBeHTV> (ექსპერიმენტი 4). სამუშაო შეასრულე ინსტრუქციის მიხედვით, კვლევის ანგარიში წარუდგინე მასწავლებელს.

გენური მუტაციის ტიპები



გენური მუტაციის სხვა მიზეზი შეიძლება იყოს სტრუქტურულ გენში რომელიმე ნუკლეოტიდური წყვილის ამოვარდნა ან ჩართვა (სურ. 1.58.). ასეთ გენურ მუტაციას **ტრიპლეტის ათვლის ჩარჩოს ნანაცვლება** ეწოდება. ამრიგად, გენური მუტაციის დროს ცვლილება ხდება გენის ლოკუსში. იგი სხვა ტიპის მუტაციითა შორის ყველაზე მაღალი სიხშირით წარმოიქმნება და იწვევს ორგანიზმის მორფოლოგიური და ფიზიოლოგიური, ბიოქიმიური ნიშნების ცვლილებას. გენური მუტაციის დროს გენი ერთი ალელური მდგომარეობიდან ნახტომისებურად გადადის მეორე ალელურ მდგომარეობაში. ეს ცვლილება იწვევს იმას, რომ მუტაგენური გენი ან წყვეტს მუშაობას და მაშინ არ წარმოიქმნება შესაბამისი მ-რნმ და ცილა, ანდა სინთეზირდება შეცვლილი თვისებების ცილა. ეს კი იწვევს ორგანიზმის რომელიმე ნიშნის შეცვლას. გენური მუტაციების შედეგად წარმოქმნილ ახალ ალელებს დიდი ევოლუციური მნიშვნელობა აქვს.



სურ. 1.59.

გენურმა მუტაციამ შეიძლება მნიშვნელოვანი გავლენა მოახდინოს ორგანიზმზე. დავუშვათ, რომ დნმ-კოდონი **AAG** შეიცვალა ასე: **CAG**. შესაბამისად, მიღებულ ცილაში, ლიზინის ნაცვლად, იქნება გლუტამინი. თუ ეს ცვლილება ეხება ფერმენტის აქტიურ ცენტრს, შესაძლებელია ფერმენტი ვერ დაუკავშირდეს თავის სუბსტრატს და არ წარმართება შესაბამისი ფერმენტული რეაქცია. თუ შეცვლილი ამინომჟავა განსხვავდება საწყისი ამინომჟავასგან ზომით ან პოლარობით, ეს ცვლილება გავლენას მოახდენს ცილის სივრცულ სტრუქტურაზე და შეიძლება დააზიანოს ცილის ფუნქცია. ტრიპლეტის ცვლილებამ, ასევე, შეიძლება ნაადრევად გამოიწვიოს სტოპ-კოდონის წარმოქმნა.

თუმცა უნდა გვახსოვდეს, რომ ზოგჯერ გენური მუტაცია არ ზემოქმედებს ორგანიზმის ფენოტიპზე. თუ გავიხსენებთ, რომ სხვადასხვა კოდონი აკოდირებს ერთსა და იმავე ამინომჟავას (სურ. 1.63), შესაბამისად, ტრიპლეტში ზოგიერთ ცვლილებას არანაირი ეფექტი არ აქვს, განსაკუთრებით მაშინ, თუ ტრიპლეტში შეიცვალა მესამე ნუკლეოტიდი. მაგალითად, თუ ტრიპლეტი **AAG** შეიცვალა **AAA**-თი, მიღებულ ცილაში კვლავ იქნება ამინომჟავა ლიზინი. ასევე, თუ მუტაციის შედეგად ცილაში შეცვლილ ამინომჟავას აქვს ისეთივე ზომა და პოლარობა, როგორც საწყისი ამინომჟავას, ნაკლებად ახდენს გავლენას ცი-

ლის სტრუქტურასა და თვისებებზე, შესაბამისად, მის ფუნქციაზე.

მუტაციები შემთხვევითი და სპონტანური. ე.ი. მუტაცია შეიძლება ნებისმიერ დროს ნებისმიერი ნიშან-თვისების განმსაზღვრელმა გენმა განიცადოს. გენური მუტაციები ორგანიზმისთვის შეიძლება იყოს საზიანო, სასარგებლო ან მოცემული მომენტისთვის ნეიტრალური. ალბათობა იმისა, რომ მოცემულ ინდივიდში ამა თუ იმ გენმა განიცადოს მუტაცია, ძალიან მცირეა, რადგან ცოცხალ სისტემებში არსებობს სხვადასხვა დამცავი მექანიზმი: დნმ-ის რეპარაცია (მე-10 კლასის მოსწავლის ნიგნი, I ნაწილი, გვ. 123), დნმ-ის კოდის სიმახინჯე (მე-10 კლასის მოსწავლის ნიგნი, I ნაწილი, გვ.136); ასევე, მრავალუჯრედიან ცხოველურ ორგანიზმებში იმუნური სისტემა, რომლის მთავარი ფუნქციაა გენეტიკურად უცხო უჯრედების (მათ შორის, საკუთარი უჯრედების) შეცნობა და განადგურება.

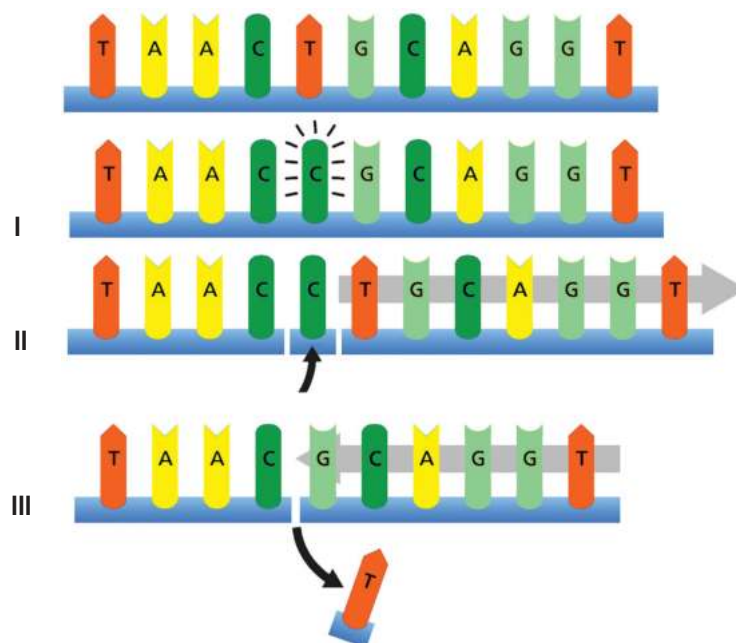
გენური მუტაციების მემკვიდრეობა შთამომავლობაში დამოკიდებულია იმაზე, თუ რა სახის მუტაცია მოხდა. გენური მუტაციების შემდეგ სახეებს არჩევენ: ჰეტეროზიგოტაში გამოვლენის მიხედვით **დომინანტური, ნახევრად დომინანტური, რეცესიული; სასქესო ქრომოსომებთან შეჭიდული და აუტოსომური; გენერაციული** (გამეტებსა და სპორებში მომხდარი მუტაციები) და **სომატური** (სხეულის სომატურ უჯრედებში წარმოქმნილი) და სხვ.

გენური მუტაციების უმრავლესობა რეცესიულია. მაგალითად, ალბინიზმი აუტოსომურ-რეცესიულია. ამ დროს მუტაცია განიცადა გენმა, რომელიც განაპირობებს პიგმენტ-მელანინის სინთეზს კანში, თმებში (ბუმბულში, ბენვში), თვალებში. ალბინიზმი ცხოველურ ორგანიზმებში გავრცელებული მუტაციაა (სურ. 1.59). ასევე, რეცესიული გენური მუტაციაა შენტის ცნობილი ისეთი



1. მაღალი პროდუქტიულობის კულტურულ მცენარეებში სასურველი ნიშან-თვისების შენარჩუნების მიზნით, მათ ვეგეტატიურად ამრავლებენ. ახსენი, რატომ?
2. რომელ გენურ მუტაციას შეიძლება ჰქონდეს უფრო მეტი ეფექტი – ნერტილოვან მუტაციას თუ ტრიპლეტის ათვლის ჩარჩოს წანაცვლებას? ახსენი შენი პასუხი.
3. ჰემოფილიას გენური მუტაციის რომელ ფორმას მიაკუთვნებ და რატომ?
4. დააკვირდი სქემას, რომელიც გენში მომხდარ ცვლილებას ასახავს. განსაზღვრე: 1) თითოეულ შემთხვევაში რამ გამოიწვია ტრიპლეტის ცვლილება? 2) რომელ შემთხვევაში იცვლება ტრიპლეტის უმრავლესობა? 3) მუტაციის რომელ ფორმას გამოიწვევს აღნიშნული ცვლილებები?

ტრიპლეტების ნორმალური თანმიმდევრობა





სურ. 1.60.



სურ. 1.61.

მემკვიდრული დაავადება, როგორიცაა ჰემოფილია.

აუტოსომურ-დომინანტური მუტაციაა აქონდროპლაზია. ამ მუტაციის ადამიანები დაბლები არიან (კიდურები დამოკლებულია) და აქვთ არაპროპორციული სხეული, ინტელექტი ჩვეულებრივ ნორმალური აქვთ. იგი გვხვდება როგორც მამაკაცებში, ისე ქალებში. ესპანელი მხატვრის, დიეგო ველასკესის სურათის (1656წ.) მარჯვენა კუთხეში გამოსახულია აქონდროპლაზიის მქონე ადამიანი (სურ. 1.60). აუტოსომურ-დომინანტური მუტაციაა აგრეთვე ექვსთითიანობა. ამ ნიშნის ფენოტიპური გამოვლენის ხარისხი სხვადასხვანაირია: ექვსი თითი შეიძლება ჰქონდეს ადამიანს ყველა კიდურზე ან ერთზე, ორზე, სამზე (სურ. 1.61).

გვხვდება მუტაციები, რომლებიც აღმოჩენილია მხოლოდ ზოგიერთ სომატურ უჯრედში და მათ **სომატური მუტაციები** ეწოდება. ასეთი მუტაციები გავლენას ახდენს იმ ქსოვილებსა და ორგანოებზე, რომლებიც ამ მუტანტი უჯ-



სურ. 1.62.

რედებიდან ვითარდებიან. ამიტომ მოცემული ქსოვილი ან ორგანოს ნაწილი რაიმე თვისებით განსხვავდება დანარჩენისგან (სურ. 1.62). სომატური მუტაციების შემდეგ თაობაში გადაცემა შეიძლება მცენარეებში, თუ მათ გავამრავლებთ იმ ვეგეტატიური ორგანოდან, რომელშიც სომატური მუტაცია მოხდა.

ამრიგად, სომატური მუტაციები გავლენას ახდენს მხოლოდ იმ ორგანიზმზე, რომელშიც ეს მუტაცია მოხდა. გამეტებში მომხდარი მუტაციები კი შთამომავლობას გადაეცემა. გენერაციული მუტაციები არის ბუნებაში გენეტიკური ცვალებადობის ძირითადი წყარო.



- როგორ ფიქრობ, დნმ-ის მოლეკულაში ნუკლეოტიდის შეცვლა ყოველთვის გამოიწვევს გენურ მუტაციას? დაასაბუთე შენი პასუხი.
- ახსენი, როგორ ასრულებს დნმ-ის სიმახინჯე და რეპარაცია ორგანიზმის გენური მუტაციებისაგან დამცავი მექანიზმის ფუნქციას.
- სხვა მეცნიერებთან ერთად, იმუნოლოგებიც მუშაობენ კიბოთი დაავადების თავიდან აცილების საკითხებზე. ახსენი, რატომ?

გენეტიკური კოდის ცხრილი

მეორე ნუკლეოტიდი									
U		C		A		G			
U	UUU	ფანილალ- ნინი	UCU	სარინი	UAU	თიროზინი	UGU	ცისტეინი	U
	UUC		UCC		UAC		UGC		C
	UUA	ლეიცილი	UCA		UAA	სტოპ-კოდონი	UGA	სტოპ-კოდონი	A
	UUG		UCG		UAG	სტოპ-კოდონი	UGG	ტრიფტო- ვანი	G
C	CUU	ლეიცილი	CCU	პროლინი	CAU	ჰისტიდინი	CGU	არგინინი	U
	CUC		CCC		CAC		CGC		C
	CUA		CCA		CAA	გლუტამინი	CGA		A
	CUG		CCG		CAG		CGG		G
A	AUU	იზოლუ- ცინი	ACU	ტრაქონინი	AAU	ასპარაგინი	AGU	სარინი	U
	AUC		ACC		AAC		AGC		C
	AUA		ACA		AAA	ლიზინი	AGA	არგინინი	A
	AUG	მეთიონინი სტარტ-კოდონი	ACG		AAG		AGG		G
G	GUU	ვალინი	GCU	ალანინი	GAU	ასპარაგი- ნის მჟავა	GGU	გლიცინი	U
	GUC		GCC		GAC		GGC		C
	GUA		GCA		GAA	გლუტამინის მჟავა	GGA		A
	GUG		GCG		GAG		GGG		G

სურ. 1.63.

- ალორძინების ეპოქის უდიდესი მხატვრის — რაფაელის სურათ 1.61.-ზე „სიქსტას მადონა“, მარ-
ცხნივ გამოსახულია რომის პაპი სიქსტ II, რომელსაც ახასიათებს ექვსთითიანობა. დააკვირდი
სურათს და გაარკვე, რა ხარისხით არის რომის პაპში ექვსთითიანობა გამოხატული.
- თუ მ-რნმ-ის ტრიპლეტი GUA შეიცვალა ტრიპლეტით GUU, მოახდენს თუ არა გავლენას ეს ცვლი-
ლება ამ მ-რნმ-ის მიხედვით სინთეზირებულ ცილაზე (ისარგებლე სურათ 1.63.-ზე მოცემული
გენეტიკური კოდის ცხრილით)? ახსენი შენი პასუხი.
- 1) ახსენი, როგორ შეიძლება მუტანტი გენის მიხედვით დასინთეზირდეს უფრო მოკლე პოლი-
პეპტიდური ჯაჭვი ნორმალური გენის მიხედვით სინთეზირებულ პოლიპეპტიდურ ჯაჭვთან შე-
დარებით? 2) მოიყვანე ორი მაგალითი, როდესაც GUA ტრიპლეტის მუტაცია გამოიწვევს ცილის
შეცვლას.



- გენოტიპური ცვალებადობის დროს გენოტიპი იცვლება, ამიტომ იგი მემკვიდრეობით გადაეცე-
მა;
- გენოტიპური ცვალებადობის ფორმებია კომბინაციური ცვალებადობა და მუტაციური ცვალე-
ბადობა;
- მუტაციური ცვალებადობის ერთ-ერთი სახეა გენური მუტაცია;
- გენური მუტაციის ფორმებია წერტილოვანი მუტაცია და ტრიპლეტის ათვლის ჩარჩოს წანაც-
ვლება.



რა ბიოლოგიური შედეგები შეიძლება გამოიწვიოს ქრომოსომის სტრუქტურისა და რიცხვის ცვლილებამ?



სასიცოცხლო

თვისებები: მემკვიდრული ცვალებადობა – ქრომოსომული და გენომური მუტაციები.

- **სტრუქტურა და ფუნქცია:** გენოტიპური ცვალებადობის კავშირი უჯრედის სტრუქტურების ცვლილებასთან.
- **ბიომრავალფეროვნება:** ქრომოსომული და გენომური მუტაციების როლი ბიომრავალფეროვნებაში.
- **ჯანმრთელობა და დაავადება:** გენეტიკური დარღვევები - მონოსომია, ტრისომია.

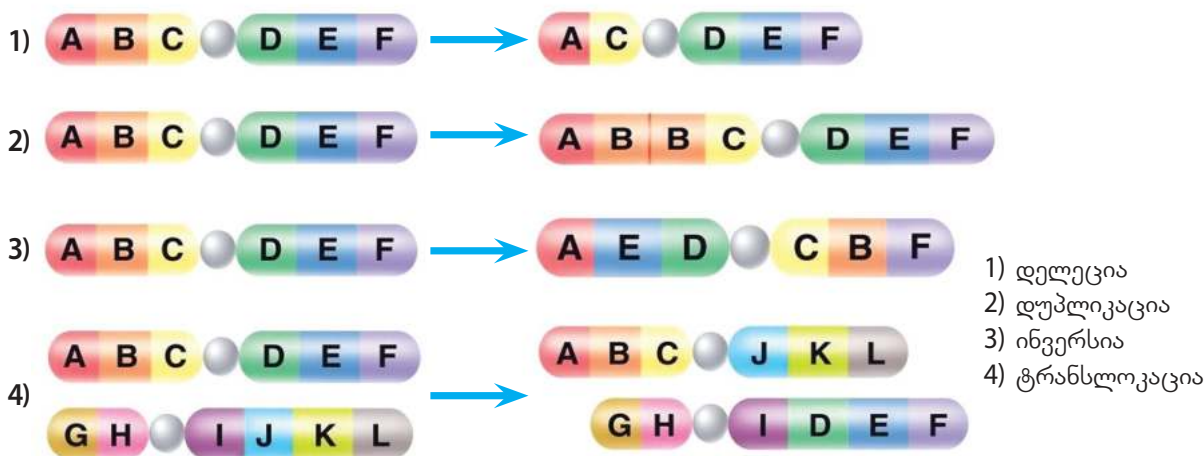


დააკვირდი სურათ 1.64-ზე მოცემულ სქემას, რომელიც ასახავს ქრომოსომების ცვლილებას. მარცხენა მხარეს წარმოდგენილია ნორმალური ქრომოსომები. შეადარე მარჯვენა მხარეს განთავსებულ ქრომოსომებს და განსაზღვრე:

- რა სახის ცვლილება განიცადა ქრომოსომამ თითოეულ შემთხვევაში?
- რას ეხება ეს ცვლილებები – გენს, ქრომოსომის სტრუქტურას თუ ქრომოსომის რიცხვს?
- რას ნიშნავს ქრომოსომების დიპლოიდური კომპლექტი? ჰაპლოიდური?
- რა პროცესი უზრუნველყოფს ქრომოსომების ჰაპლოიდური კომპლექტის წარმოქმნას?

ქრომოსომული მუტაციები

სურ. 1.64.



მუტაციების ერთ-ერთი სახეა **ქრომოსომული მუტაციები**, ანუ **ქრომოსომული აბერაციები**, რომლის დროსაც იცვლება ქრომოსომის სტრუქტურა. ასეთი ცვლილების დროს ქრომოსომის უბანი შეიძლება გაორმაგდეს, პირიქით, შეიძლება ამოვარდეს, ანდა გადაადგილდეს სხვა ადგილას. ქრომოსომული მუტაციების უმრავლესობის შესწავლა შეიძლება მიკროსკოპით.

არჩევენ ქრომოსომული მუტაციების სხვადასხვა სახეს (სურ. 1.64):

დელეცია – ქრომოსომის უბნის დაკარგ-

ვა, რის შედეგადაც ქრომოსომა მოკლდება. თუ ჰეტეროზიგოტაში დომინანტური გენების მქონე მონაკვეთი დაიკარგა, მაშინ მათი ყველა რეცესიული ალელი ფენოტიპურად გამოვლინდება. ქრომოსომის დიდი მონაკვეთის დაკარგვა ორგანიზმისათვის ლეტალურია – ინდივიდი იღუპება. მცირე მონაკვეთების დაკარგვა კი ქრომოსომის გენეტიკური სისტემის დარღვევას იწვევს, იცვლება გენთა განლაგების ხასიათი და ურთიერთკავშირი. თუ დელეცია ლეტალურია, მიუთითებს, რომ ქრომოსომას აღარ გააჩნია სასიცოცხლო

მნიშვნელობის გენები. მოკლე დელეციები ჰეტეროზიგოტაში ყოველთვის არ იწვევს სიცოცხლისუნარიანობის დარღვევას.

დუპლიკაცია, ანუ გაორმაგება – ქრომოსომის ერთ-ერთი უბანი ქრომოსომულ ნაკრებში წარმოდგენილია ერთზე მეტად. დუპლიკაციისას წარმოიქმნება გენეტიკური მასალის ასლები (ერთი და იგივე გენები), რომლებიც ერთიმეორის გვერდითაა განლაგებული.

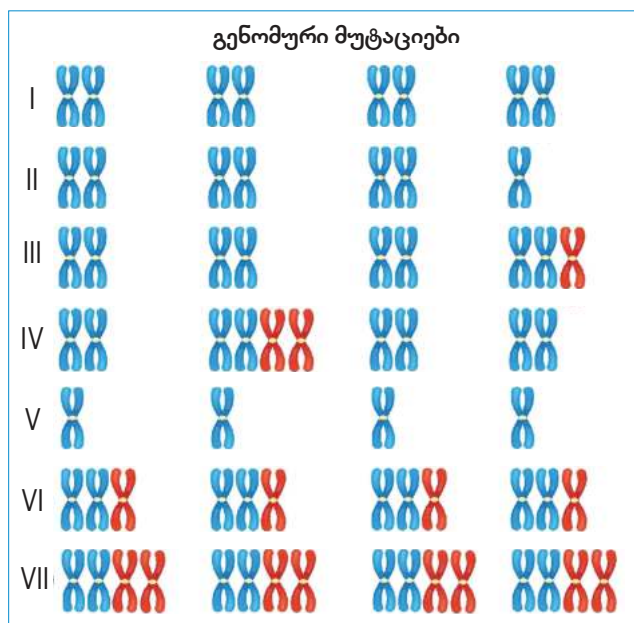
ინვერსია – ქრომოსომის ერთ-ერთ უბანში ნორმალურთან შედარებით გენების განლაგების თანმიმდევრობა 180° -ით შებრუნებულია. ინვერსია გენთა შეჭიდულ ჯგუფში ინვერს გენთა თანმიმდევრობის შეცვლას, ხშირია ე.წ. მდებარეობის ეფექტი (სიცოცხლის უმნიშვნელოვანეს გენებს შორის კავშირის განწყვეტას ლეტალური ეფექტი აქვს).

ტრანსლოკაცია – ქრომოსომულ ნაკრებში ქრომოსომის რომელიმე უბნის მდებარეობა შეცვლილია. ტრანსლოკაციის ყველაზე გავრცელებული ტიპია, როდესაც ორ ჰომოლოგიურ ქრომოსომას შორის ხდება უბნების გაცვლა. ამ სახის ცვლილება იწვევს გენთა შეჭიდული ჯგუფების დარღვევასა და შეცვლას. ეს მოვლენა მცენარეებში უფრო ფართოდაა გავრცელებული.

ქრომოსომული მუტაციები ხშირად ბევრ გენს ეხება და, როგორც წესი, მნიშვნელოვნად მოქმედებს ორგანიზმზე. მუტაციამ შეიძლება ისე დააზიანოს გენი, რომ მან შეწყვიტოს მოქმედება ან ახალი ფუნქციის მატარებელი გენი წარმოიქმნას. ქრომოსომის მონაკვეთის ტრანსლოკაცია იწვევს გენების ახალი კომბინაციის წარმოქმნას, რომელმაც შეიძლება ზოგიერთი გენი იმაზე მეტად გაააქტიუროს ან, პირიქით, დათრგუნოს, ვიდრე იყო.

ქრომოსომული მუტაციის მიზეზი ხშირად პირველ მეიოზში კონიუგაციის პროცესის დარღვევაა. შეგახსენებთ, რომ პირველი მეიოზური გაყოფის დროს ჰომოლოგიური ქრომოსომების ქრომატიდებმა შეიძლება გაცვალონ უბნები. თუ არასწორად წარიმართა ეს პროცესი, შესაძლებელია განსხვავებული ზომის ქრომოსომების მიღება (ერთი დამოკლდეს, მეორე კი დაგრძელდეს). შედეგად, ჰომოლოგიური ქრომოსომებიდან ერთ-ერთს შეიძლება ჰქონდეს რომელიმე გენის/გენების გაორმაგებული კომპლექტი (ეს დუპლიკაციაა), ხოლო მეორეს აკლდეს გარკვეული უბანი (ეს დელეციაა).

მუტაცია გულისხმობს არა მარტო ცვლილებას გენში და ქრომოსომათა სტრუქტურაში, არამედ ცვლილებას ქრომოსომათა რაოდენობაშიც. ასეთ მუტაციებს **გენომური მუტაციები** ეწოდება (სურ. 1.65). გენომური

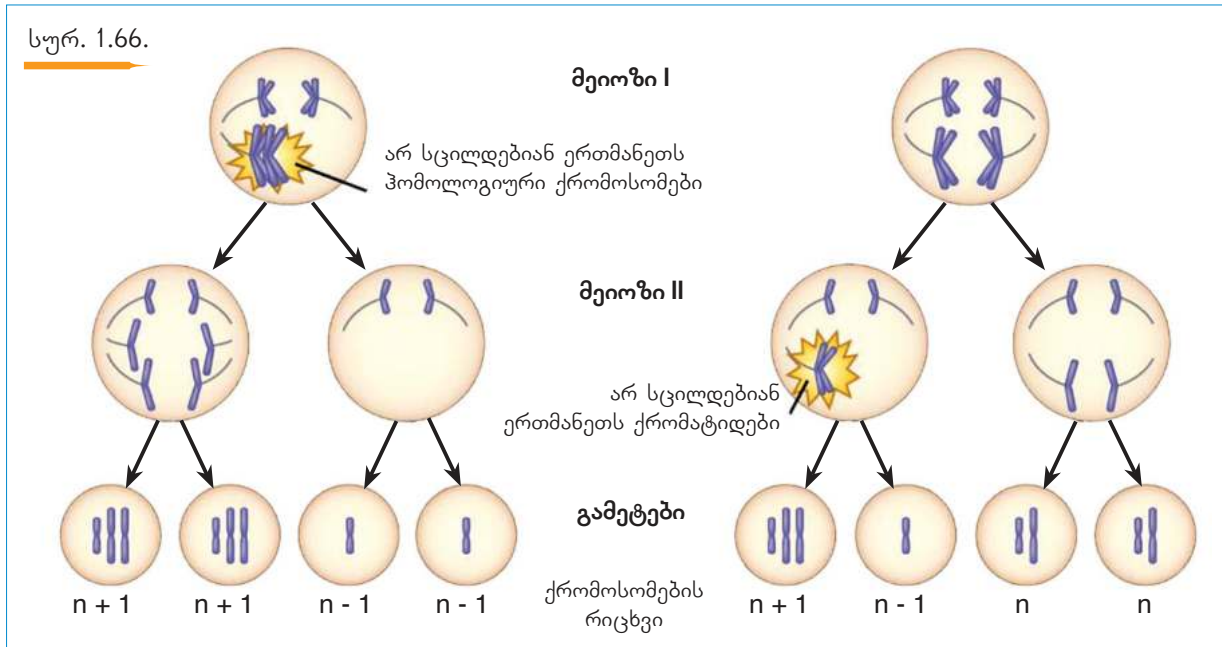


სურ. 1.65.



- დააკვირდი სურათ 1.64-ზე მოცემულ სქემას და/ან უყურე ანიმაციურ ფილმს <https://bit.ly/3wZ6jtH> და უპასუხე კითხვებს: 1) სქემაზე გამოსახული მუტაციის ყველა სახე ქრომოსომულ მუტაციებს მიაკუთვნებენ. ახსენი, რატომ? 2) მეიოზის რომელი პროცესის დარღვევამ შეიძლება გამოიწვიოს ქრომოსომული მუტაციები?
- დააკვირდი სურათ 1.65-ზე წარმოდგენილ ქრომოსომათა ნაკრების სხვადასხვა ვარიანტს. „I“ ვარიანტში წარმოდგენილია ქრომოსომების ნორმალური ნაკრები. განსაზღვრე – 1) რით განსხვავდება სხვა ვარიანტებში (II-VII) წარმოდგენილი ქრომოსომათა ნაკრები ნორმალურისგან? 2) როგორ ფიქრობ, რა შეიძლება იყოს ქრომოსომათა რიცხვის ცვლილების მიზეზი?

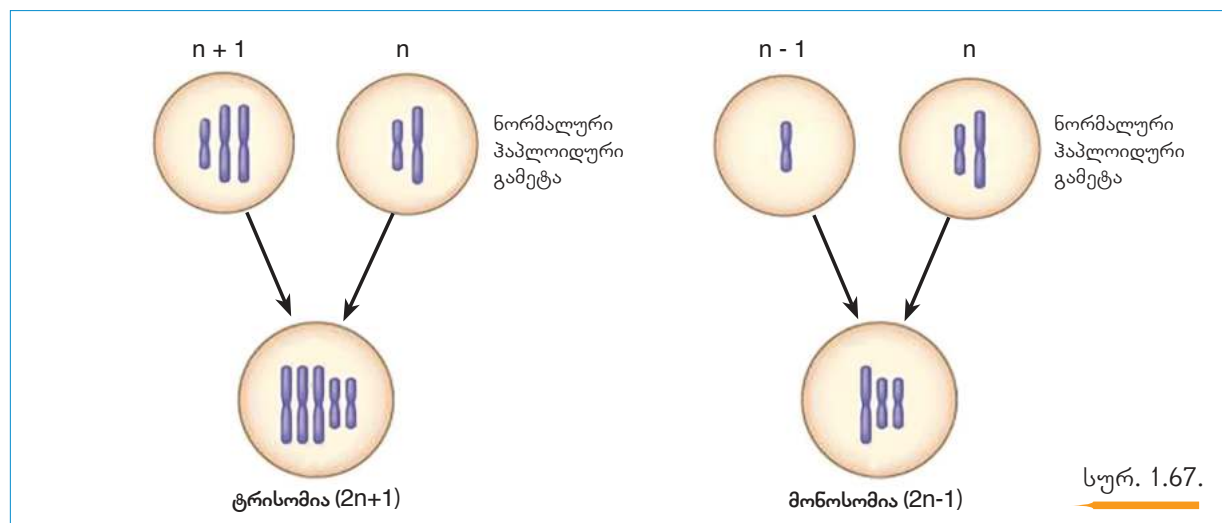
სურ. 1.66.



მუტაციების სახეებია ანეუპლოიდია და პოლიპლოიდია. გენომური მუტაციების გავრცელებული ფორმაა **ანეუპლოიდია**. ანეუპლოიდიის დროს ქრომოსომულ ნაკრებს, ნორმალურთან შედარებით, აკლია ერთი ან მეტი ქრომოსომა, ანდა ერთი ან მეტი ქრომოსომაა დამატებული.

ანეუპლოიდიის მიზეზია მეიოზის პროცესის დარღვევა (სურ. 1.66). ხანდახან პირველი მეიოზის დროს რომელიმე ჰომოლოგიური წყვილის ქრომოსომები არ დასცილდებიან (არ განერიდებიან) ერთმანეთს (ამ შემთხვევაში გამეტების ერთ ნახევარში აღმოჩნდება ერთი ქრომოსომით მეტი – $n+1$, მეორე ნახევარში კი — ერთი ქრომოსომით ნაკლები – $n-1$), ან მეორე მეიოზის პროცესში არ განერიდებიან ერთი ქრომოსომის ქრომატიდები (ამ შემთხვევაში გამეტების $1/4$ -ში აღმოჩნდება ერთი ქრომოსომით მეტი – $n+1$, $1/4$ -ში — ერთი ქრომოსომით ნაკლები – $n-1$, $1/2$ -ში კი – n). თუ განაყოფიერების დროს, ვთქვათ, კვერცხუჯრედი შეხვდა მეორე მშობლის სპერმატოზოიდს ზედმეტი ქრომოსომით, რომელიმე ქრომოსომულ წყვილში დამატებული იქნება ქრომოსომა, მუტაციის ამ სახეს **ტრისომია** ეწოდება ($2n+1$). თუ კვერცხუჯრედი შეხვდა მეორე მშობლის სპერმატოზოიდს ერთით ნაკლები ქრომოსომით, ზიგოტაში აღმოჩნდება ერთი ქრომოსომით ნაკლები ($2n-1$). ე. ი. მიიღება

ბი – $n-1$), ან მეორე მეიოზის პროცესში არ განერიდებიან ერთი ქრომოსომის ქრომატიდები (ამ შემთხვევაში გამეტების $1/4$ -ში აღმოჩნდება ერთი ქრომოსომით მეტი – $n+1$, $1/4$ -ში — ერთი ქრომოსომით ნაკლები – $n-1$, $1/2$ -ში კი – n). თუ განაყოფიერების დროს, ვთქვათ, კვერცხუჯრედი შეხვდა მეორე მშობლის სპერმატოზოიდს ზედმეტი ქრომოსომით, რომელიმე ქრომოსომულ წყვილში დამატებული იქნება ქრომოსომა, მუტაციის ამ სახეს **ტრისომია** ეწოდება ($2n+1$). თუ კვერცხუჯრედი შეხვდა მეორე მშობლის სპერმატოზოიდს ერთით ნაკლები ქრომოსომით, ზიგოტაში აღმოჩნდება ერთი ქრომოსომით ნაკლები ($2n-1$). ე. ი. მიიღება



სურ. 1.67.



სურ. 1.68.



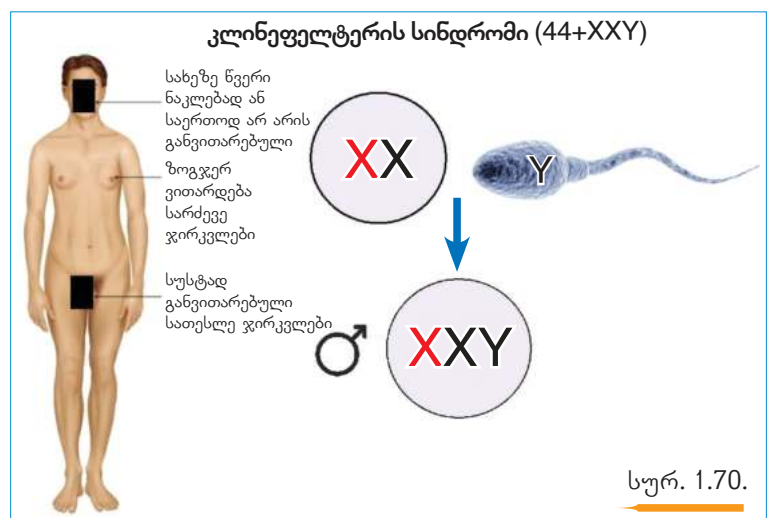
მაიკლ ჯონსონი დაუნის სინდრომის მქონეა. იგი ბავშვობიდან ხატავდა. მაიკლ ჯონსონის ნახატები (მარცხნივ ავტოპორტრეტი)

სურ. 1.69.

მონოსომია (სურ.1.67.).

ქრომოსომების ნორმალური ნაკრებიდან მკვეთრი გადახრა პირველად აღმოაჩინეს **დაუნის სინდრომის*** შემთხვევაში. ამ დროს ადამიანს 46 ქრომოსომის ნაცვლად 47 ქრომოსომა აქვს. ტრისომიით გამოწვეული შედეგები დამოკიდებულია იმაზე, თუ ქრომოსომების რომელ წევრს დაემატება ერთი ქრომოსომა. დაუნის სინდრომი 21-ე ქრომოსომის ტრისომიის შედეგია. ამ სინდრომის სიმპტომებია: დაბალი სიმაღლე, მოკლე ხელ-ფეხი, თვალების დამახასიათებელი ჭრილი, სახის სპეციფიკური გამომეტყველება (სურ. 1.68.). ბავშვები ასეთი სინდრომით საკმაოდ ხშირად იბადებიან — 500-600 ახალშობილზე ერთი. დაუნის სინდრომის მქონე ადამიანებში შეიმჩნევა ინტელექტუალური შეზღუდვა, მაგრამ ეს არანაირად არ ნიშნავს, რომ ამ ადამიანებს არ შეუძლიათ საზოგადოებაში წარმატებით ინტეგრირება (სურ. 1.69.).

მამაკაცებში აღმოჩენილია სასქესო ქრომოსომების ტრისომია — XXY, რაც **კლი-**



ნეფელტერის სინდრომის სახელწოდებითაა ცნობილი (სურ. 1.70.) იგი ასეთი სიხშირით გვხვდება — ერთი 1 000 ახალშობილ ვაჟზე. ასეთ ადამიანებს სუსტად აქვთ განვითარებული მამაკაცის მეორეული სასქესო ნიშნები, სათესლეები, უნაყოფონი არიან, შეიმჩნევა ინტელექტუალური შეზღუდვა, ზოგჯერ უვითარდებათ სარძევე ჯირკვლები. ადამიანებში სხვა სახის ტრისომიები იშვიათად გვხვდება, რადგან ისინი ემბრიონის დაღუპვას ადრეულ ეტაპზე იწვევენ.



3. სურათ 1.66. და 1.67.-ის მიხედვით აღწერე, როგორ წარმოიქმნება – 1) მონოსომია; 2) ტრისომია.
4. ახსენი, როგორ შეიძლება ტრიპლოიდური (3n) და ტეტრაპლოიდური (4n) ქრომოსომული ნაკრების მქონე ინდივიდის მიღება.
5. რა არის ანეუპლოიდია? დაასახელე ანეუპლოიდის სახეები.

მონოსომიის ერთ-ერთი სახეა **შერეშვსკი-ტერნერის სინდრომი** — იგი გამოწვეულია სასქესო ქრომოსომების მონოსომიით ($X0$) (სურ. 1.71.). ეს სინდრომი 5000 ახალშობილი გოგონადან ერთში გვხვდება. მათ არ უვითარდებათ ქალისათვის დამახასიათებელი მეორეული სასქესო ნიშნები, დამახასიათებელია დაბალი ტანი, მოკლე კისერი, კისერზე ფრთისებრი ფორმის კანის ნაოჭები, განიერი გულმკერდის ღრუ, უნაყოფობა, გულსისხლძარღვთა ანომალიები, მხედველობისა და სმენის დაქვეითება, ინტელექტუალური შეზღუდვა.

მონოპლოიდია და პოლიპლოიდია (სურ. 1.66.) გენომური მუტაციების ისეთი სახეებია, როდესაც ქრომოსომების ნაკრების რიცხვი დიპლოიდურისგან ($2n$) ჯერადი რიცხვით განსხვავდება. ეუკარიოტული ორგანიზმების უმრავლესობა დიპლოიდურია, ე. ი. ყოველ სომატურ უჯრედში არის არაჰომოლოგიური ქრომოსომების ორმაგი ნაკრები ($2n$), ერთი ნაკრები ($1n$) – გამეტებში. ამასთან ერთად, არსებობენ ორგანიზმები, რომლებიც ნორმაში მონოპლოიდურნი არიან, ე. ი. მათი სომატური უჯრედები შეიცავენ ქრომოსომების ერთ ნაკრებს (მაგალითად, ხავსების ზრდასრული ფორმა, ზოგიერთი საზოგადოებრივი მწერების მამრები).

პოლიპლოიდების გამეტები კი შეიცავენ ქრომოსომების ერთ მონოპლოიდურ/ჰაპ-

შერეშვსკი-ტერნერის სინდრომი ($44 + X$)



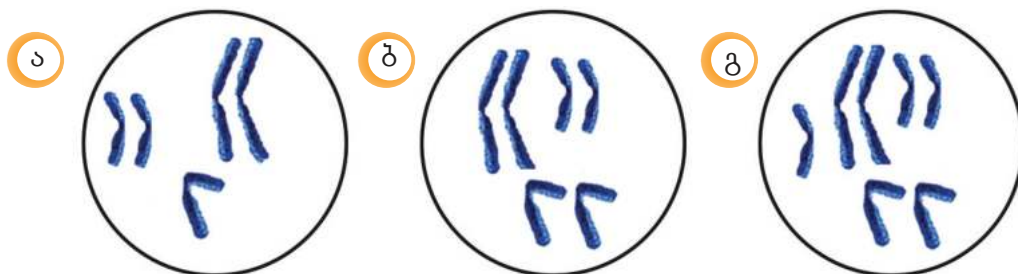
სურ. 1.71.

ლოიდურ ნაკრებზე მეტს. პოლიპლოიდურ ორგანიზმებს აქვთ არაჰომოლოგიური ქრომოსომების ორზე მეტი ნაკრები. უფრო გავრცელებულია ისეთი პოლიპლოიდური ორგანიზმები, რომელთაც ტეტრაპლოიდური ($4n$), ჰექსაპლოიდური ($6n$) და ოქტაპლოიდური ($8n$) ქრომოსომული ნაკრები აქვთ. პოლიპლოიდია დაკავშირებულია მიტოზის ან მეიოზის დარღვევასთან. კერძოდ, მეიოზში არ სცილდებიან ჰომოლოგიური ქრომოსომები და გამეტებში ქრომოსომების რიცხვი იზრდება. დიპლოიდურ ორგანიზმებში ასეთი პროცესის შედეგად შეიძლება წარმოიქმნას დიპლოიდური გამეტები. დიპლოიდური გამეტების შერწყმით მიიღება ტეტრაპლოიდური ($4n$) ქრომოსომული ნაკრები.



6. წარმოიდგინე, რომ შენ შეისწავლი მცირერიცხოვანი ქრომოსომული კომპლექტის მქონე მწერების ერთ-ერთ სახეობას. ერთ-ერთი ინდივიდი, ამავე სახეობის სხვა ინდივიდებთან შედარებით, გარეგნულად მკვეთრად განსხვავდებოდა. მიზეზის გასარკვევად ამ ინდივიდის სხვადასხვა ქსოვილის ნიმუშები აიღე და გამოიკვლიე მიკროსკოპით. ზოგიერთი ქსოვილის უჯრედებში აღმოაჩინე ქრომოსომების რიცხვის ცვლილება, ქსოვილების დიდი ნაწილის უჯრედებში კი – ქრომოსომების ნორმალური რიცხვი.

- 1) სურათებზე რომელი ასოთია აღნიშნული უჯრედი ნორმალური ქრომოსომული რიცხვით?
- 2) გამოსაკვლევი სახეობისთვის კარიოტიპში რამდენი ქრომოსომაა დამახასიათებელი?
- 3) სურათებზე რომელი ასოებით არის აღნიშნული უჯრედები დარღვეული ქრომოსომული რიცხვით? რას უწოდებენ ასეთი ტიპის მუტაციებს?



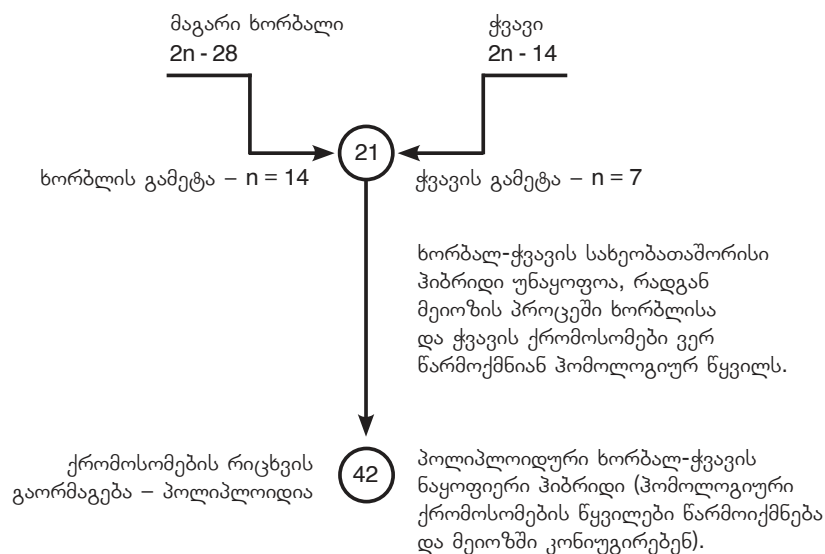
- 4) როგორ ფიქრობ, ორგანიზმის განვითარების რომელ ეტაპზე მოხდა ეს მუტაცია? რომელ პროცესში და ამ პროცესის რომელ ეტაპზე შეიძლებოდა მომხდარიყო შეცდომა?
- 5) როგორ ფიქრობ, ამ ინდივიდში აღმოჩენილი ახალი ნიშან-თვისებები გადაეცემა მის შთამომავლობას? ახსენი შენი პასუხი



პოლიპლოიდია ბუნებრივადაც წარმოიქმნება და შეიძლება მისი ხელოვნურადაც გამოწვევა. პოლიპლოიდიას ხელოვნურად იწვევენ ალკალიოდ კოლხიციხის დახმარებით. მისი 0,01% თრგუნავს გაყოფის თითისტარას. მაგ., თუ ინტერფაზაში დნმ გაორმაგდა და ანაფაზაში ქრომატიდები ნორმალურად დასცილდებიან, მაგრამ ციტოპლაზმა არ გაიყოფა, მაშინ წარმოიქმნება ტეტრაპლოიდური (4n) უჯრედი დიდი ბირთვით. ასეთი უჯრედი შემდეგ იყოფა და წარმოიქმნება ტეტრაპლოიდური შვილეული უჯრედები. ამ უჯრედებში ციტოპლაზმის რაოდენობა იზრდება, რომ შენარჩუნდეს ბირთვულ-ციტოპლაზმური მოცულობის თანაფარდობის მუდმივობა.

მცენარეთა სრულიად ახალი ფორმების მისაღებად ისეთ მცენარეებს აჯვარებენ ერთმანეთთან, რომლებიც სხვადასხვა სახეობასა და გვარსაც კი მიეკუთვნებიან. მაგრამ პირველი თაობის ჰიბრიდები, როგორც წესი, უნაყოფოა, რადგან ქრომოსომების ჰომოლოგიური წყვილები არ წარმოიქმნება და მეიოზში ვერ კონიუგირებენ ქრომოსომები. შორეული ჰიბრიდების პოლიპლოიდიზაცია ალადგენს მეიოზის პროცესს და ნაყოფიერ შთამომავლობას წარმოქმნის.

სახეობათაშორის ჰიბრიდებში უნაყოფობის დაძლევა – პოლიპლოიდია



ბევრი კულტურული მცენარე პოლიპლოიდია, ე.ი. შეიცავს ქრომოსომების ორზე მეტ ჰაპლოიდურ ნაკრებს. პოლიპლოიდებს შორის ბევრი მნიშვნელოვანი სასოფლო-სამეურნეო კულტურაა: ხორბალი, კარტოფილი, ქერი, ჭვავი, წიწიბურა, შაქრის ჭარხალი. რამდენადაც პოლიპლოიდები უფრო გამძლეები არიან არახელსაყრელი ფაქტორების მიმართ და მაღალპროდუქტიულნი, ამიტომ სელექციაში პოლიპლოიდური ჯიშების გამოყვანა გამართლებულია. ბუნებრივი პოლიპლოიდია ცხოველებში იშვიათია. მეცნიერებმა შექმნეს თუთის აბრეშუმხვევიას პოლიპლოიდური ფორმა, რომელიც თავის კარიოტიპში ორი სხვადასხვა სახეობის ქრომოსომებს აერთიანებს.

იმის შემდეგ, რაც დადგინდა, რომ რენტგენისა და ულტრაიისფერი სხივების ზემოქმედებით იზრდება მუტაციური პროცესის ტემპი და იწვევს მთელ რიგ ახალ მუტაციებს, გენეტიკოსები შეუდგნენ **ხელოვნური მუტაციების** მიღების მეთოდების დამუშავებას სელექციაში გამოყენების მიზნით. მუტაციების უმრავლესობა ორგანიზმისათვის საზიანოა. მაგრამ არის ისეთი მუტაციებიც, რომლებიც შეიძლება სელექციონერისათვის საინტერესო იყოს. ეს მეთოდი ფართოდ გამოიყენება მიკროორგანიზმების სელექციაშიც.



რამ შეიძლება გამოიწვიოს მუტაციები?

მუტაციები შეიძლება რამდენიმე ფაქტორით იყოს გამოწვეული. მიუხედავად უჯრედში არსებული დამცავი მექანიზმებისა, შესაძლებელია გენური მუტაცია გამოიწვიოს დნმ-ის რეპლიკაციის დროს მომხდარმა შეცდომამ. დროთა განმავლობაში გროვდება ასეთი ცვლილებები, რომლებიც გავლენას ახდენს უჯრედის ფუნქციონირებაზე. მაგალითად, ბევრი კვლევის შედეგად მეცნიერები გამოთქვამენ მოსაზრებას, რომ მუტაციები არის დაბერების სერიოზული მიზეზი.

მუტაგენი არის გარემოს ფაქტორი/აგენტი, რომელმაც შეიძლება გამოიწვიოს დნმ-ის ცვლილება. ისინი ზრდიან რეპლიკაციის შეცდომების სიხშირეს, ზოგიერთ შემთხვევაში კი დნმ-ის ჯაჭვის განწყვეტასაც კი იწვევენ. თუ ეს შეცდომები გავლენას ახდენს უჯრედის გამრავლების მარეგულირებელ სისტემაზე, შეიძლება მათ ადამიანებში სიმსივნეები გამოიწვიოს.

ზოგიერთი მუტაგენი ბუნებრივად წარმოიქმნება გარემოში, მაგალითად, მზის სხივების ულტრაიისფერი სხივები. ზოგიერთი მუტაგენი კი სამრეწველო ქიმიკატებს წარმოადგენს. ეკოლოგები საზოგადოებას აფრთხილებენ



სურ. 1.72.

მუტაგენების შესახებ. მაგალითად, რეიჩელ კარსონი (სურ.1.72.) ერთ-ერთი პირველი იყო, ვინც ეწინააღმდეგებოდა პესტიციდებისა და სხვა პოტენციური მუტაგენების – შხამქიმიკატების – ფართოდ გამოყენებას.



7. გაეცანი რუბრიკაში – „მეცნიერება პრაქტიკაში“ – მოცემულ ინფორმაციას და უპასუხე კითხვებს:
 - 1) რატომ მიმართავენ ხელოვნურად პოლიპლოიდიის გამოწვევას?
 - 2) პოლიპლოიდურ მცენარეებში შეიმჩნევა თესლების, ნაყოფებისა და ვეგეტატიური ორგანოების ზომაში ზრდა. როგორ ფიქრობ, რატომ უნდა ახასიათებდეს პოლიპლოიდურ მცენარეებს ზომაში ზრდა დიპლოიდურ მცენარეებთან შედარებით?
 - 3) რა არის სახეობათშორისი ჰიბრიდების უნაყოფობის მიზეზი?
 - 4) აღწერე სახეობათშორის ჰიბრიდებში უნაყოფობის დაძლევის მექანიზმი.
8. რა არის მუტაგენი და როგორ ზემოქმედებს იგი დნმ-ზე?
9. რა გავლენას ახდენს გარემოს დაბინძურება ადამიანის ჯანმრთელობაზე?



მოდულების შექმნა

დავალბის პირობა:

შექმენი კომბინაციური და მუტაციური ცვალებადობის (გენური, ქრომოსომული, გენომური) კოგნიტური მოდელები და მოამზადე პოსტერი. პოსტერი წარმოადგინე ფლიპჩარტზე ან ელექტრონული ფორმატით.

შენი ნაშრომის პრეზენტაციისას ხაზგასმით წარმოაჩინე:

- ცვალებადობის რა ფორმებს არჩევენ?
- რა არის მოდიფიკაციური ცვალებადობის მიზეზი და რაში გამოიხატება გარემო პირობებთან მისი ადაპტური მნიშვნელობა?
- როგორ მონაწილეობს მეიოზის პროცესი კომბინაციური ცვალებადობის წარმოქმნაში?
- რა არის გენური მუტაცია და გენური მუტაციის რა ფორმებს არჩევენ?
- რა კავშირია მეიოზის პროცესის დარღვევასა და ქრომოსომულ და გენომურ მუტაციებს შორის?
- მემკვიდრული ცვალებადობის ფორმები როგორ უკავშირდება უჯრედის სტრუქტურულ ელემენტებს?
- რა არის მუტაგენები და რა როლს ასრულებენ ისინი მუტაციის წარმოქმნაში?
- რა მნიშვნელობა აქვს ცვალებადობას ბიომრავალფეროვნების წარმოქმნისთვის?
- მემკვიდრულმა ცვალებადობამ რა ტიპის გენეტიკური დარღვევები და დაავადებები შეიძლება გამოიწვიოს?
- რა მნიშვნელობა აქვს გარემოს დაცვით ღონისძიებებს გენეტიკური დარღვევების პრევენციისთვის?



- მეცნიერული კვლევებით დადგინდა ქრომოსომული და გენომური მუტაციების სხვადასხვა სახე;
- ქრომოსომული მუტაციების დროს იცვლება ქრომოსომის სტრუქტურა, რომელიც შეიძლება დაკავშირებული იყოს კროსინგოვერის პროცესის დარღვევასთან;
- გენომური მუტაციები გამოწვეულია მეიოზის პროცესში ჰომოლოგიური ქრომოსომების ან ქრომატიდების დაცილების დარღვევით;
- ქრომოსომულ და გენომურ მუტაციებს დიდი მნიშვნელობა აქვს ბიომრავალფეროვნებისთვის;
- მემკვიდრული ცვალებადობისა და ნიშან-თვისებათა მემკვიდრეობის კანონზომიერებებს ეყრდნობა თანამედროვე სელექცია;
- მუტაციებმა შეიძლება გამოიწვიოს გენეტიკური დარღვევები და დაავადებები.



რა არის ბიოტექნოლოგია და რა მნიშვნელობა აქვს მას ჩვენს ყოველდღიურებაში?



• **სტრუქტურა და ფუნქცია:** ნივთიერების სტრუქტურა და ფუნქცია – დნმ-ის, გენის, ფერმენტების (რესტრიქტაზები, პოლიმერაზები და ლიგაზები) სტრუქტურა და ფუნქცია.

• **სასიცოცხლო თვისებები:** გამრავლება, რეპლიკაცია.



• ჩვენ ყოველდღე გვაქვს შეხება ბიოტექნოლოგიასთან. მოიყვანე ბიოტექნოლოგიისა და მისი შედეგების მაგალითები;

- რა ფუნქციას ასრულებენ პოლიმერაზები?
- რა ფუნქციას ასრულებენ რესტრიქტაზები?

ბიოტექნოლოგიას უწოდებენ ყველაზე უფრო სრულყოფილ ბიოლოგიურ პროცესებზე დამყარებულ წარმოებას. ამ განსაზღვრებიდან გამომდინარე, შეიძლება იფიქრო, რომ ბიოტექნოლოგია შედარებით ახალი დარგია, მაგრამ სინამდვილეში იგი უძველესი დროიდან არსებობს ადამიანის პრაქტიკულ საქმიანობასთან დაკავშირებით. როგორც ისტორიული ფაქტებიდან ირკვევა, ადამიანი აქტიურად იყენებდა ბიოტექნოლოგიურ პროცესებს ჯერ კიდევ ჩვ.წ. აღრიცხვამდე 2000 წლიდან. ჩვენი წინაპრები პურის, ყველის, მანვნის, ლუდისა და ღვინის დამზადებისას ისე იყენებდნენ მიკროორგანიზმებში მიმდინარე ფერმენტაციის რეაქციებს, რომ მათ არსებობაზე წარმოდგენაც კი არ ჰქონდათ. ათასწლეულების განმავლობაში ადამიანები მიმართავდნენ სელექციურ შეჯვარებას, როგორც ბიოტექნოლოგიურ ხერხს, მოსავლიანობის ასამაღლებლად და ცხოველების ჯიშების გასაუმჯობესებლად.

ბიოტექნოლოგიის სფეროში ახალი ერა დაიწყო მას შემდეგ, რაც შეისწავლეს დნმ-ის სტრუქტურა, მისი რეპლიკაციისა და რეპარაციის, ცილების სინთეზის მექანიზმები; აღმოაჩინეს ფერმენტები პოლიმერაზები, რესტრიქტაზები და ლიგაზები. საფუძველი ჩაეყარა ბიოტექნოლოგიის ახალ დარგებს: გენური ინჟინერია, გენის, უჯრედებისა და ორგანიზმების კლონირება, გენური თერაპია და სხვ. ბიოტექნოლოგია თანამედროვეობის ერთ-ერთ ყველაზე სწრაფად განვითარებად სამეცნიერო სფეროდ იქცა. ამიტომ ზოგიერთმა XXI საუკუნეს „ბიოტექნოლოგიის საუკუნე“ უწოდა. ბიოტექნოლოგიის

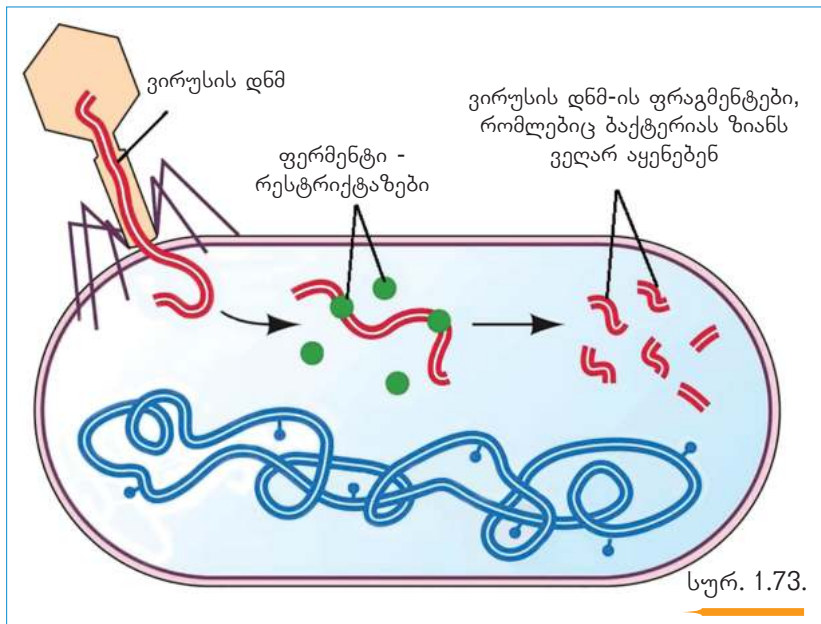
მთავარი მიმართულებებია: 1) სამედიცინო ბიოტექნოლოგია – ბიოლოგიურად აქტიური ნაერთების (ფერმენტების, ვიტამინების, ჰორმონების), სამკურნალო პრეპარატების (ანტიბიოტიკების, ვაქცინების, შრატების, მაღალსპეციფიკური ანტისხეულების და სხვ.), აგრეთვე, ცილების, ამინომჟავების (როგორც საკვები დანამატების სახით გამოყენება) წარმოება; ღეროვანი უჯრედების გამოყენება სხვადასხვა დაავადების სამკურნალოდ, გენეტიკური დაავადების დიაგნოსტიკა, მისი პრევენციული და სამკურნალო ღონისძიებების დაგეგმვა; 2) კვების ტექნოლოგია – ბიოლოგიურ პროცესებზე დამყარებული საკვები პროდუქტების წარმოება; 3) ბიოლოგიური მეოთხედების გამოყენება გარემოს დაბინძურების საწინააღმდეგოდ (ჩამდინარე წყლებისა და დაბინძურებული ნიადაგის ბიოლოგიური გაწმენდა) და მავნებლებისა და დაავადებისგან მცენარეთა დაცვისთვის; 4) ტრანსგენური/გენმოდულირებული ორგანიზმების მიღება – სასარგებლო მიკროორგანიზმების ახალი შტამების, მცენარეთა და ცხოველთა ჯიშების გამოყვანა და სხვ.

წარმოუდგენელია ბიოტექნოლოგიის თანამედროვე მიმართულებებსა (მაგ., ლაბორატორიულ პირობებში ფერმენტაციული პროცესების განხორციელება და ცილების წარმოება, გენური ინჟინერია, გენური თერაპია) და მათ შედეგებზე საუბარი, თუ არ გავიხსენებთ დნმ-ის რეპლიკაცია, ზოგიერთი ფერმენტი (რესტრიქტაზები, პოლიმერაზები, ლიგაზები) და მათი ფუნქციები. მას შემდეგ, რაც მეცნიერებმა დაასკვნეს, რომ დნმ არის გენეტიკური მასალა, შემუშავდა დნმ-ისა და

გენების კვლევის სხვადასხვა სამეცნიერო მეთოდი. როგორც იცი, დნმ არის დიდი მოლეკულა, ხოლო გენი არის დნმ-ის კონკრეტული მონაკვეთი; ერთი დნმ-ის მოლეკულა უამრავ გენს შეიცავს. ამიტომ მეცნიერისთვის რთულია კონკრეტული გენის ნუკლეოტიდური შედგენილობისა და ფუნქციის კვლევა, თუ არ მიიღეს დნმ-ის ფრაგმენტები.

დნმ-ის ფრაგმენტაციისთვის მეცნიერები იყენებენ რესტრიქტაზებს. რესტრიქტაზები ბაქტერიებში წარმოიქმნება. ბაქტერიული უჯრედი ისე, როგორც ნებისმიერი

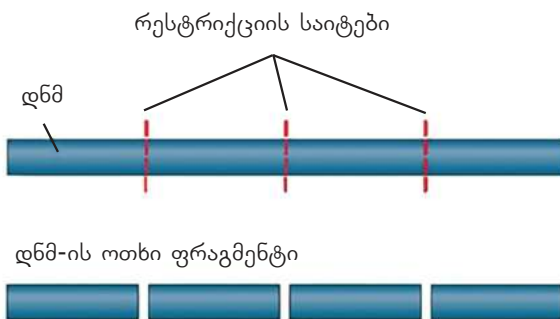
სხვა უჯრედი, შეიძლება დასნებოვნდეს ვირუსით. ბაქტერია გამოიმუშავებს ფერმენტ რესტრიქტაზას, რომელიც ვირუსის დნმ-ს ფრაგმენტებად ჭრის (სურ. 1.73). ვირუსის დნმ-ის ფრაგმენტაცია ზღუდავს ბაქტერიაზე ვირუსის დამაზიანებელ ზემოქმედებას. რესტრიქტაზები მაშინ ჭრიან დნმ-ს ფრაგმენტებად, როდესაც ისინი ამოიცნობენ დნმ-ში შესაბამის ნუკლეოტიდურ თანმიმდევრობას.



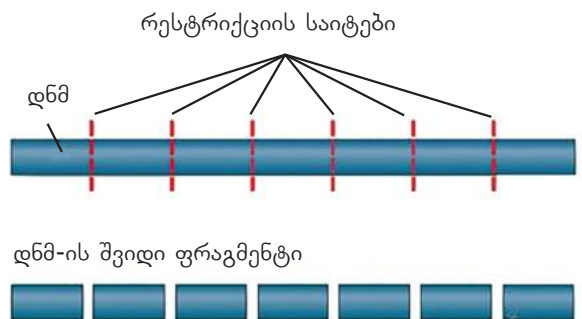
დნმ-ში ნუკლეოტიდურ თანმიმდევრობას, რომელსაც ამოიცნობს რესტრიქტაზა და წყვეტს მათ შორის კავშირს, **რესტრიქციის საიტს** უწოდებენ.

აღმოჩენილი და შესწავლილია ასობით სხვადასხვა სახეობის რესტრიქტაზა. სხვადასხვა რესტრიქტაზა დნმ-ის ერთსა და იმავე მოლეკულას განსხვავებული რაოდენობისა და სიგრძის ფრაგმენტებად ჭრის (სურ. 1.74).

რესტრიქტაზა 1

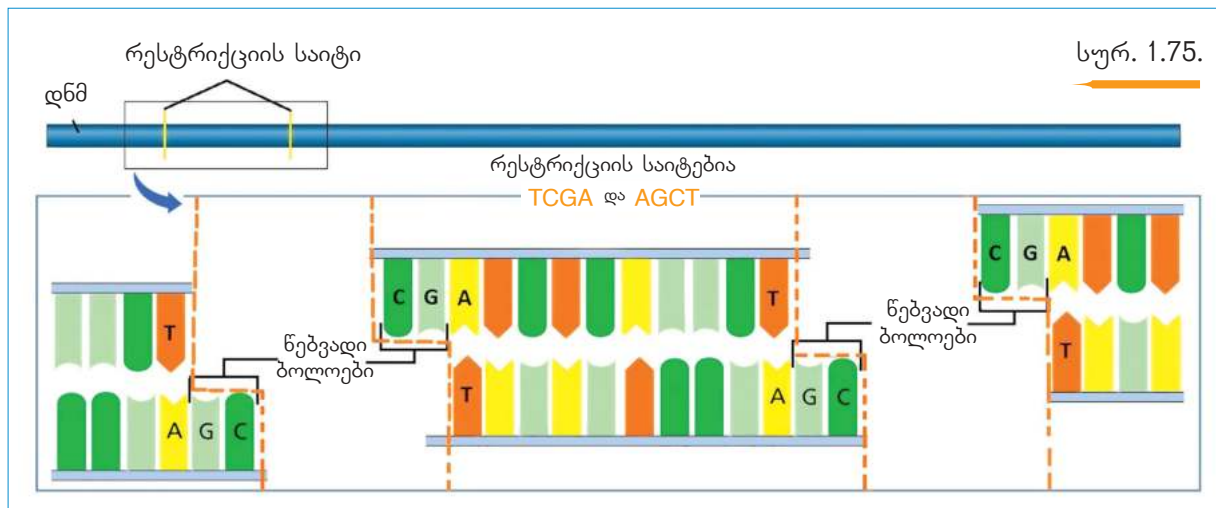


რესტრიქტაზა 2



სურ. 1.74.

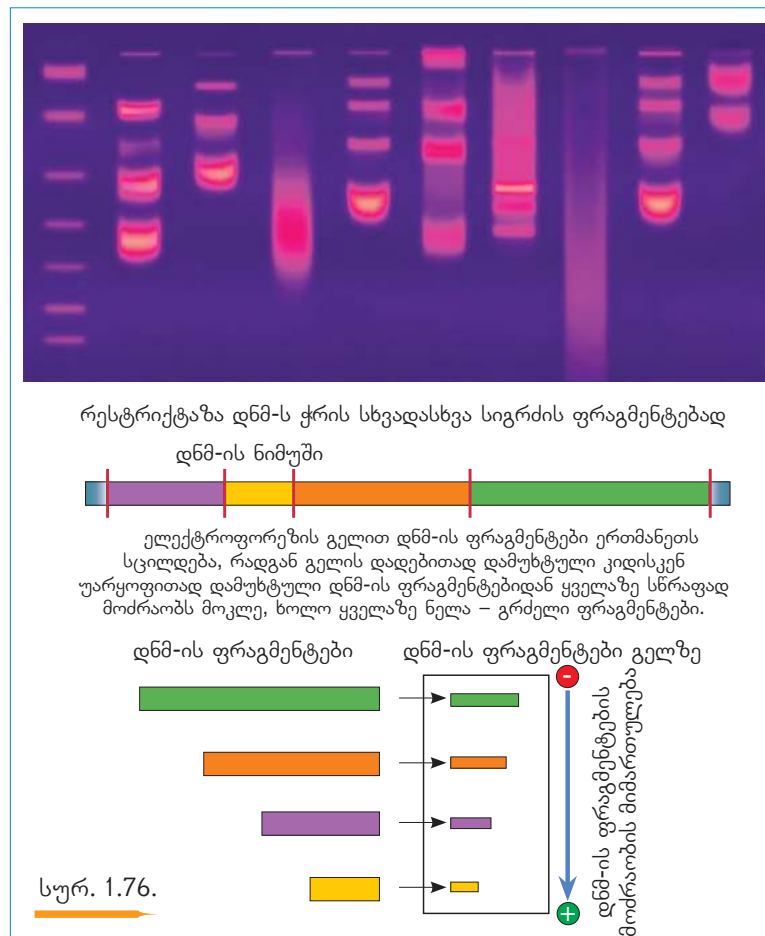
- რა არის ბიოტექნოლოგია და მისი ძირითადი მიმართულებები?
- სურათ 1.74-ზე მოცემული ინფორმაციის მიხედვით უპასუხე კითხვებს: 1) დნმ-ის ფრაგმენტების რიცხვი და სიგრძე ერთნაირია თუ განსხვავებული, როდესაც დნმ-ის ერთი კონკრეტული მოლეკულის ფრაგმენტაციისთვის გამოიყენება სხვადასხვა სახეობის რესტრიქტაზა? 2) დნმ-ის ფრაგმენტების რიცხვი და სიგრძე ერთნაირი იქნება თუ განსხვავებული, როდესაც დნმ-ის სხვადასხვა მოლეკულის ფრაგმენტაციისთვის გამოიყენებენ ერთი და იმავე რესტრიქტაზას? 3) რა განსაზღვრავს, თუ რესტრიქტაზას ზემოქმედებით როგორ დაიჭრება დნმ ფრაგმენტებად?



ზოგიერთი სახის რესტრიქტაზა დნმ-ს ჭრის ყრუ დაბოლოებიან ფრაგმენტებად, ზოგიერთი კი ჭადრაკისებურად ჭრის დნმ-ს (სურ. 1.75) და წარმოქმნის ფრაგმენტებში ნუკლეოტიდებისგან თავისუფალ ბოლოებს, რომელთაც ნებვადი ბოლოები ეწოდება. დნმ-ის ფრაგმენტები ნებვადი ბოლოებით ადვილად უკავშირდებიან დნმ-ის სხვა ფრაგმენტის კომპლექსს.

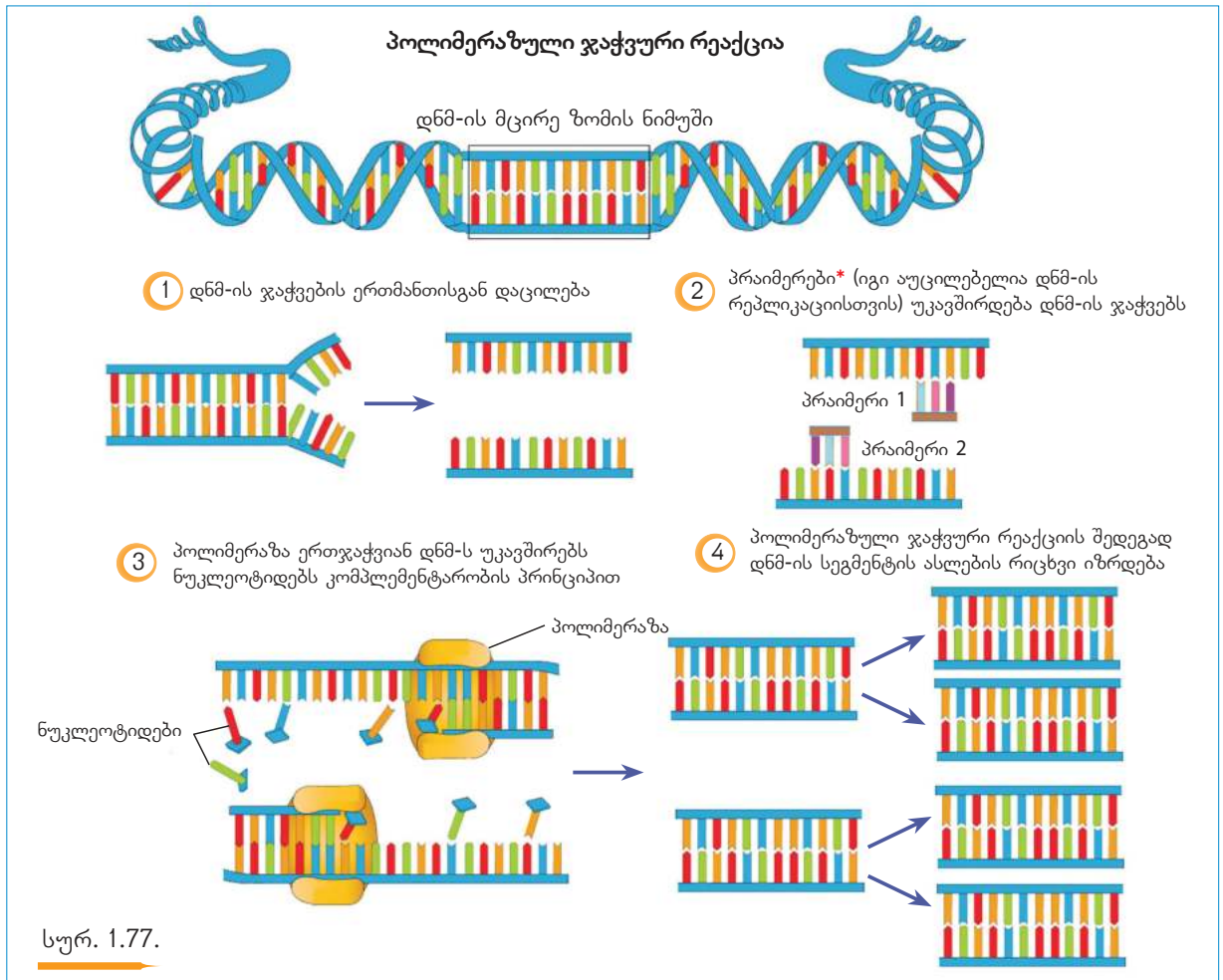
მენტარულ ნებვად ბოლოებს. ამიტომ ისეთ რესტრიქტაზებს, რომლებიც დნმ-ს ჭრიან ნებვად ბოლოებიან ფრაგმენტებად, ფართოდ გამოიყენებენ ბიოტექნოლოგიაში (შემდეგ პარაგრაფებში შეიტყობ).

იმისათვის, რომ დნმ-ის ფრაგმენტი გამოიყენონ სხვადასხვა მიზნით, საჭიროა რესტრიქტაზით დაჭრილი დნმ-ის ფრაგმენტების ერთმანეთისგან დაცილება. ფრაგმენტებს ერთმანეთისგან სხვადასხვა მეთოდით აცილებენ. ერთ-ერთი მეთოდია ელექტროფორეზი გელის საშუალებით (სურ. 1.76). დნმ-ის ფრაგმენტებს მოათავსებენ ჟელეით დაფარულ ფირფიტაზე. ჟელეში გაატარებენ ელექტრულ დენს. ფირფიტის ერთ კიდეში ჟელე უარყოფითად იმუხტება, მეორე კიდეში კი დადებითად. თავად დნმ-ის ფრაგმენტები უარყოფითად არის დამუხტული და ამიტომ ისინი იწყებენ მოძრაობას ჟელეს ფირფიტის დადებითად დამუხტული ბოლოსკენ. ამ მეთოდს იყენებენ სხვადასხვა მიზნით, მაგალითად, დნმ-ის ანაბეჭდების დასამზადებლად, გენური მუტაციების აღმოსაჩენად, გენების თანმიმდევრობის დასადგენად.



ტიკაში სავარაუდო დამნაშავეს იდენტიფიცირებისთვის და სხვა მანიპულაციებისთვის მეცნიერებს სჭირდებათ დნმ-ის ასლები. ამ მიზნით ხშირად მეცნიერები ამზადებენ დნმ-ის მოლეკულის ერთი და იმავე სეგმენტის უამრავ ასლს. ამ პროცესს უზრუნველყოფს

პოლიმერაზული ჯაჭვური რეაქცია, რომელშიც დიდ როლს ასრულებენ დნმ-პოლიმერაზები (სურ. 1.77). პოლიმერაზული ჯაჭვური რეაქცია ძალიან სწრაფად მიმდინარეობს და დროის მცირე მონაკეთში დნმ-ის სეგმენტის უამრავი ასლი წარმოიქმნება.



კალიფორნიის ბიოტექნოლოგიური კომპანიის თანამშრომელმა კარი მალისმა 1983 წელს შეიმუშავა სინჯარაში დნმ-ის სეგმენტების ასლების მიღების მეთოდი, ანუ პოლიმერაზული ჯაჭვური რეაქციის მეთოდი. იგი მიხვდა, რომ თუ დნმ-პოლიმერაზას მოქმედებისთვის საჭირო პირობებს სინჯარაში სწორად შეარჩევდა, უჯრედის გარეთაც შეიძლებოდა დნმ-ის სეგმენტების ასლების მიღება (მან დასაწყისში გამოიყენა ნაწლავის ჩხირის დნმ-პოლიმერაზა). თუმცა უჯრედში, ვიდრე დნმ-პოლიმერაზა დაიწყებს მოქმედებას, დნმ-ის რეპლიკაციაში მონაწილეობს სხვა ფერმენტებიც, მაგალითად, ფერმენტი ჰელიკაზა, რომელიც დნმ-ის ჯაჭვებს ერთმანეთს აცილებს. მალისმა ამ მიზნით გამოიყენა მაღალი ტემპერატურა (80°C), რომელმაც დნმ-ს ჯაჭვები კი დააცილა ერთმანეთს, მაგრამ, ასევე, გამოიწვია ნაწლავის ჩხირის დნმ-პოლიმერაზის დენატურაცია. მეცნიერმა ამ პრობლემის გადასაჭრელად, ნაწლავის ჩხირის დნმ-პოლიმერაზის ნაცვლად, გამოიყენა 80°C -ზე მაღალ ტემპერატურაზე მცხოვრები ბაქტერიების დნმ-პოლიმერაზა. ამრიგად, მან ბიოტექნოლოგიაში წარმატებით გამოიყენა ექსტრემალურ პირობებთან ორგანიზმებში ბუნებრივად გამომუშავებული ადაპტაცია.

პოლიმერაზული ჯაჭვური რეაქციის მეთოდი კარიმ მსოფლიოს წარუდგინა 1985 წელს, რისთვისაც 1993 წელს ნობელის პრემია მიიღო.

ბიოტექნოლოგიის განვითარებამ და ჩვენს ყოველდღიურობაში მისმა მასშტაბურმა შემოჭრამ ბიოეთიკის პრობლემური საკითხებიც წამოჭრა. ბიოეთიკა შეისწავლის მორალურ საკითხებს, რომლებიც აღმოჩნდება ბიოლოგიური კვლევებისა და მათი თანმხლები პროცესების დროს. ბიოტექნოლოგიის განვითარებით გამოწვეულ მრავალ ეთიკურ, საკანონმდებლო და სოციალურ საკითხზე დაობენ საზოგადოების სხვადასხვა ფენის წარმომადგენლები – მეცნიერები, რელიგიის მსახურები, პოლიტიკოსები, კანონმდებლები და რიგითი მოქალაქეები. შენც მოგიწევს

მსჯელობა ბიოტექნოლოგიის ზოგიერთი მიმართულების თანამედროვე მიღწევებისა და სამომავლო განვითარებასთან დაკავშირებულ ბიოეთიკურ საკითხებზე. მაგალითად, ცხოველებზე კვლევების ჩატარების წესებზე. ცხოველთა გამოყენება კვლევებში მკაცრად უნდა კონტროლდებოდეს. ცხოველებზე კვლევის დაწყებამდე მეცნიერები ვალდებული არიან, დაასაბუთონ მათი გამოყენების აუცილებლობა, სწორად შეარჩიონ სათანადო სახეობა და შეიმუშაონ კვლევის ისეთი გეგმა, რომელიც ცხოველების მინიმალური რაოდენობის გამოყენებაზე იქნება გათვლილი.



3. აღწერე, როგორ იყენებენ რესტრიქტაზებს დნმ-ის რესტრიქციული ფრაგმენტებისა და ანაბეჭდების მისაღებად?
4. რა კავშირია რესტრიქციის საიტებსა და დნმ-ის ანაბეჭდებს შორის?
5. რა პრაქტიკული გამოყენება აქვს დნმ-ის ანაბეჭდებს?
6. რა მსგავსება-განსხვავებაა რეპლიკაციასა და პოლიმერაზულ ჯაჭვურ რეაქციას შორის?
7. გაეცანი რუბრიკაში – „მეცნიერება პრაქტიკაში“ – მოცემულ ინფორმაციას და უპასუხე კითხვებს: 1) რატომ გამოიყენა მალისმა მაღალი ტემპერატურა? 2) რატომ ჩაანაცვლა ნაწლავის ჩხირის დნმ-პოლიმერაზა ბუნებრივად მაღალ ტემპერატურაზე მცხოვრები ბაქტერიების დნმ-პოლიმერაზით?
8. მაღალ ტემპერატურაზე დნმ-ის ორი ჯაჭვი ერთმანეთს სცილდება. ახსენი, რატომ? ახსენი, ბევრ ორგანიზმში მაღალ ტემპერატურაზე რატომ ხდება დნმ-პოლიმერაზა არააქტიური?



- მეცნიერული კვლევების შედეგად დადგენილმა ბიოლოგიური სისტემების სტრუქტურისა და ფუნქციების, მათში მიმდინარე ბიოლოგიური პროცესების კანონზომიერებების გააზრებამ ხელი შეუწყო ბიოტექნოლოგიის თანამედროვე მიმდინარეობების განვითარებას;
- ბიოტექნოლოგია ეფუძნება დნმ-ის რეპლიკაციისა და ცილების ბიოსინთეზის მექანიზმებს, რესტრიქტაზებისა და პოლიმერაზების მოქმედების თავისებურებას.

რა არის გენური ინჟინერია და რა პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს მას?



• სტრუქტურა და ფუნქცია:

პლაზმიდების, ფერმენტების (რესტრიქტაზები, პოლიმერაზები და ლიგაზები), რეკომბინანტული დნმ-ის სტრუქტურა და ფუნქცია.

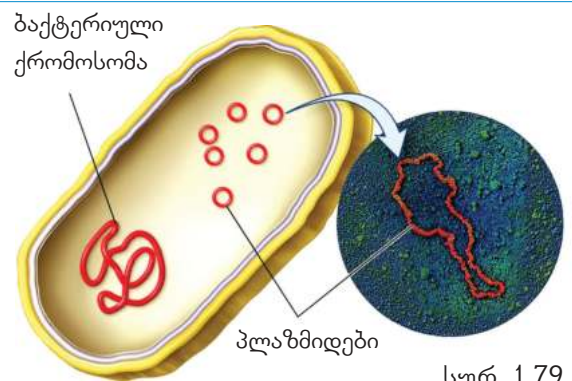
• ბიომრავალფეროვნება: გენმოდულირებული ორგანიზმების გავლენა ბიომრავალფეროვნებაზე.



- როგორ ფიქრობ, რატომ ანათებს ეს თაგვი (სურ. 1.78)? ამ ცხოველის საოცარ მწვანე ნათებას იწვევს ცილა, რომელიც ულტრაიისფერ სხივებზე მწვანედ ანათებს. გენს, რომელიც აკოდირებს მწვანე ლუმინესცენციის* ცილას, შეიცავს მანათობელი მედუზა. მედუზის ამ გენის მატარებელია მანათობელი თაგვიც. როგორ ფიქრობ, რა მანიპულაციების ჩატარება მოუწევდათ მეცნიერებს იმისთვის, რომ მედუზის გენი თაგვის გენომში შეეტანათ? რას უწოდებდი ბიოტექნოლოგიის ამ დარგს?
- გაიხსენე, რა პროცესები უზრუნველყოფს ბაქტერიებში რეკომბინანტული დნმ-ის წარმოქმნას (<https://bit.ly/3wUo9xl>)?
- რაში იყენებენ მეცნიერები რეკომბინანტულ პლაზმიდას?



სურ. 1.78.



სურ. 1.79.

მეცნიერებმა მანათობელი მედუზის გენი გადაიტანეს ვირუსში, რომელიც შემდეგ გამოიყენეს თაგვის კვერცხუჯრედში ამ გენის შესატანად. ამ გზით ეს გენი ჩაერთო თაგვის გენომში და მას შესძინა ლუმინესცენციის ცილის სინთეზის უნარი. მეცნიერები „მანათობელ“ თაგვებს იყენებენ კიბოს კვლევისთვის. 1999 წელს ბრიტანელმა მეცნიერებმა წარმოადგინეს მანათობელი საფუარის უჯრედები, რომლებსაც იყენებენ დაბინძურებული წყლის აღმოსაჩენად. საფუარის უჯრედები მხოლოდ მაშინ ანათებენ, როდესაც გარემოში გარკვეული ქიმიური ნივთიერებები არსებობს. ნათება მიუთითებს, თუ წყალსატევის რომელი უბანია დაბინძურებული.

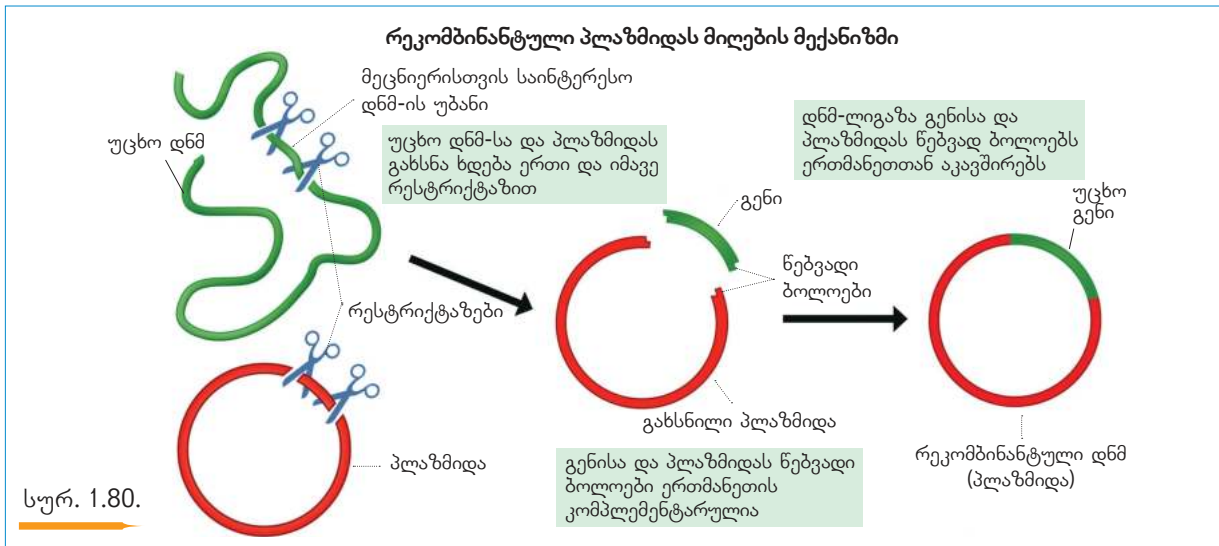
ზემოთ აღწერილი მაგალითები იმაზე მიუთითებს, რომ ორგანიზმებს შეძენილი აქვთ მათთვის უჩვეულო ახალი ნიშან-თვისებები. ეს იმას ნიშნავს, რომ მეცნიერებმა ერთი ორ-

განიზმის გენი ჩართეს მეორე ორგანიზმის გენომში, რის გამოც მათ შეიძინეს ახალი ნიშან-თვისებები. ასეთ ორგანიზმებს **ტრანსგენურს**, ანუ **გენმოდულირებულს** უწოდებენ, ხოლო ბიოტექნოლოგიის ამ დარგს კი **გენური ინჟინერია**. ტრანსგენურ ორგანიზმებს აქვთ სხვა ორგანიზმის ერთი ან რამდენიმე გენი. გენური ინჟინერია შესაძლებელია, რადგან გენეტიკური კოდი საერთოა ყველა ორგანიზმისთვის.

გენური ინჟინერია ემყარება რეკომბინანტული დნმ-ის მიღებისა და მისი გამოყენების ტექნოლოგიას. **რეკომბინანტული დნმ** არის დნმ, რომელიც შეიცავს სხვა ორგანიზმის გენს — მისთვის უცხო გენს. რესტრიქციის ფერმენტები, დნმ-ლიგაზა და პლაზმიდები (სურ. 1.79) — მოლეკულური ბიოლოგიის კომპონენტები — რეკომბინანტული დნმ-ის მიღების ინსტრუმენტებია. გენური ინჟინერიაში ფართოდ სარ-

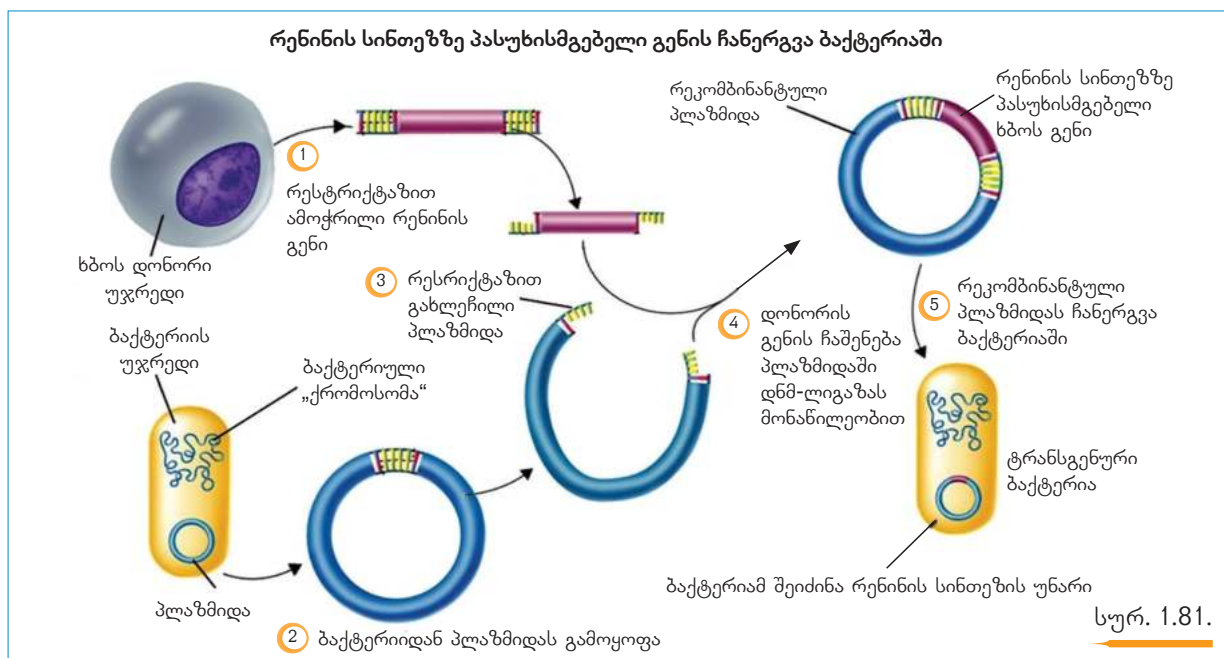
გებლობენ ბაქტერიებით. ერთ-ერთი მიზეზი არის ის, რომ ბაქტერიებს აქვთ მცირე ზომის რგოლური ფორმის დნმ, რომელსაც პლაზმიდას უწოდებენ. როგორც სურათ 1.79-ზე ჩანს, პლაზმიდები გამოყოფილია ბაქტერიული ქრომოსომისგან და უფრედში დამოუკიდებლად განიცდიან რეპლიკაციას. პლაზმიდა

მობილურია და კონიუგაციის დროს შეიძლება ერთი ბაქტერიიდან მეორეში გადავიდეს. ამიტომ პლაზმიდას გენურ ინჟინერიაში იყენებენ ბაქტერიაში უცხო გენის შესაყვანად. ამისთვის კი ჯერ იღებენ რეკომბინანტულ პლაზმიდას, რომლის ხელოვნურად მიღების პროცედურა სურათ 1.80-ზეა ნაჩვენები.



რეკომბინანტული პლაზმიდა შეჰყავთ ბაქტერიაში, შესაბამისად, ბაქტერია შეიძენს ახალ ნიშან-თვისებას. ზოგიერთ შემთხვევაში ტრანსგენური ბაქტერიები გადაიქცევიან პატარა „გენურ ფაბრიკებად“, რომლებიც წარმოქმნიან რეკომბინანტული პლაზმიდებისა და, შესაბამისად, ახალი გენის ბევრ ასლს. ბაქტერიებში ფუნქციონირებენ ეს გენები და

სინთეზირდება ამ გენების შესაბამისი ცილები. მაგალითად, ინსულინის სინთეზზე პასუხისმგებელი ადამიანის გენი შეიძლება ჩართონ პლაზმიდაში, რომელიც შეჰყავთ ბაქტერიაში და ბაქტერიები ასინთეზირებენ ადამიანის ინსულინს, რომელსაც იყენებენ დიაბეტის სამკურნალოდ. ასევე, რეკომბინანტული დნმ-ტექნოლოგიის დანერგვის შე-



დეგია, რომ ბაქტერიებიდან იღებენ რენინს – ყველის წარმოებაში გამოყენებულ ფერმენტს (სურ. 1.81). ამ ტექნოლოგიის განვითარებაში მას ხბოს კუჭიდან გამოყოფდნენ, დღეს კი რენინის მიღება ბაქტერიებიდან იაფი ც ჯდება და მცირე საკიანი ხბოების დაკვლის აუცილებლობაც აღარ არის.

ზოგიერთი ფაგი თავად არის გენური ინჟინერიის „უბადლო ოსტატი“. ფაგმა შეიძლება მიიტაცოს მასპინძელი ბაქტერიის დნმ-ის ფრაგმენტი და წარმოიქმნება ფაგის რეკომბინანტული დნმ. მიიღება რეკომბინანტული დნმ-ის მატარებელი ფაგის ასლები. თუ ეს ფაგები სხვა ბაქტერიაში შეიჭრებიან, მის დნმ-ში ჩააშენებენ საკუთარ, რეკომბინანტულ დნმ-ს. ამგვარად, მოხდება **ტრანსდუქცია**. ტრანსდუქცია არის ფაგის საშუალებით ერთი ბაქ-

ტერიის გენების გადატანა მეორე ბაქტერიის დნმ-ში. მეცნიერები პლაზმიდებსა და ფაგებს იყენებენ „უცხო“ დნმ-ის გადასატანად ერთი ორგანიზმიდან სხვა ორგანიზმში, ამიტომ მათ **ვექტორებს** უწოდებენ.

ლაბორატორიებში მიკროორგანიზმებს წარმატებით იყენებენ ცილების მისაღებად, რადგან კარგადაა შესწავლილი მათ უჯრედებში მიმდინარე ფერმენტაციული პროცესები, მათი მოდიფიცირება შედარებით ადვილია და მოკლე დროში შესაძლებელია დიდი რაოდენობით კულტივირება. ბაქტერიების ბევრი შტამი მონაწილეობს ნარჩენების დაშლაში. გენური ინჟინერიით იღებენ მიკროორგანიზმებს, რომლებიც გარემოში მოხვედრის შემდეგ ნარჩენებს სწრაფად და ეფექტურად შლიან.

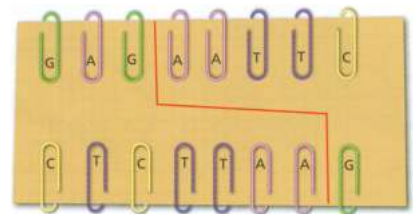


რეკომბინანტული დნმ-ის მოლეკულის მოდელის შექმნა

შენ შექმნი რეკომბინანტული დნმ-მოდელს და შეასრულებ გენური ინჟინერიის ტექნოლოგიის როლს.

საჭირო მასალა: 25 სმ X 6 სმ მუყაოს 2 ნაჭერი, ქაღალდის 80 სამაგრი (ოთხი სხვადასხვა ფერი), 4 ფერის მარკერი, მაკრატელი.

შენიშვნა: თუ სამაგრები არ გაქვს, შეგიძლია გამოიყენო მხოლოდ 4 განსხვავებული ფერის მარკერი მუყაოს ნაჭერზე ნუკლეოტიდების დასახელების დასაწერად.



პროცედურა:

1. ამოირჩიე ქაღალდის ოთხი სხვადასხვა ფერის სამაგრი, რომლებიც ოთხ განსხვავებულ ნუკლეოტიდს წარმოადგენს (A, T, C და G).
2. მუყაოს კიდეზე დაამაგრე ქაღალდის 20 სამაგრი ფერების ნებისმიერი თანმიმდევრობით, როგორც სურათზეა ნაჩვენები. გაითვალისწინე, რომ GAATTC თანმიმდევრობა ორგან უნდა მეორედ მოხდეს (სურათზე მხოლოდ ერთი ასეთი თანმიმდევრობაა წარმოდგენილი). სამაგრებთან შესაბამისი ნუკლეოტიდების სახელები მიაწერე. მუყაოს მეორე კიდეზე ქაღალდის სამაგრები – „ნუკლეოტიდები“, კომპლემენტარობის პრინციპით განალაგე. ჩაიწერე შენი დნმ-ის ფრაგმენტის ნუკლეოტიდური თანმიმდევრობა.
3. მოძებნე პირველი GAATTC უბანი და გახაზე ზიგზაგური ხაზი G-სა და A-ს შორის, როგორც სურათზეა ნაჩვენები. ასევე მოიქეცი მეორე GAATTC უბნისთვისაც.
4. მაკრატლით გაჭერი ორი ზიგზაგური ხაზის გასწვრივ, რათა სამი სეგმენტი მიიღო.
5. 2-4 ეტაპები გაიმეორე მუყაოს მე-2 ნაჭრისთვისაც.
6. პირველ და მეორე მუყაოს ნაჭრების შუა სეგმენტებს ადგილები შეუცვალე. მუყაოს თითოეული ნაჭრისთვის ახალი სეგმენტი ორ „ნებოვან ბოლოებს“ შორის მოათავსე. ჩაიწერე დნმ-ის ნუკლეოტიდების ახალი თანმიმდევრობა.
7. დნმ-ის ახალი ფრაგმენტი შეადარე საწყისი დნმ-ის ფრაგმენტს. ჩაიწერე, რა ტიპის განსხვავება აღმოაჩინე.

უპასუხე კითხვებს:

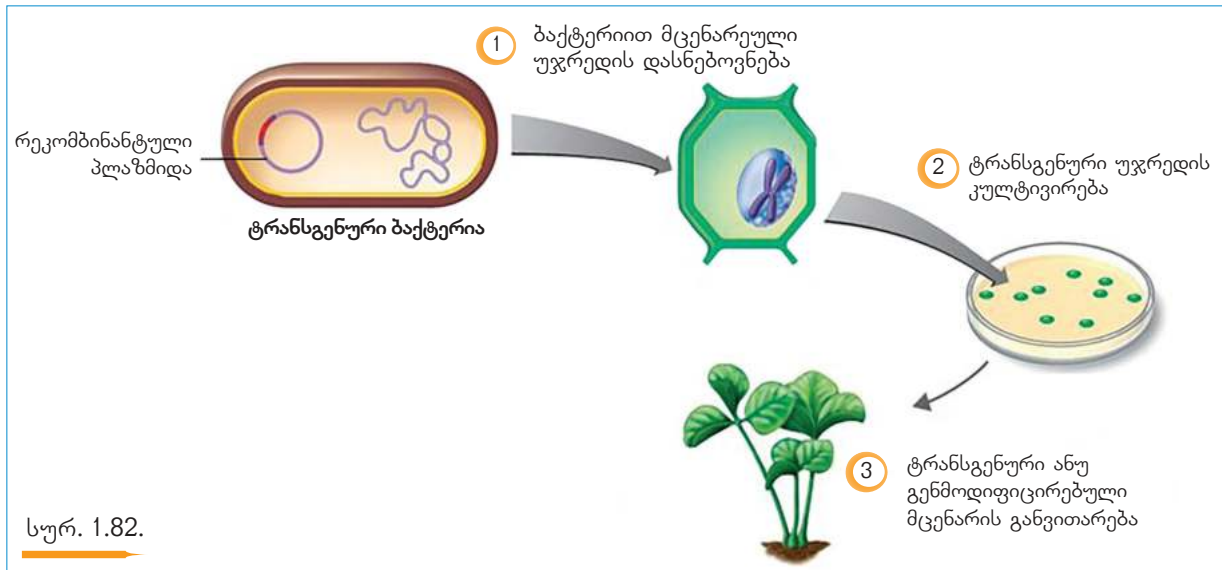
- რას უწოდებ დნმ-ის მოლეკულებს მას შემდეგ, რაც ადგილები შეუცვალე შუა სეგმენტებს? ბიოტექნოლოგიის რომელ დარგში იყენებენ ასეთ დნმ-ს?
- რომელი ფერმენტის როლს ასრულებს მაკრატელი?
- რა ეწოდება GAATTC სეგმენტებს?
- რომელი ფერმენტი მონაწილეობს ნებვადი ბოლოების ერთმანეთთან დაკავშირებაში?



როგორ იყენებენ გენურ ინჟინერიას გენმოდულირებული მცენარეებისა და ცხოველების მისაღებად?

გენური ინჟინერიით, ტრანსგენური/გენმოდულირებული (გმ) მიკროორგანიზმების გარდა, მაღალორგანიზებული გენმოდულირებული ორგანიზმებიც გამოჰყავთ. უკანასკნელი 50 წლის განმავლობაში მსოფლიოს მოსახლეობა, თითქმის, გაორმაგდა მაშინ, როდესაც მიწების სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების ფართობი მხოლოდ 10%-ით

გაიზარდა. როგორაა შესაძლებელი ასეთ პირობებში ამდენი ადამიანის გამოკვება? 1996 წლიდან აქტიურად დაიწეს გმ მცენარეების გამოყვანა და მკვეთრად გაიზარდა ბიოტექნოლოგიური კულტურებით გაშენებული მიწის ფართობები. გმ მცენარეების გამოსაყვანად ვექტორებად იყენებენ ბაქტერიებსა (სურ. 1.82) და ვირუსებს.



გენური ინჟინერიის გზით გამოიყვანეს პომიდვრის, სიმინდის, ხორბლის, კარტოფილის, სოიოს, მარწყვის, ატმისა და სხვა მცენარეთა გმ ჯიშები. გმ ჯიშების გამოყვანის ერთ-ერთი მიზანი არის მოსავლიანობის გაზრდა, გარდა ამისა, ისეთი მცენარის მიღება, რომელიც თვითონ გამოიმუშავებს პესტიციდებს* და ჰერბიციდებს*, მდგრადი იქნება ვირუსებისა და არახელსაყრელი აბიოტური ფაქტორებისადმი (ყინვა, დაბალი ტენიანობა). მაგალითად, გამოიყვანეს კოლორადოს ხოჭოს მიმართ მდგრადი გმ კარტოფილი და პომიდორი. პომიდორი ბიოინჟინერიის ნამდვილი ხელოვნების ნიმუშია. სწრაფად იზრდება, იძლევა უხვ მოსავალს, ნაყოფი იტანს ტრანსპორტირებას და დიდხანს სძლებს მაღაზიის თაროებზე, მდგრადია დაავადებების მიმართ.

მიუხედავად იმისა, რომ გმ მცენარეებმა მსოფლიოს ბევრ ქვეყანაში მოსახლეობა შიმშილს აარიდა, გმ ორგანიზმების მოყვანასა და გმ პროდუქტების წარმოებას ბევრი მო-

წინააღმდეგე ჰყავს. ადამიანთა გარკვეული წრეები შეშფოთებული არიან იმით, რომ გმ პროდუქტებმა ადამიანის ჯანმრთელობას შეიძლება ზიანი მიაყენოს. თუმცა, სანამ არ ჩატარდება ხანგრძლივი კვლევები ადამიანთა ჯანმრთელობაზე გმ საკვები პროდუქტების გავლენის შესასწავლად, დაბეჯითებით ვერაფერს იტყვის, რომ გმ საკვები უსაფრთხოა ან საფრთხის შემცველია. ცხრილში წარმოდგენილია გმ მცენარეებისა და მათი პროდუქტების დადებითი მხარეები და მოსალოდნელი რისკები (ცხრ. 1.3).

გმ მცენარეებთან შედარებით, გმ ცხოველების მიღება რთულია, რადგან ცხოველები უფრო მდგრადები არიან გენეტიკური მანიპულაციებისადმი. ტრანსგენური ცხოველების გამოსაყვანად დასაწყისში გამოყოფენ განაყოფიერებულ კვერცხუჯრედს; შემდეგ უცხო გენს ჩართავენ კვერცხუჯრედის ბირთვში, კვერცხუჯრედს ასტიმულირებენ, იგი რამდენჯერმე იყოფა და მრავალუჯრედიან

ჩანასახს ჩანერგავენ მდედრში; ვითარდება გმ ცხოველი; ამ ცხოველში სინთეზირდება უცხო გენის შესაბამისი ცილა. უცხო გენს შეიცავს გმ ცხოველის ყველა უჯრედი, მათ შორის რეპროდუქციული უჯრედებიც და ამიტომ ტრანსგენური ნიშანი გადაეცემა მის შთამომავლობას. პირველი ტრანსგენური ცხოველი – თაგვი, 1982 წელს მიიღეს. გმ ცხოველებს, განსაკუთრებით კი თაგვებს, ხშირად იყენებენ მოდელურად ადამიანის გენების მოქმედების შესასწავლად და მათში მიმდინარე დაავადებების მიმდინარეობის გამოსაკვლევად (იხ. გვ. 120 — სამედიცინო ბიოტექნოლოგია).

ექსპერიმენტები გმ ორგანიზმების გამოყვანის მიზნით ყოველთვის წარმატებით არ მთავრდება. მაგალითად, მეცნიერებმა ადამიანის ზრდის ჰორმონის გენი გადანერგეს თაგვში, მიიღეს უზარმაზარი თაგვი, მაგრამ, როდესაც იგივე გენი გადანერგეს ღორში, მიიღეს ავადმყოფი, ჯუჯა, ელამი და უნაყო-

ფო ცხოველი. ანალოგიური შემთხვევა იყო ორაგულთან დაკავშირებით. მეცნიერებმა მის დნმ-ში გადანერგეს ზრდის გენი კიტრიდან. ამის შემდეგ ორაგული სწრაფად იზრდებოდა, მაგრამ მისმა ხორცმა მწვანე შეფერილობა მიიღო.

დნმ-ისა და გენების მოქმედების მეცნიერული საფუძვლები ჯერ კიდევ ბოლომდე სრულყოფილად არ არის შესწავლილი. გენების ურთიერთქმედების მრავალი ფორმაა ცნობილი. ორგანიზმის დნმ-ში შეჭრა და მასში უცხო გენის ჩანერგვა წარმოშობს გენთა ურთიერთქმედების ახალ ფორმებსა და მუტაციებს არაპროგნოზირებადი ეფექტებით. სანამ გენებს შორის არსებული ურთიერთდამოკიდებულება სრულყოფილად არ იქნება შესწავლილი და გააზრებული, მანამდე ექსპერიმენტი შეიძლება დასრულდეს ისეთივე წარუმატებელი შედეგებით, როგორიც ავადმყოფი ღორის ან მწვანე ორაგულის შემთხვევები იყო.

ცხრილი 1.3.

გმ ორგანიზმებისა და საკვები პროდუქტების უპირატესობა და შესაძლო პრობლემები

დადებითი მხარე	შესაძლო რისკები
გმ ორგანიზმები მაღალპროდუქტიულები არიან; მათ მოყვანაზე ნაკლები რესურსები იხარჯება, მაგალითად, ამცირებენ პესტიციდებისა და სასუქების მოხმარებას.	შეიძლება გმ მცენარეებმა დამტვერონ ველური მცენარეები და შეიქმნას „სუპერსარეველების“ სახეობები, უარყოფითი გავლენა მოახდინოს ბიომრავალფეროვნებაზე; მაგ., გმ მცენარემ, რომელიც თვითონ წარმოქმნის პესტიციდებს, შეიძლება მცენარეების დამმტვერავი მწერებიც მოკლას (მაგ., ფუტკრები, პუკლები); ტრანსგენური ორგანიზმის პოპულაციის ყველა ინდივიდს აქვს იდენტური გენომი, ამიტომ მეცნიერები შიშობენ, რომ შეიძლება ასეთი პოპულაცია არამდგრადი იყოს ახალი დაავადებებისა და მავნებლების მიმართ.
გმ მცენარეები ადვილად ეგუებიან არახელსაყრელ გარემო პირობებს, ამიტომ შეიძლება გაფართოვდეს მათი გავრცელების არეალი და შეამციროს მოსახლეობის შიმშილის რისკი.	გმ მიკროორგანიზმებმა შეიძლება გამოაღწიოს ლაბორატორიებიდან გარემოში და გამოიწვიოს გაუთვალისწინებელი უარყოფითი შედეგები.
სელექციური შეჯვარებით მიღებულ ჯიშებთან შედარებით, გენური ინჟინერიით მიღებული ორგანიზმების თვისებებისა და მათი გამრავლების შედეგები უფრო პროგნოზირებადია.	„ახალი ჯიშები“ / გმ მცენარეები შეიძლება დააპატენტოს კომპანიამ, რომელმაც დიდი ფული დახარჯა ასეთი ორგანიზმის მისაღებად და უარი თქვას თავისი მიღწევების გაზიარებაზე; ეს კი ამ კომპანიას აქცევს ძლევამოსილად.
გმ საკვები პროდუქტების მოხმარება შეიძლება უფრო მოსახერხებელი და სასარგებლო იყოს. მაგ., კარტოფილი, რომელიც ნაკლებ ცხიმს შეიწოვს შეწვის დროს, გმ მცენარე შეიძლება შეიცავდეს სამკურნალო პროდუქტებს, ვაქცინებს.	გმ საკვებმა პროდუქტმა შეიძლება გამოიწვიოს ალერგია; შესაძლებელია გმ ხილი ან ბოსტნეული გარეგნულად კარგად გამოიყურებოდეს, მაგრამ სინამდვილეში შეიძლება დიდი ხნის მოკრეფილი იყოს და მასში ცოტა სასარგებლო ნივთიერება იყოს დარჩენილი.



1. გენური ინჟინერიის ტექნოლოგს რატომ ადარებენ ფილმის რედაქტორს, რომელიც ჭრის კინოფირს და ანებებს კინოფირის ფრაგმენტებს, რომ მიიღოს სასურველი შინაარსის ფილმი?
2. რა არის რეკომბინანტული დნმ? რომელი ფერმენტები მონაწილეობენ მის მიღებაში?
3. რატომ არის მნიშვნელოვანი დნმ-ის ნებვადი ბოლოები რეკომბინანტული დნმ-ის მისაღებად?



4. რატომ იყენებენ მეცნიერები სხვადასხვა რესტრიქტაზას, როდესაც სურთ დნმ-დან სხვადასხვა გენის ამოჭრა?
5. რატომ იყენებენ მეცნიერები ერთსა და იმავე რესტრიქტაზას პლაზმიდის გასახსნელად და დონორის დნმ-დან გენის ამოსაჭრელად?
6. სახელმძღვანელოს ტექსტიდან, სურათებიდან და ანიმაციური ფილმიდან („გენური ინჟინერია“ – <https://bit.ly/3JGwtZR>) მიღებული ინფორმაციის საფუძველზე უპასუხე კითხვებს: 1) რა არის გენური ინჟინერია? 2) რა როლს ასრულებს რეკომბინანტული დნმ გენურ ინჟინერიაში? 3) რა ასრულებს ვექტორების როლს? 4) რას ნიშნავს ტრანსგენური, ანუ გენმოდულირებული ორგანიზმი (გმო)? 5) რა პრაქტიკული გამოყენება აქვს გმო-ს?
7. სამრეწველო წარმოებისთვის ადამიანის X-ჰორმონის გენი ჩანერგეს პლაზმიდაში და ბაქტერიებმა დაიწყეს X-ჰორმონის სინთეზი. ამ პროცესის ეტაპები არათანმიმდევრულად წარმოდგენილია ცხრილში. ცხრილში წარმოდგენილი ეტაპები დანომრე ისე, რომ სწორად აღწერდეს ამ პროცესის თანმიმდევრობას.

პროცესის ეტაპები	ეტაპის ნომერი
ბაქტერიის პლაზმიდას გახლეჩა რესტრიქტაზით	×
ადამიანის დნმ-ის გახსნა რესტრიქტაზით	×
ადამიანის გენის იდენტიფიკაცია, რომელიც X-ჰორმონს აკოდირებს	1
რეკომბინანტული პლაზმიდას (რომელშიც ადამიანის გენია ჩაშენებული) მრავალი ასლის წარმოქმნა ბაქტერიის უჯრედში	×
ადამიანის X-ჰორმონის გენის ჩაშენება პლაზმიდაში	×
გენმოდულირებული ბაქტერიებიდან ლაბორატორიულ პირობებში იღებენ ადამიანის X-ჰორმონს	×
რეკომბინანტული პლაზმიდა, როგორც ვექტორი, შეჰყავთ ბაქტერიაში	×
მიიღება ტრანსგენური/გენმოდულირებული ბაქტერია	×

8. მრავალი ექსპერტი თვლის, რომ გმ საკვები უსაფრთხოა, თუმცა საზოგადოების ნაწილს უარყოფითი აზრი აქვს როგორც გმ პროდუქტებზე, ისე გმ ორგანიზმების გამოყვანასა და მათ გამრავლებაზე. გაეცანი პარაგრაფის ტექსტსა და ცხრილში (ცხრ. 1.3) მოცემულ ინფორმაციას და იმსჯელე ჯგუფში:
 - რა ტიპის ეკოლოგიური პრობლემები შეიძლება შექმნან გმ ორგანიზმებმა ბუნებაში?
 - გმ საკვებმა პროდუქტებმა ჯანმრთელობის რა სახის პრობლემა შეიძლება შეუქმნას ადამიანს?
 - უნდა გაგრძელდეს თუ არა გმ ორგანიზმების გამოყვანა? არგუმენტირებული მსჯელობით დაასაბუთე შენი მოსაზრება;
 - საჭიროა თუ არა პროდუქტის ეტიკეტზე იმის მითითება, პროდუქტი გენმოდულირებულია თუ არა?
 - ჩამოწერე ყველა ის კითხვა, რომელზეც პასუხი გაინტერესებს იქამდე, სანამ გადაწყვეტ გმ პროდუქტის საკვებად მოხმარებას.



- გენური ინჟინერიის შედეგად ორგანიზმის გენომში ჩართავენ უცხო გენს და ახალი ნიშან-თვისებების ორგანიზმი მიიღება; მას გენმოდულირებულ ორგანიზმს (გმო) უწოდებენ;
- გენური ინჟინერია ემყარება რეკომბინანტული დნმ-ის მიღებისა და მისი გამოყენების ტექნოლოგიას;
- ვექტორი არის სტრუქტურა, რომელსაც ერთი ორგანიზმის გენი შეაქვს მეორეში;
- ვექტორის როლს ასრულებს პლაზმიდები და ვირუსები;
- გენურ ინჟინერიას აქვს როგორც დადებითი შედეგები, ისე შეიცავს რისკებსაც;
- გმ ორგანიზმებმა შეიძლება შექმნან ეკოლოგიური პრობლემები.

➡ რა არის კლონი და რას ნიშნავს კლონირება?



- **სასიცოცხლო თვისებები:** კლონირება და მასში მონაწილე პროცესები – რეპლიკაცია, მიტოზი, უსქესო გამრავლება, კულტივირება.
- **სტრუქტურა და ფუნქცია:** კლონის – გენეტიკურად იდენტური ორგანიზმის, უჯრედის, დნმ-ისა და გენის ასლების – სტრუქტურა და ფუნქცია.
- **ბიომრავალფეროვნება:** კლონირების გავლენა ბიომრავალფეროვნებაზე.



- რას ნიშნავს იდენტური ტყუპი (სურ. 1.83)?
- ნაცნობებში გყავს იდენტური ტყუპები? თუ კი, რა შეგიძლია თქვა მათ შესახებ? არიან თუ არა ზუსტად ერთნაირი თვისებების მატარებელი?



სურ. 1.83.

კლონი არის გენის, უჯრედის, ორგანიზმის გენეტიკურად იდენტური ასლი, ხოლო გენეტიკურად იდენტური რამდენიმე ასლის მიღების პროცესს კი **კლონირება** ეწოდება. ეს პროცესი საკმაოდ გავრცელებულია ბუნებაში. ბევრი მცენარე თვითონ ანარმოებს თავისი თავის კლონებს. მაგალითად, ზოგიერთი მცენარე ფესვის ამონაყრით ივითარებს თავის კლონებს; ბაქტერიები ბინარული გაყოფით წარმოქმნიან იდენტურ უჯრედებს; უჯრედის მიტოზური გაყოფით ერთმანეთისა და მშობლიური უჯრედის გენეტიკურად იდენტური უჯრედები – კლონები – წარმოიქმნება; იდენტური ტყუპი ერთმანეთის კლონები არიან. ადამიანი საუკუნეების განმავლობაში ქმნის მცენარეთა კლონებს. კლონირების პროცესი მცენარეებში მარტივად მიმდინა-

რობს, რადგან მცენარის ქსოვილები შეიცავენ ღეროვან უჯრედებს; მათგან სხვადასხვა ტიპის უჯრედი ვითარდება. ზოგიერთ მარტივ ცხოველს, მაგალითად, ზღვის ვარსკვლავს, რეგენერაციის საშუალებით შეუძლია თავისი თავის კლონების შექმნა. ცხოველების უმრავლესობას კი თვითკლონირება არ შეუძლია. ყველა ზემოთ განხილული მაგალითი უსქესო გამრავლების შედეგია. ამრიგად, უსქესო გამრავლება ორგანიზმთა კლონირების ბიოლოგიური საფუძველია და თავად ბუნება იძლევა მის უამრავ მაგალითს. ადამიანი უსქესო გამრავლებას ხშირად იყენებს მცენარეებში სასურველი ნიშან-თვისებების შენარჩუნების მიზნით. ხელოვნურ კლონირებას ცხოველების მიმართაც იყენებენ, მაგრამ ამისთვის სპეციალური მეთოდები შეიმუშავეს, რადგან



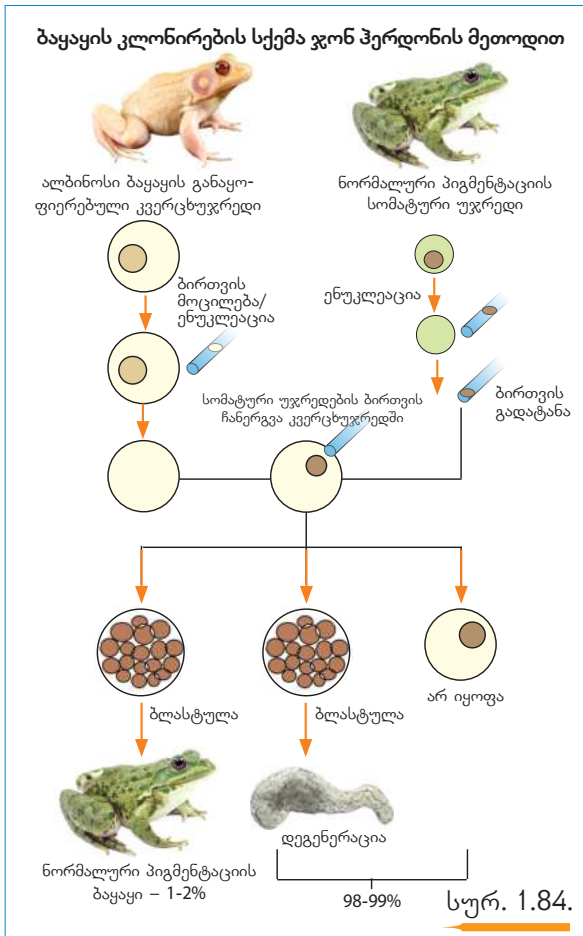
1. ბუნება კლონირების რა მაგალითებს გვთავაზობს?
2. უსქესო გამრავლებით მიღებული შთამომავლობა რატომ ითვლება მშობლისა და ერთმანეთის კლონებად?
3. რატომაა ადვილი მცენარეების კლონირება?
4. რატომაა მაღალგანვითარებული ცხოველების კლონირება რთული?
5. ძუძუმწოვრების კლონირება რატომაა უფრო რთული, ვიდრე თევზებისა და ამფიბიების?
6. რა მიზნით მიმართავენ ადამიანები კლონირებას?
7. როგორ ფიქრობ, კლონი ფენოტიპურად გამოვლენილი ნიშნებითაც იქნება დონორი ორგანიზმის იდენტური? რატომ ფიქრობ ასე?

მაღალორგანიზებული ცხოველების კლონირება რთული პროცესია და იგი ხშირად მარცხით მთავრდება (სურ. 1. 84).

განსაკუთრებით რთულია ძუძუმწოვრების კლონირება. 1996 წელს შოტლანდიაში ძუძუმწოვრის კლონირება პირველად დამთავრდა წარმატებით 236-ე მცდელობაზე და დაიბადა ცხვრის კლონი, რომელსაც დოლი უწოდეს (სურათ 1.85-ზე დოლი და იან ვილმუტი, ვისი მეთოდითაც მიიღეს დოლი).

მეცნიერებს უფრო მეტად აინტერესებთ იმ ცხოველთა კლონების მიღება, რომელთაც აქვთ ადამიანისთვის საინტერესო ნიშან-თვისებები და პრაქტიკული მნიშვნელობა, მაგალითად, ძროხა რეკორდული წველადობით, ცხვარი მატყლის დიდი ნაკრეჭით და სხვ. ძუძუმწოვრები და სხვა მაღალორგანიზებული ცხოველები ბუნებრივად მხოლოდ სქესობრივად მრავლდებიან და ამიტომ ისინი შთამომავლობას ზუსტად ვერ გადასცემენ თავიანთ ნიშან-თვისებებს, კლონირებით კი ეს შესაძლებელია.

მეცნიერებმა ცხოველების, მათ შორის ძუძუმწოვრების, კლონირების სხვადასხვა მეთოდი შეიმუშავეს (სურ. 1.86). მაგალითად, ძუძუმწოვრების კლონირებისას, პირველ რიგში, ცხოველისგან იღებენ გაუნაყოფიერებელ კვერცხუჯრედს და მისგან ამოიღებენ ბირთვს (ენუკლეაცია), შემდეგ მასში ჩანერგავენ ადამიანისთვის საინტერესო ნიშან-თვისებების მქონე ცხოველის სომატური უჯრედის ბირთვს. კვერცხუჯრედი სტიმულირდება და თუ წარმატებით წარიმართა პროცესი, იგი დაყოფას იწყებს, შემდეგ მრავალუჯრედიან ემბრიონს გადანერგავენ სუროგატი დედის საშვილოსნოში (ი. ვილმუტის მეთოდი). კლონირების ერთ-ერთი მეთოდია ემბრიონული კლონირება: 1) ემბრიონული ლეროვანი



უჯრედების ბირთვებს გადანერგავენ ენუკლეაციურ კვერცხუჯრედებში, შემდეგ ასტიმულირებენ და მრავალუჯრედიანი ემბრიონი გადააქვთ სუროგატი დედების საშვილოსნოში;

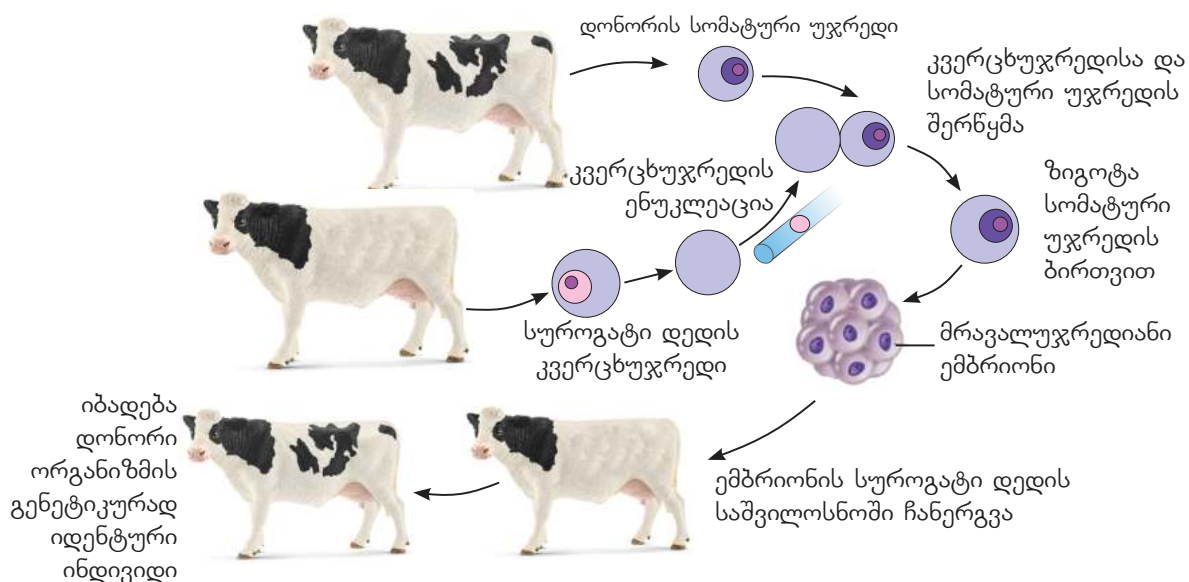


8. უყურე ანიმაციურ ფილმს „დოლის კლონირება“ (<https://bit.ly/3DGHTcc>) და ქვემოთ მოცემული წინადადებები ისე დაალაგე, რომ სწორად აღწერდეს დოლის კლონირების პროცესის ეტაპების თანამიმდევრობას.

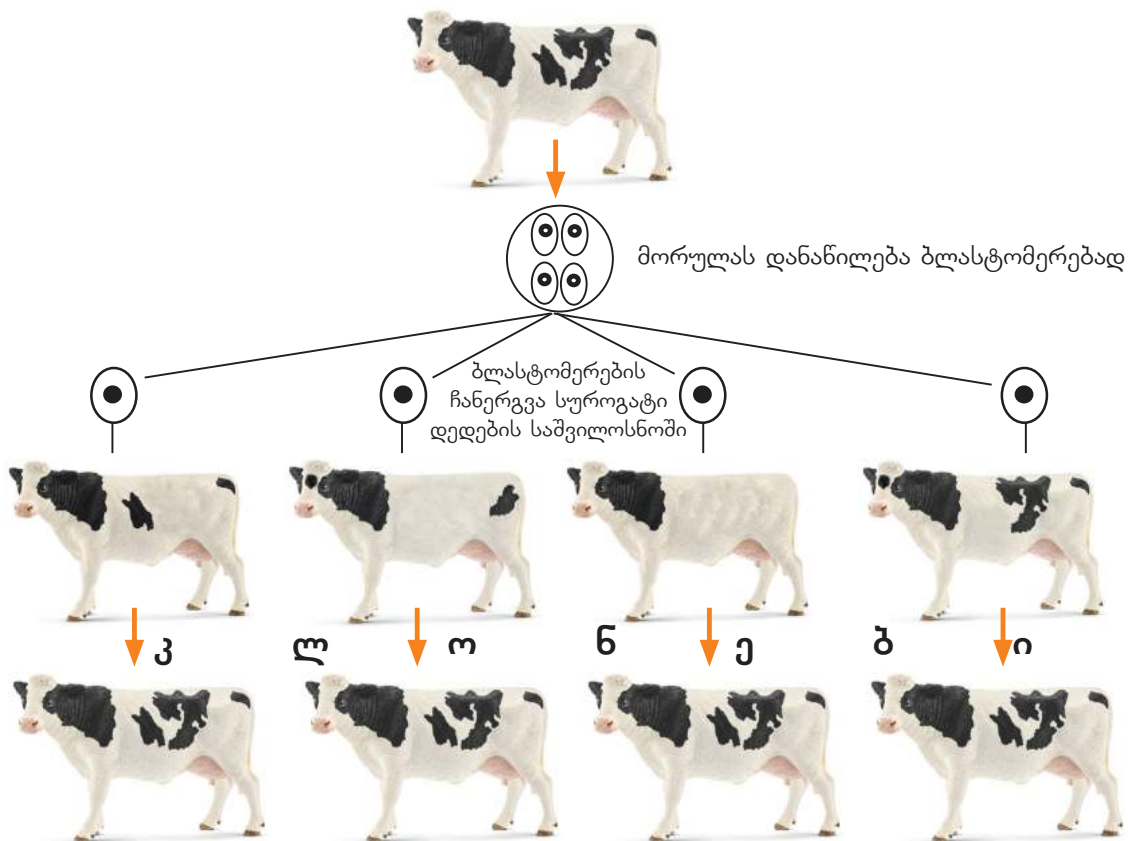
1. კვერცხუჯრედის აქტივაცია და რეციპიენტი ცხვრის საშვილოსნოში ჩანერგვა;
2. დონორი ფინური დორსეტის ჯიშის ცხვრის სარძევე ჯირკვლის დიპლოიდური უჯრედების გამოყოფა;
3. კვერცხუჯრედის ენუკლეაციის ოპერაცია;
4. დაიბადა დოლი, რომელიც დონორი ცხვრის გენეტიკური ინფორმაციის მატარებელია;
5. კვერცხუჯრედის გამოყოფა შავცხვირპირიანი შოტლანდიური ჯიშის ცხვრისგან;
6. დონორის დიპლოიდური უჯრედის შერწყმა ენუკლეირებულ (უბირთვო) კვერცხუჯრედთან.

ძუძუმწოვარა ცხოველების კლონირების მეთოდები

I. კვერცხუჯრედის ენუკლეაცია და მასში დონორის სომატური უჯრედის ბირთვის ჩანერგვა



II. ჩანასახის განვითარების ადრეულ ეტაპზე პლასტომერებად დანაწილება



სურ. 1.86.

2) ჩანასახის განვითარების ადრეულ ეტაპზე ანაწილებენ ბლასტომერებად, რომლებიც შემდეგ გადააქვთ სუროგატი დედების საშვილოსნოში.

დოლის წარმატებულმა კლონირებამ ბიძგი მისცა ძროხების, ღორებისა და თავგების კლონირებას. ერთ-ერთმა ბიოტექნოლოგიურმა კომპანიამ კატებისა და ძაღლების კლონირებაც შესთავაზა ადამიანებს. ერთ-ერთი პირველი იყო კატის კლონი სახელად „სისი“ (სურ. 1.87 – მარცხნივ ორიგინალი კატა, მარჯვნივ კი მისი კლონი). მაგრამ ადამიანს, რომელიც ფუმფულა მეგობრის ზუსტ ასლს ელოდა, შეიძლება იმედი გაუცრუვდეს. კლონი შეიძლება გარეგნულად ისე არ გამოიყურებოდეს, ან არ ავლენდეს ისეთ ქცევებს, როგორც ორიგინალი ცხოველი. რატომ? იმიტომ, რომ როგორც უკვე ისწავლე, გენის ექსპრესიაზე გარემოს უამრავი ფაქტორი ზემოქმედებს, ფაქტორები კი შეიძლება განსხვავებული იყოს კლონისა და ორიგინალი ორგანიზმისთვის.

კლონირება იძლევა ფართო შესაძლებლობებს. მაგალითად, მეცნიერები მუშაობენ იმაზე, თუ როგორ გამოიყენონ ცხოველების კლონები ადამიანებისთვის ორგანოების გადასანერგად. კლონირების ამ მიზნით გამოყენებამ ყოველდღიურად შეიძლება გადაარჩინოს უამრავი ადამიანის სიცოცხლე. კლონირებამ, ასევე, შეიძლება გადაარჩინოს გადაშენების პირას მყოფი სახეობა. შესაძ-

სურ. 1.87.



ლებელია ასეთი სახეობებისგან უჯრედების აღება და კლონირებისთვის გამოყენება, შედეგად, გაიზრდება სახეობის პოპულაციაში ინდივიდების რიცხვი.

თუმცა ბიოტექნოლოგიის ეს დარგი – კლონირება – საზოგადოებაში კამათსაც იწვევს. ზოგიერთი ფიქრობს, რომ კლონის სიცოცხლისუნარიანობა დაბალია და ინვესს ნაადრევ დაბერებას. ამის ფაქტად მოჰყავთ დოლი, რომელიც ახალგაზრდა მოკვდა. მაგრამ გაირკვა, რომ დოლი მოკვდა ვირუსული კიბოთი, რომელიც გავრცელებული იყო მის ფარაში. რამდენადაც კლონირება ბოლო წლებში საკმაოდ განვითარდა, ეკოლოგიური პრობლემებიც გაჩნდა. ველურ პოპულაციაში ცხოველების კლონირება შეამცირებს ბიომრავალფეროვნებას, რადგან კლონები გენეტიკურად იდენტურია.

9. როგორ ფიქრობ, კარგი იდეაა გადაშენებული სახეობების კლონირება? რა გავლენა შეიძლება მოახდინოს ამან ბიომრავალფეროვნებასა და ეკოსისტემაზე?
10. თუ შესაძლებლობა გექნებოდა, მოისურვებდი შენი შინაური ცხოველის – კატის, ძაღლის – კლონის შექმნას? რამდენად ეთიკური იქნება შინაური ცხოველების კლონირება ადამიანის სიამოვნებისთვის ან მკვდარი ცხოველის გენეტიკურად იდენტური კლონის მისაღებად? ახსენი შენი პასუხი იმ ცოდნის საფუძველზე, რომელიც გაქვს გენეტიკის, ბიოტექნოლოგიისა და კლონირების სფეროში, ასევე, გაიხსენე შეძენილი რეფლექსების წარმოქმნის მექანიზმი და მათი მნიშვნელობა.
11. კრიტიკულად გააანალიზე კლონირების დადებითი და უარყოფითი შედეგები.

- კლონი არის გენეტიკურად იდენტური გენი, უჯრედი ან ორგანიზმი;
- კლონირება არის პროცესი, რომლის შედეგადაც მიიღება გენეტიკურად იდენტური გენი, უჯრედი ან ორგანიზმი;
- ბუნება თავად იძლევა კლონირების უამრავ მაგალითს უსქესო გამრავლების საფუძველზე;
- კლონი შეიძლება ფენოტიპური ნიშნებითა და თვისებებით არ იყოს ორიგინალი ორგანიზმის იდენტური;
- კლონირების განვითარებას აქვს როგორც დადებითი შედეგები, ისე უარყოფითი და წარმოქმნის ბევრ საკამათო ეთიკურ საკითხს.



კვლევის რა თანამედროვე მეთოდებს იყენებენ ადამიანის გენეტიკის შესასწავლად?



სასიცოცხლო თვისებები:

მემკვიდრეობითობა – ნიშან-თვისებების მემკვიდრეობა ადამიანში.

- **ჯანმრთელობა და დაავადება:** გენეტიკური დაავადებები ადამიანში – დაავადების სიმპტომები, დიაგნოსტიკა, გამომწვევი მიზეზები; მემკვიდრული დაავადებების კვლევის თანამედროვე მეთოდები.



- გენეტიკური კვლევის რა მეთოდებს იყენებდნენ მენდელი და მორგანი?
- შეიძლება იმავე მეთოდების გამოყენება ადამიანის გენეტიკის კვლევისთვის? რატომ?

ადამიანის გენეტიკურ კვლევას დიდი მნიშვნელობა აქვს როგორც ბიოლოგიური, ისე მედიცინის თვალსაზრისით. ბიოლოგიური თვალსაზრისით საინტერესოა დედამიწაზე ყველაზე განვითარებულ ორგანიზმში – ადამიანში – მემკვიდრეობისა და ცვალებადობის კანონზომიერებების შესწავლა, ხოლო მედიცინის თვალსაზრისით – ადამიანში მემკვიდრული დაავადებების დიაგნოსტიკისა და მკურნალობისათვის.

მენდელისა და მორგანის მიერ ბარდასა და დროზოფილაზე ჩატარებული გენეტიკური კვლევებით დადგინდა ძირითადი გენეტი-

კური კანონზომიერებები: ერთგვაროვნების წესი, დათიშვის, გენების დამოუკიდებლად განაწილებისა და გენთა შეჭიდულობის კანონები, სქესის განსაზღვრის ქრომოსომული მექანიზმი და სქესთან შეჭიდულობა; ყველა ეს გენეტიკური კანონზომიერება ადამიანშიც მოქმედებს. გარდა ამისა, მეიოზი ადამიანის გამეტებშიც უზრუნველყოფს ქრომოსომების თავისუფალ და შემთხვევით განაწილებას; ადამიანის მემკვიდრეობაში მოქმედებს ალელური და არაალელური გენების ურთიერთქმედება, გენების მრავლობითი მოქმედება. ამრიგად, სხვა ორგანიზმებზე ჩატარებული გენეტიკური კვლევების შედეგად დადგენილი გენეტიკური კანონზომიერებები მოქმედებენ ადამიანის გენეტიკაშიც.

ადამიანში ბევრი ნიშან-თვისება თაობებში მემკვიდრეობს მენდელის გენეტიკური კანონზომიერებების მიხედვით. მაგალითად, ჭორფლიანობა/უჭორფლობა, ყურის ბიბილოს ფორმა, სახის ფორმა და ა.შ. მენდელის გენეტიკურ კანონზომიერებების პრინციპით მემკვიდრეობს ზოგიერთი გენეტიკური დარღვევა, რომელმაც შეიძლება გამოიწვიოს მძიმე გენეტიკური დაავადება.

გენეტიკური დაავადების გამომწვევი შეიძლება იყოს როგორც დომინანტური, ისე რეცესიული ალელური გენი. თუ გენეტიკური დარღვევა გამოწვეულია რეცესიული ალელით, ფენოტიპურად გამოვლინდება მხოლოდ ჰომოზიგოტურ მდგომარეობაში. თუმცა ასეთი დაავადება სხირად გამოვლინდება ჰეტეროზიგოტური მშობლების შვილებში. მაგალითად, მუკოვისციდოზი წარმოადგენს აუტოსომურ-რეცესიულ მძიმე გენეტიკურ დაავადებას (სურ. 1.88.), რომელიც აზიანებს ლორწოვან ჯირკვლებს; ფილტვის უჯრედები გამოყოფენ დიდი რაოდენო-

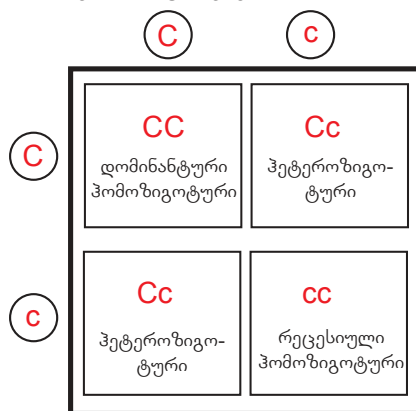
სურ. 1.88.

C — ნორმალური ალელი (დომინანტური)

c — მუკოვისციდოზის გამომწვევი ალელი (რეცესიული)

ჰეტეროზიგოტური მშობელი (**Cc**), მუკოვისციდოზის რეცესიული ალელის მატარებელი

ჰეტეროზიგოტური მშობელი (**Cc**), მუკოვისციდოზის რეცესიული ალელის მატარებელი



ბით ლორწოს, რომელიც გროვდება ფილტვებში და აძნელებს სუნთქვას, ხელს უწყობს ბაქტერიების მიერ ფილტვების დაზიანებას; ფერხდება საჭმლის მონელება საჭმლის მომნელებელ არხში დიდი რაოდენობით ლორწოს დაგროვების გამო. ამის მიზეზი არის ის, რომ ორგანიზმში აღარ გამოიშვება ცილა, რომელიც არეგულირებს ლორწოვანი ჯირკვლების ფუნქციონირებას. რეცესიულ ჰომოზიგოტურ ადამიანში ეს დაავადება გამოვლინდება; ჰეტეროზიგოტური ადამიანი ჯანმრთელია, მაგრამ ამ დაავადების რეცესიული ალელის მატარებელია. რეცესიული ალელის მატარებელში დაავადების სიმპტომები არ გამოიწვევან, თუმცა შეუძლია შთამომავალს გადასცეს ეს ალელი. ამრიგად, ლეტალური რეცესიული ალელებიც კი პოპულაციაში რჩება.

დომინანტური გენეტიკური დარღვევები უფრო იშვიათია, ვიდრე რეცესიული. დომინანტურ-აუტოსომური გენეტიკური დაავადების მაგალითია ჰანტიგტონის დაავადება. იგი აზიანებს ნერვულ სისტემას და აქვეითებს ადამიანის ინტელექტუალურ შესაძლებლობებს, ზღუდავს მოძრაობებს. ჩვეულებრივ, დაავადება თავს იჩენს 35-40 წლის ასაკში.

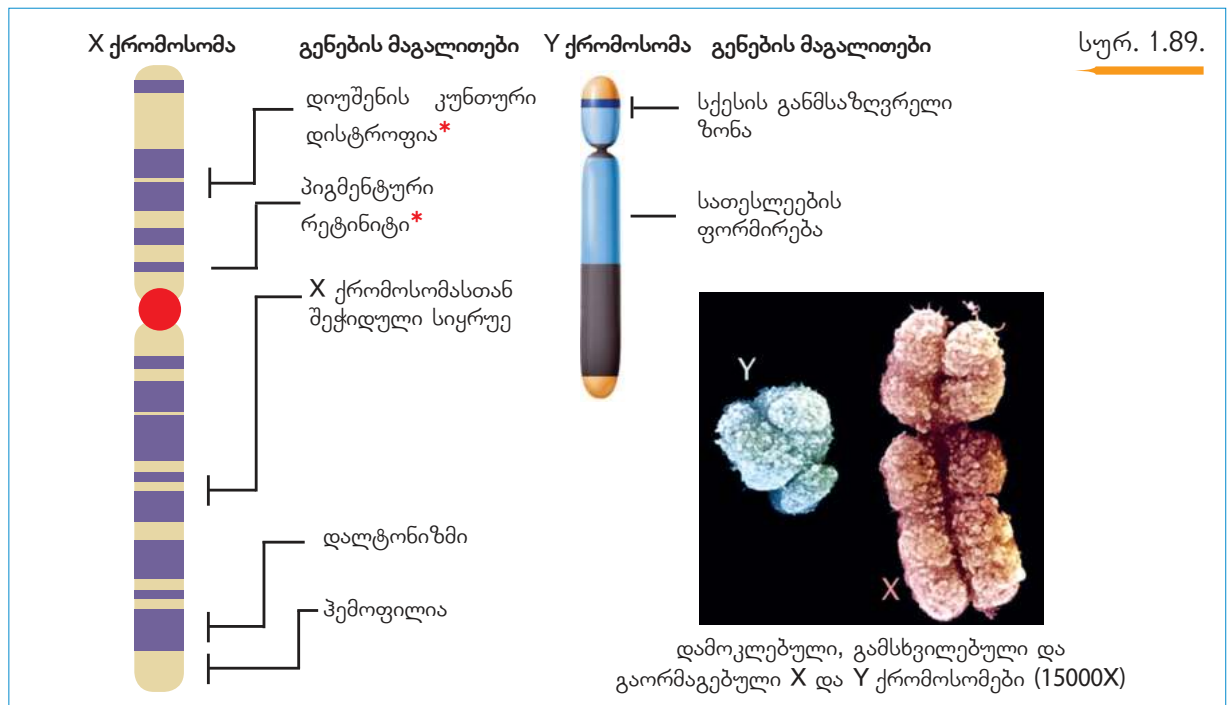
ამრიგად, ზემოთ განხილული მაგალითებიდან შეიძლება გამოვიტანოთ დასკვნა: ზოგიერთი გენეტიკური დარღვევა გამოწვეულია

აუტოსომური გენით. **აუტოსომური რეცესიული დაავადების გამომწვევი ალელის მატარებელი შეიძლება იყოს როგორც ქალი, ისე კაცი.**

რა შემთხვევაში შეიძლება იყოს რეცესიული ალელის მატარებელი მხოლოდ ქალი?

როდესაც საკვლევი ნიშნის გენი X-ქრომოსომაშია ლოკალიზებული, უნდა გავიხსენოთ სასქესო ქრომოსომებისა და, ასევე, მასთან შეჭიდული რეცესიული გენების მემკვიდრეობის შესახებ (გვ. 61).

როგორც სურათ 1.89-ზე ხედავ, ზოგიერთი გენეტიკური დარღვევა X-ქრომოსომაში ლოკალიზებული გენებითაა გამოწვეული. შეგახსენებთ, რომ მამაკაცს აქვს XY გენოტიპი. მამაკაცს, რომელსაც აქვს X-ქრომოსომასთან შეჭიდული დაავადების გამომწვევი რეცესიული ალელი, Y-ქრომოსომაში არ შეიძლება ჰქონდეს ამ გენის დომინანტური ალელი, რომელიც დათრგუნავდა რეცესიულ ალელს. ამიტომ ერთი რეცესიული ალელიც საკმარისია, რომ მამაკაცი იყოს დაავადებული; შესაბამისად, X-ქრომოსომასთან შეჭიდული რეცესიული გენი უფრო ხშირად ფენოტიპურად გამოვლინდება მამრობით სქესში, ვიდრე მდედრობითში; არ არსებობს X-ქრომოსომასთან შეჭიდული გენეტიკური დაავადების მატარებელი მამაკაცი; **მხოლოდ ქალი შეიძლება იყოს X-ქრომოსომასთან შეჭიდული გენეტიკური დაავადების მატარებელი და ფენოტიპურად**



ჯანმრთელი. სქესთან შეჭიდული მემკვიდრეობა დამოკიდებულია როგორც ბავშვის სქესზე, ისე იმაზე, თუ რომელ მშობელს აქვს დაავადების გამომწვევი ალელი.

ისტორია მოგვითხრობს ბიჭზე, რომელმაც ვერ შეძლო მშობლების თხოვნის შესრულება – ბაღში შეეგროვებინა მწიფე ალუბალი. მშობლებმა ბავშვი ექიმთან წაიყვანეს. ბავშვზე დაკვირვების შედეგად ექიმმა დაასკვნა, რომ მას არ შეეძლო წითელი და მწვანე ფერების აღქმა. ეს ისტორია არის სქესთან შეჭიდული ნიშან-თვისების – დალტონიზმის მაგალითი (სურ.1.90), რომლის განმსაზღვრელი რეცესიული ალელური გენი X-ქრომოსომაშია ლოკალიზებული, ამიტომ საკმარისია, ბიჭმა დედისგან მიიღოს ეს რეცესიული ალელი, რომ მაშინვე ფენოტიპურად გამოვლინდეს. დალტონიზმის მქონე მამაკაცი ამ ალელს მხოლოდ გოგოს გადასცემს და არა ბიჭს.

ბევრი ნიშნის მემკვიდრეობა ძალიან რთულია. ერთი ნიშნის მემკვიდრეობას შეიძლება რამდენიმე გენის ურთიერთქმედება ან პირიქით, ერთი გენი რამდენიმე ნიშან-თვისებას აკონტროლებდეს, შესაბამისად, მარტივი არაა ყველა ნიშან-თვისების მემკვიდრეობის ხასიათის დადგენა. ადამიანის გენეტიკის შესწავლისთვის ხშირად კომბინირებულად იყენებენ როგორც კლასიკურ, ისე თანამედროვე კვლე-

ფერთი მხედველობის ადამიანი ადვილად არჩევს სხვადასხვა ფერს, ხოლო დალტონიზმის მქონეს ეს არ შეუძლია



ფენოტიპი	გენოტიპი	ფენოტიპი	გენოტიპი
ფერთი მხედველობა	$X^D X^D$, $X^D X^d$, $X^D Y$	დალტონიზმი	$X^d X^d$, $X^d Y$

სურ. 1.90.

ვის მეთოდებს, რომლებიც ცხრილშია წარმოდგენილი (ცხრ. 1.4). ადამიანის გენეტიკის კვლევის მეთოდებს იყენებენ **სამედიცინო გენეტიკაში**. სამედიცინო გენეტიკა შეისწავლის ადამიანის დაავადებათა მემკვიდრეობასა და მათი წარმოშობის საკითხებს, სახავს ამ დაავადებათა დიაგნოსტიკებისა და მკურნალობის პერსპექტივებს.

ცხრილი 1.4. ადამიანის გენეტიკის კვლევის მეთოდები	
მეთოდი	მეთოდის არსი
გენეალოგიური	გენეალოგიური – საგვარტომო ნუსხის შედგენა და საკვლევი ნიშან-თვისების მემკვიდრეობის შესწავლა თაობათა განმავლობაში. ამ მეთოდით დგინდება ნიშან-თვისების მემკვიდრეობის ხასიათი: დომინანტურია თუ რეცესიული, აუტოსომურია თუ სასქესო ქრომოსომაზეა შეჭიდული.
ტყუპების	იდენტურ ტყუპში ნიშან-თვისებების ფენოტიპური გამოვლენის კვლევა. ამ მეთოდით იკვლევენ გენოტიპის ფენოტიპურ გამოვლენაზე შინაგანი და გარეგანი გარემო ფაქტორების (ეკოლოგიური და სოციალური) გავლენას.
პოპულაციური	ამ მეთოდით იკვლევენ ადამიანთა პოპულაციის გენურ შემადგენლობას, პოპულაციაში ცალკეული გენის/გენოტიპის გავრცელების სიხშირეს, თაობათა განმავლობაში მათი ცვლილების მიზეზებს.
დერმატოგლიფიკის	ყოველ ადამიანს თითის ბალიშებზე უნიკალური, მხოლოდ მისთვის დამახასიათებელი კანის რელიეფი უვითარდება. ამიტომ ადამიანის თითის ანაბეჭდებს იყენებენ პიროვნების იდენტიფიცირებისთვის. გარდა ამისა, ზოგიერთი მემკვიდრული დაავადების დროს კანის რელიეფი სპეციფიკურად იცვლება და მედიცინაში გამოიყენება, როგორც დიაგნოსტიკის ერთ-ერთი დამატებითი ტესტი.
ციტოგენეტიკური	ადამიანის ორგანიზმიდან გამოყოფენ სომატურ უჯრედებს (სისხლის, კანის, ძვლის ტვინის, ემბრიონის, სიმსივნის და სხვ.), ათავსებენ სპეციალურ საკვებ არეში, უქმნიან გაყოფისათვის ხელსაყრელ პირობებს და იკვლევენ ქრომოსომულ კომპლექტს – კარიოტიპს. ამ მეთოდით შეიძლება ქრომოსომული და გენომური მუტაციების დადგენა.
ბიოქიმიური	ამ მეთოდით სწავლობენ გენური მუტაციებითა და ნივთიერებათა ცვლის დარღვევით გამოწვეულ დაავადებებს.
მოლეკულური ბიოლოგიის	გამოყოფენ სტრუქტურულ გენებს და იკვლევენ მათ ნუკლეოტიდურ შემადგენლობას; ასევე, ამზადებენ დნმ-ის ანაბეჭდებს. ამ მეთოდით შესაძლებელია გენური მუტაციების აღმოჩენა, მუტანტური ალელის ნორმალურით შეცვლა და პიროვნების იდენტიფიცირება.

გენეალოგიური მეთოდი. თუ ორ ადამიანს სურს გაიგოს, მათ მომავალ ბავშვს ექნება თუ არა კონკრეტული გენეტიკური დაავადება, არ შეიძლება მხოლოდ საკუთარ ფენოტიპზე დაყრდნობა, არამედ, ასევე, უნდა იცოდნენ თავიანთი ოჯახის სხვა წევრების ფენოტიპები, რომელთა მიხედვითაც შესაძლებელია სავარაუდო გენოტიპების განსაზღვრა. **ადამიანის გენეალოგიური სქემის** საშუალებით შესაძლებელია ოჯახში ფენოტიპისა და გენოტიპის მემკვიდრეობის თვალის მიდევნება, რომ განისაზღვროს, არიან თუ არა ოჯახის

წევრები რეცესიული ალელის მატარებელი. შეგახსენებთ, რომ ბრიტანეთის დედოფალი ვიქტორია იყო სქესთან შეჭიდული ჰემოფილიის გამომწვევი რეცესიული ალელის მატარებელი, რომელიც გამოიკვამ მისი სამეფო ოჯახის გენეალოგიის შესწავლით. ადამიანის გენეალოგიური სქემა შეიცავს რამდენიმე ტიპის ინფორმაციას (ცხრ. 1.5). მეცნიერები შეისწავლიან ისეთი ადამიანების გენეალოგიასაც, რომელთა შორის არ არის ნათესაური კავშირი, მაგრამ დიდი რაოდენობის ოჯახების გენეალოგიის კვლევა ეხმარება მათ ნი-

ცხრილი 1.5 ადამიანის გენეტიკის კვლევის გენეალოგიური მეთოდი	
საგვარტომო ნუსხა/გენეალოგიური სქემა მოსახერხებელია ფენოტიპის მიხედვით სავარაუდო გენოტიპის დასადგენად	
♂ ♀ – გამოსაკვლევი ნიშნის მატარებელი – გამოსაკვლევი ნიშნის ფენოტიპური გამოვლენა – ქორწინება	
აუტოსომურ-დომინანტური ნიშნის (პოლიდაქტილიის) მემკვიდრეობა	
მშობლები B – დომინანტური b – რეცესიული	მამა უნდა იყოს რეცესიული ჰომოზიგოტა, დედა კი ჰეტეროზიგოტა (Bb), რადგან მათ ჰყავთ რეცესიული ნიშნის გოგონა (5).
F₁ თაობა	შთამომავლებიდან 4 და 6-ს აქვთ ფენოტიპურად გამოვლენილი საკვლევი ნიშანი, მათ აუცილებლად ექნებათ გენოტიპი – Bb, რადგან მათ რეცესიული ალელი მიიღეს მამისგან, ხოლო დომინანტური – დედისგან.
F₂ თაობა	მეორე თაობის შთამომავლებიდან 8-სა და 10-ს, რომლებიც გამოვლენილია საკვლევი ნიშანი, ჰეტეროზიგოტური გენოტიპი აქვთ, რადგან მათ მშობლებისგან შეძლათ მხოლოდ ერთი დომინანტური ალელის მიღება. შვილები – 11, 12, 13 – გამოვლინდა საკვლევი ნიშანი, მაგრამ სქემა მათი გენოტიპების ზუსტი განსაზღვრის საშუალებას არ იძლევა.
სქესთან შეჭიდული რეცესიული ნიშნის (ჰემოფილიის) მემკვიდრეობა	
მშობლები X^H – დომინანტური X^h – რეცესიული	მამის გენოტიპი უნდა იყოს X^HY, რადგან იგი ჯანმრთელია, დედა კი ჰემოფილიის ალელის მატარებელია (X^HX^h), რადგან მათ ჰყავთ ჰემოფილიის მქონე ბიჭები (6 და 7).
F₁ თაობა	ფენოტიპურად ჯანმრთელი ქალი (4) უნდა იყოს ჰემოფილიის ალელის მატარებელი (X^HX^h), რადგან მას ჰყავს ჰემოფილიის მქონე ბიჭი (12). ბიჭების (6 და 7) გენოტიპი უნდა იყოს X^hY. გოგონებში (5 და 8) ჰემოფილია არ გამოვლინდა, მაგრამ გენეალოგიური სქემა არ იძლევა მათი გენოტიპების ზუსტი განსაზღვრის საშუალებას.
F₂ თაობა	გოგონები 13 და 14 უნდა იყვნენ ჰემოფილიის ალელის მატარებელი, რადგან მათი მამა ჰემოფილიის მქონეა და ერთ X ქრომოსომას გოგონა აუცილებლად მამისგან იღებს. გოგონებში (9 და 11) ჰემოფილია არ გამოვლინდა, მაგრამ სქემა მათი გენოტიპების ზუსტი განსაზღვრის საშუალებას არ იძლევა.

შან-თვისების მემკვიდრეობის კანონზომიერების დასადგენად.

საჭიროა ლოგიკური მსჯელობა, რომ ფენოტიპის მიხედვით განსაზღვრო ოჯახის თითოეული წევრის სავარაუდო გენოტიპი; ასევე, გამოსაკვლევი ნიშან-თვისების განმსაზღვრელი გენი დომინანტურია თუ რეცესიული, აუტოსომურია თუ სასქესო ქრომოსომასთან შეჭიდული. თუ გამოსაკვლევი ნიშანი ფენო-

ტიპურად თანაბრად ვლინდება ორივე სქესის ადამიანებში, ეს მეტყველებს იმაზე, რომ დიდი ალბათობით გენი აუტოსომურია; თუ ფენოტიპურად უფრო ხშირად მჟღავნდება რომელიმე სქესში, მაშინ გენი სქესთან შეჭიდულია. მაგალითად, თუ რეცესიული ნიშანი უპირატესად მჟღავნდება ოჯახის მამრობითი სქესის წევრებში – მაშინ გენი X-ქრომოსომასთანაა შეჭიდული.

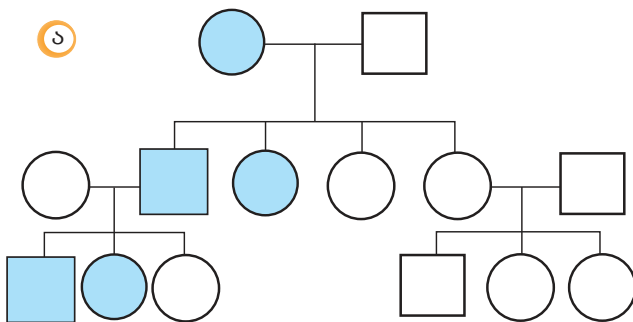


აუტოსომური გენების მემკვიდრეობაზე თვალის მიდევნება გენეალოგიური სქემის საშუალებით.

ძალიან ადვილია გენეალოგიური სქემის მიხედვით თაობებში იმ ნიშნის მემკვიდრეობის შესწავლა, რომლის განმსაზღვრელი გენი აუტოსომურ-დომინანტურია. რატომ? რადგან ეს ნიშანი მჟღავნდება მხოლოდ ფენოტიპურად ამ ნიშნის მშობლის შთამომავალში (სურ. 1.91. ა). მაგალითად, გრძელი წამწამების განმსაზღვრელი ალელური გენი დომინანტურია, ხოლო მოკლე წამწამების – რეცესიული. იმ ადამიანის გენოტიპი, რომელსაც აქვს გრძელი წამწამები, არის ჰომოზიგოტური (AA) ან ჰეტეროზიგოტური (Aa); თუ მშობლები რეცესიული ჰომოზიგოტები არიან (aa), არ შეიძლება მათ შვილებს ჰქონდეთ გრძელი წამწამები; ჰეტეროზიგოტურ მშობლებს (Aa) შეიძლება ჰყავდეთ შვილი, რომელშიც ეს ნიშანი ფენოტიპურად არ მჟღავნდება (aa).

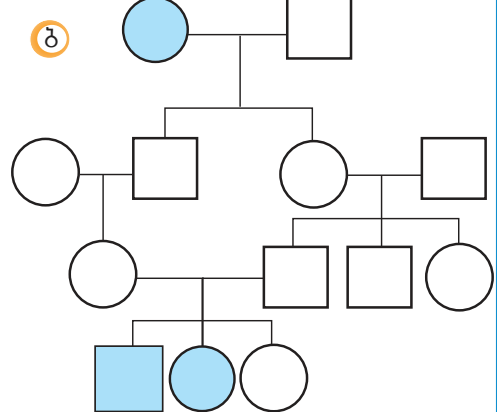
თუ ნიშანი ფენოტიპურად გამოვლინდა იმ მშობლების შთამომავალში, რომლებშიც ეს გამოსაკვლევი ნიშანი ფენოტიპურად არ არის გამოვლენილი, ე.ი. ნიშანი აუტოსომურ-რეცესიულია. ასეთი ადამიანების გენოტიპი იქნება რეცესიული ჰომოზიგოტური, ხოლო მათი ორივე მშობლის გენოტიპი რეცესიული ჰომოზიგოტურია ან – ჰეტეროზიგოტური (სურ. 1.91. ბ). როგორც ქალი, ისე მამაკაცი შეიძლება იყოს აუტოსომურ-რეცესიული ალელის მატარებელი.

აუტოსომურ-დომინანტური ნიშნის მემკვიდრეობა



სურ. 1.91.

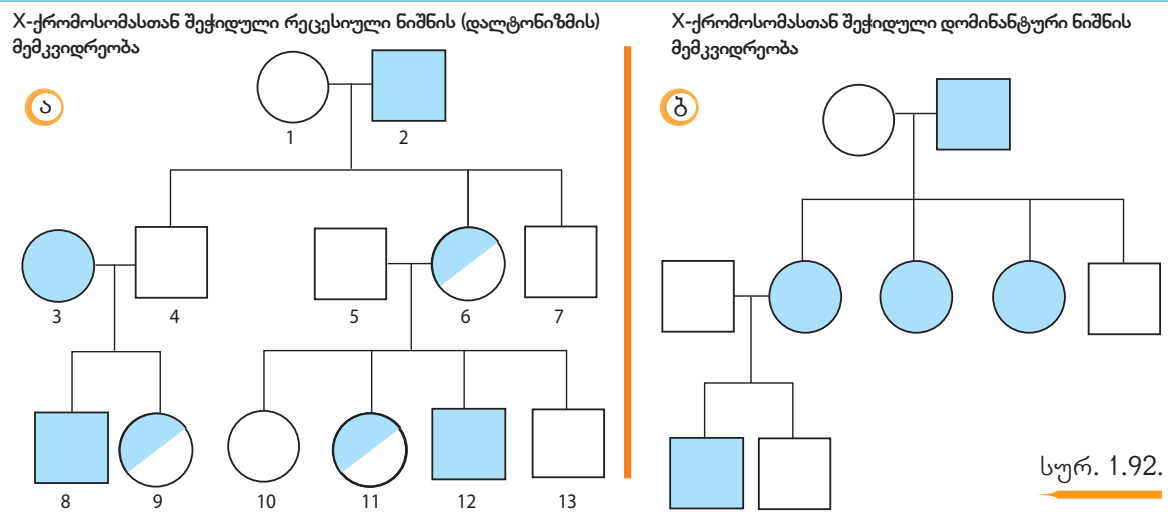
აუტოსომურ-რეცესიული ნიშნის მემკვიდრეობა



სქესთან შეჭიდულ მემკვიდრეობაზე თვალის მიდევნება გენეალოგიური სქემის საშუალებით. სურათ 1.92-ზე წარმოდგენილი გენეალოგიური სქემის მაგალითზე განვიხილოთ, თუ როგორ შეიძლება ფენოტიპების მიხედვით სავარაუდო გენოტიპების განსაზღვრა. ქვემოთ აღწერილი ნაბიჯების გამოყენება შეიძლება სქესთან შეჭიდული ნებისმიერი ნიშან-თვისებისთვის. პირველ რიგში, დაუკვირდი გენეალოგიურ სქემაზე გამოსახული ინდივიდების ფენოტიპებს.

- დალტონიზმის მქონე ქალის გენოტიპი აუცილებლად იქნება რეცესიული ჰომოზიგოტა – X^dX^d .
- დალტონიზმის მქონე კაცის გენოტიპი აუცილებლად იქნება X^dY .
- ჰეტეროზიგოტურ ქალში (X^DX^d) დალტონიზმი ფენოტიპურად არ გამოვლინდება, მაგრამ ამ ნიშნის განმსაზღვრელი ალელის მატარებელია.

- თუ კაცი დალტონიზმის მქონეა (2), ხოლო ქალი ჰომოზიგოტური ფერითი მხედველობის (1), მათი ყველა სქესის შვილს ექნება ფერითი მხედველობა, მაგრამ გოგო აუცილებლად იქნება დალტონიზმის ალელის მატარებელი (6).
- თუ ქალი არის დალტონიზმის გამომწვევი ალელის მატარებელი (6 - $X^D X^d$), ხოლო მამაკაცს აქვს ნორმალური ფერითი მხედველობა (5 - $X^D Y$), მათი შვილებიდან ბიჭებში 50%-ით მოსალოდნელია დალტონიზმის გამოვლენა (12 - $X^d Y$), ხოლო 50%-ით დალტონიზმის ალელის მატარებელი გოგონას დაბადება (11 - $X^D X^d$).
- თუ ქალი დალტონიზმის მქონეა (3), ხოლო კაცი – ფერითი მხედველობის (4), მათი შვილებიდან ყველა გოგო იქნება დალტონიზმის ალელის მატარებელი (9 - $X^D X^d$), ხოლო ყველა ბიჭი დალტონიზმის მქონე (8 - $X^d Y$).
- თუ ორივე მშობელი დალტონიზმის მქონეა ($X^d X^d$ და $X^d Y$), მათი ყველა შვილი იქნება დალტონიზმის მქონე, რადგან ორივე მშობლისგან აუცილებლად იღებენ დალტონიზმის გამომწვევ რეცესიულ ალელს.



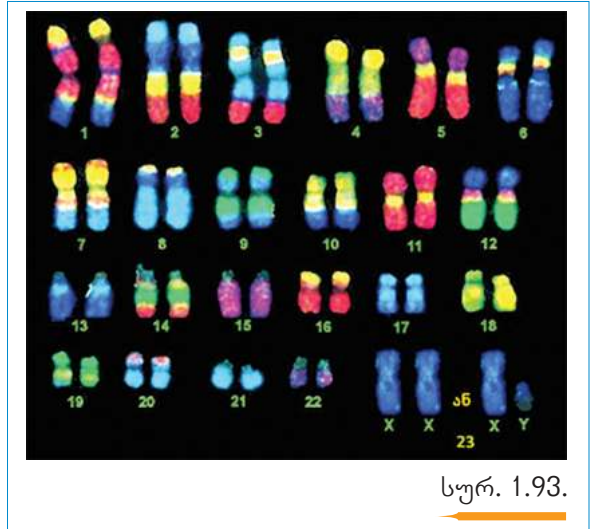
ტყუპების მეთოდი. როგორც იცი, გენების ექსპრესიაზე ზემოქმედებს როგორც შინაგანი, ისე გარეგანი ფაქტორები (ეკოლოგიური და სოციალური). ამიტომ იდენტური ტყუპი ეფექტური საშუალებაა ადამიანში გენოტიპის ფენოტიპურ გამოვლენაზე მოქმედი ფაქტორების გამოსავლენად.

პოპულაციური მეთოდი. ძალიან მნიშვნელოვანია სტატისტიკური მონაცემები გენეტიკური დარღვევების გავრცელების გეოგრაფიული არეალის შესახებ. მეცნიერები ამით იღებენ ინფორმაციას, თუ რა პირობებშია უფრო მოსალოდნელი გენეტიკური დარღვევების მქონე ბავშვის დაბადება, როგორია პოპულაციაში ამ დაავადების გამომწვევი ალელის შესხედრის სიხშირე, განსაზღვრავენ მუტაციის გამომწვევ რისკ-ფაქტორებს; მაგალითად, თუ ამ პოპულაციის ადამიანებს უწევთ მუშაობა მძიმე მეტალებთან ან სხვა მომწამვლელ ქიმიურ ნივთიერებასთან, სახავენ პრევენციულ

ლონისძიებებს.

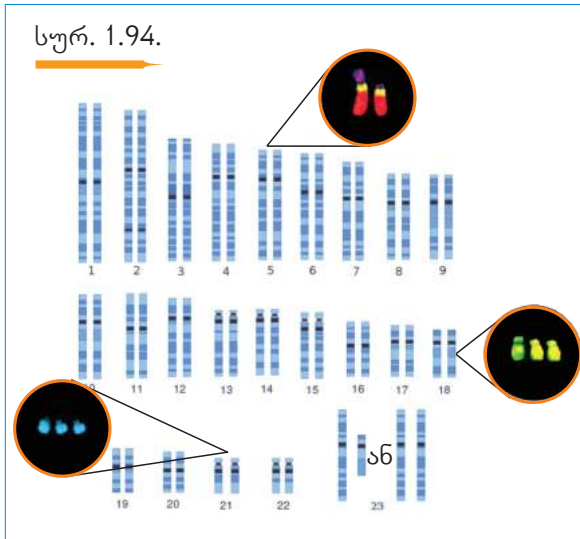
ციტოგენეტიკური მეთოდი. ციტოგენეტიკური მეთოდით უშუალოდ იკვლევენ კარიოტიპს (სურ.1.93 – ადამიანის კარიოტიპი). შეგახსენებთ, რომ კარიოტიპი არის სახეობისათვის დამახასიათებელი ქრომოსომული კომპლექტი. ქრომოსომების გამოსაკვლევად მათ ლებავენ ქიმიური ნივთიერებით. ქიმიური საღებავი ქრომოსომებზე ქმნის სხვადასხვა ფერად შეღებილ ზოლებს. ზოლების ზომა და ქრომოსომაზე განლაგება ძალიან სპეციფიკურია ყოველი ქრომოსომისთვის. ამ ნიშნებით მკვეთრად განსხვავდება ერთმანეთისგან სხვადასხვა ქრომოსომა და ამიტომ ადვილია კარიოტიპში მათი ამოცნობა. კარიოტიპის კვლევამ შეიძლება აღმოაჩინოს ქრომოსომების რიცხვსა და სტრუქტურაში ცვლილება. მეცნიერები კარიოტიპის კვლევას იყენებენ ქრომოსომაში გენებს შორის სავარაუდო მანძილის განსაზღვრისთვისაც. კარიოტიპში ცვლილება

შეიძლება იყოს ძალიან თვალსაჩინო, როდესაც რომელიმე წყვილში ქრომოსომა დამატებულია ან პირიქით – აკლია. მაგალითად, სურათ 1.94-ზე წარმოდგენილია მე-18 ქრომოსომის ტრისომია (ასეთ შემთხვევაში ალინიშნება ინტელექტუალური შეზღუდვა, ზრდა-განვითარებაში შეფერხება, გულის ანატომიური დეფექტი, სიცოცხლისუნარიანობის დაბალი დონე) და 21-ე ქრომოსომის ტრისომია, რომელიც დაუნის სინდრომს იწვევს (გვ. 88); ასევე, სურათზე გამოსახულია ქრომოსომული სტრუქტურის ცვლილების მაგალითი – მე-5 ქრომოსომის სპეციფიკური ფრაგმენტის დელეცია, რომელიც იწვევს **Cri-du-chat**-ის („კატის კნავილის“) სინდრომს (ამ სინდრომის მქონე ბავშვს აქვს ინტელექტუალური დარღვევა, მცირე ზომის ქალა სახის დამახასიათებელი ნიშნებით,



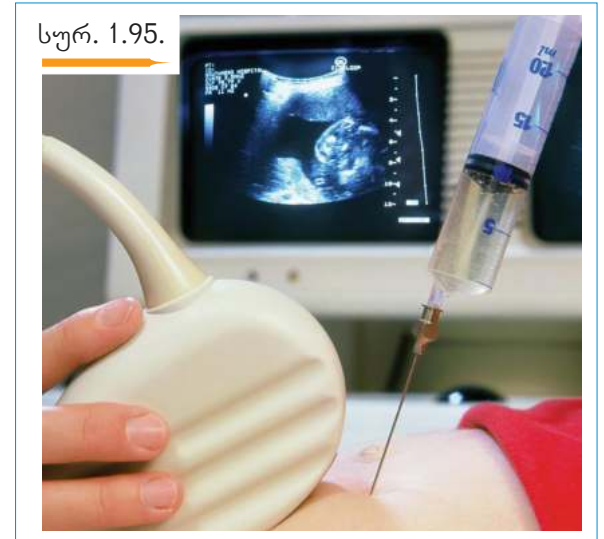
სურ. 1.93.

მისი ტირილი კატის კნავილს მოგვაგონებს; ასეთი ინდივიდები ხშირად დაბადებისთანავე ან ჩვილობის ასაკშივე იღუპებიან).



სურ. 1.94.

ორსულ ქალს შეიძლება აინტერესებდეს, ნესრიგშია თუ არა ნაყოფის ქრომოსომული ნაკრები – კარიოტიპი – და ამ მიზნით ჩაიტაროს ციტოგენეტიკური გამოკვლევა. ექიმში სპეციალური ნემსის საშუალებით ამოიღებს ნაყოფის გარშემო არსებულ სითხეს. ამ პროცედურას **ამნიოცენტეზი** ეწოდება (სურ. 1.95). პროცედურა აუცილებლად კონტროლდება ულტრაბგერითი კვლევის ტექნიკით, რომ არ დაზიანდეს ნაყოფი. ამნიონურ სითხეში ყოველთვის არის ნაყოფის ღეროვანი უჯრედები. გენეტიკოსი ამ უჯრედებს მიკროსკოპით შეისწავლის, აკვირდება კარიოტიპს და (არსებობის შემთხვევაში) ადგენს ქრომოსომულ ან გენომურ მუტაციებს. თუ



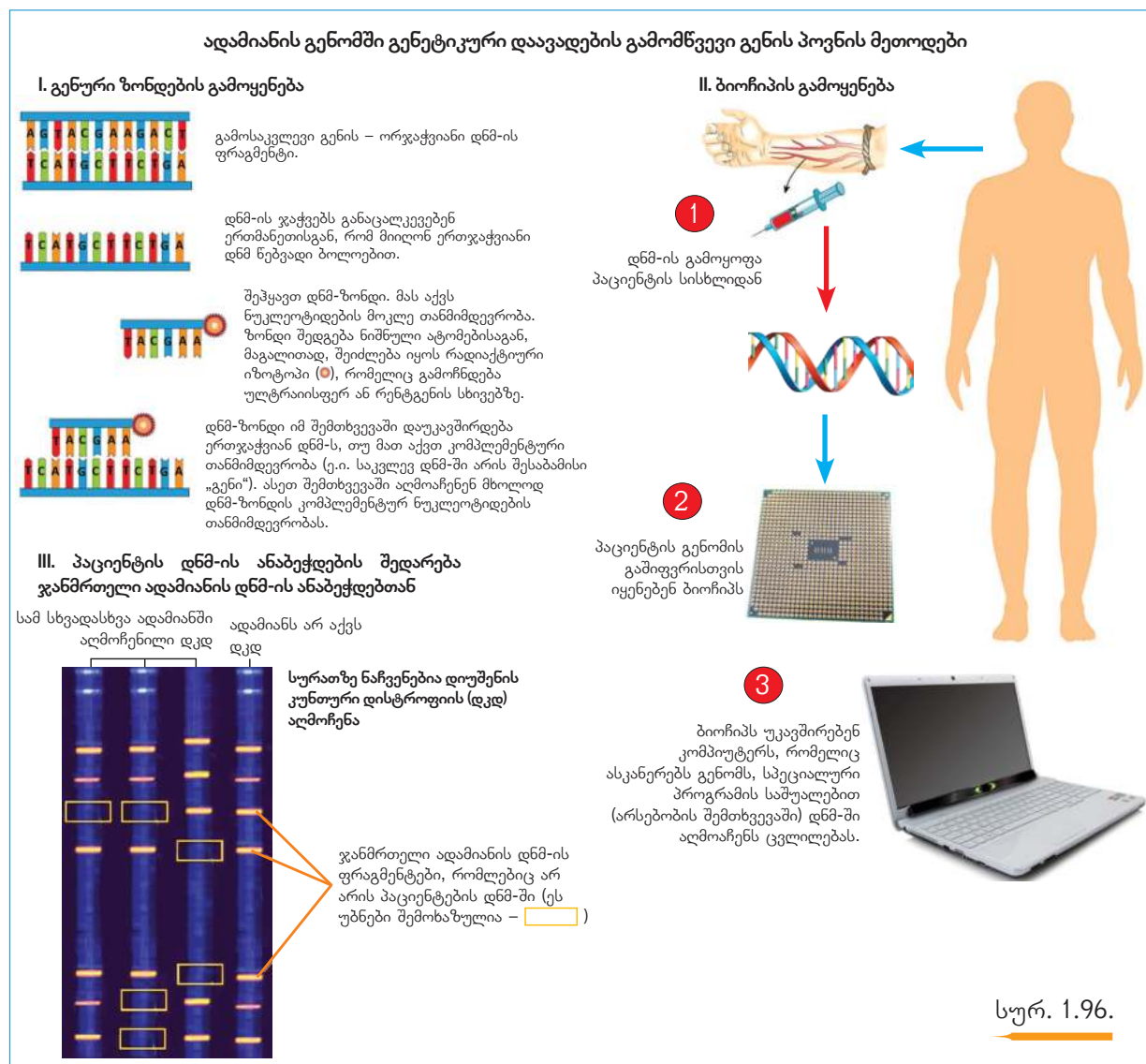
სურ. 1.95.

ნაყოფს დაუდგინდა გენეტიკური დარღვევა, მშობლებმა უნდა გადაწყვიტონ, უნდათ თუ არა ნაყოფის შენარჩუნება. არჩევანი მრავალ პრობლემასთან არის დაკავშირებული. ჩვენ თავს შევიკავებთ მათი ჩამოთვლისგან. ჯგუფში იმსჯელეთ ამ საკითხზე და თავად გააკეთეთ შესაძლო პრობლემების ჩამონათვალი.

მემკვიდრული დაავადებების განვითარების **ბიოქიმიური** მექანიზმების ცოდნა ავადმყოფების მდგომარეობის შემსუბუქების საშუალებას იძლევა. მაგალითად, მათ უნიშნავენ ფერმენტებს, რომლებიც ორგანიზმში არ სინთეზირდება, ან მათი საკვები რაციონიდან ამოიღებენ იმ პროდუქტებს, რომელთაც ვერ მოინელებენ ამ ფერმენტის გარეშე.

ადამიანის გენეტიკის კვლევის ახალი ეტაპი – **გენეტიკური დაავადებების მოლეკულური დიაგნოსტიკა** – დაიწყო 1990 წლიდან, როდესაც საფუძველი ჩაეყარა **ადამიანის გენომის პროექტს** (ადამიანის გენომი არის სომატური უჯრედისთვის დამახასიათებელი მთელი დნმ-ის ერთობლიობა). ეს პროექტი 2003 წლის 14 აპრილს დასრულებულად გამოცხადდა. პროექტის შედეგად გენეტიკოსებმა ბევრი ინფორმაცია მიიღეს (X კლასის I ნაწილი, გვ. 137), მათ შორის, მნიშვნელოვანია შემდეგი: ადამიანის გენომი, დაახლოებით, 3,1 მილიარდი ნუკლეოტიდისგან შედგება და შეიცავს 20 000-დან 25 000-მდე ცილამაკოდირებელ გენს; გენომის პროექტმა დიდი გავლენა იქონია სამედიცინო გენეტიკაზე. იდენტიფიცირებულია ადამიანის დაავადებათა გამომწვევი ათასობით

გენი, განსაზღვრულია მათი ლოკალიზაციის ადგილი ქრომოსომებში და ნუკლეოტიდური თანმიმდევრობა. მაგალითად, დადგინდა, რომ ჰანტიგტონის დაავადებას იწვევს მე-4 აუტოსომაში ლოკალიზებული გენის მუტაცია. ეს გენი პასუხისმგებელია გარკვეულ ცილაზე, რომელშიც მრავალჯერ მეორდება ამინომჟავა გლუტამინი. გლუტამინის აკოდირებს ტრიპლეთი **CAG**, რომელიც გენში დაახლოებით 30-ჯერ მეორდება, მაგრამ მუტაციის შედეგად გენში **CAG** უფრო ხშირად (ასჯერაც კი) მეორდება. ასევე, ადამიანის გენომის პროექტმა შესაძლებელი გახადა გენეტიკური დაავადების დიაგნოსტიკა – შეიძლება კონკრეტული დაავადების გამომწვევი გენის პოვნა. ამ მიზნით დნმ-ის ტესტირების სხვადასხვა მეთოდს იყენებენ (სურ. 1.96).



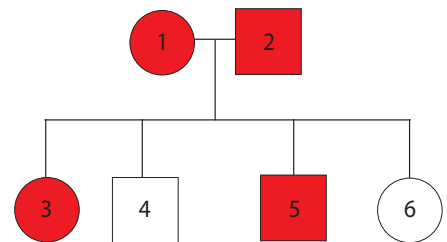
სურ. 1.96.

გენომის პროექტი მომავალშიც დიდ გავლენას იქონიებს სამედიცინო გენეტიკაზე. ადამიანის გენების ნახევარზე მეტის ფუნქცია ჯერ კიდევ უცნობია; ადამიანის ყველა გენის იდენტიფიცირებით გაირკვევა, რას აკეთებენ და როგორ ფუნქციონირებენ. ყველაზე მნიშ-

ვნელოვანი შედეგი უთუოდ ადამიანის გენეტიკურ დაავადებებთან ასოცირებული გენების იდენტიფიკაცია იქნება და, შესაბამისად, გენეტიკური დაავადებების მოლეკულური დიაგნოსტიკა და მკურნალობის ინოვაციური სტრატეგიების შემუშავება.



1. რით განსხვავდება ერთმანეთისგან გენეალოგიური სქემა და პენეტის ცხრილი?
2. როგორ შეიძლება მენდელის კვლევის პრინციპების გამოყენება ადამიანის ნიშან-თვისებების მემკვიდრეობის შესასწავლად?
3. ახსენი, რატომ არ არის შესაძლებელი გენეალოგიური სქემის საშუალებით სქემაზე წარმოდგენილი ყველა ადამიანის გენოტიპის განსაზღვრა? ცხრილ 1.5-ში წარმოდგენილი პირველი სქემის შემთხვევაში, კიდევ რა ინფორმაცია გჭირდება, რომ განსაზღვრო ყველა ადამიანის გენოტიპი?
4. რეცესიული გენეტიკური დაავადების მქონე პირს შეიძლება ვუწოდოთ ამ ალელის მატარებელი? ახსენი შენი პასუხი.
5. რა არის კარიოტიპი და როგორ შეიძლება მისი გამოყენება ადამიანში ქრომოსომული და გენომური მუტაციების გამოსაკვლევად?
6. დაფუძნა, რომ კაცი დალტონიზმის მქონეა, ხოლო ქალი ჰომოზიგოტური ფერითი მხედველობის მიხედვით. როგორი ალბათობაა იმისა, რომ მათ ჰყავდეთ დალტონიზმის მქონე შვილი? შეადგინე ამ ოჯახისთვის შესაბამისი გენეტიკური სქემა.
7. რა განსხვავებაა აუტოსომური გენისა და სქესთან შეჭიდული მემკვიდრეობის გენეალოგიურ სქემებს შორის? დაასახელე ერთი მსგავსება და ერთი განსხვავება აუტოსომური და სქესთან შეჭიდული გენების მემკვიდრეობის გენეალოგიურ სქემებს შორის?
8. ჯანმრთელ მშობლებს რა შემთხვევაში შეიძლება შეეძინოთ რეცესიული გენეტიკური დაავადებით შვილი?
9. გიორგის ოჯახის ზოგიერთ წევრს აქვს აუტოსომურ-რეცესიული დაავადება. გიორგი, მისი მშობლები და ორი ძმა ჯანმრთელები არიან. ამ დაავადებით დაავადებულია გიორგის და, პაპა დედის მხრიდან და ბებია მამის ხაზით. შექმენი ამ ოჯახის გენეალოგიური სქემა, სქემაზე მიუთითე ოჯახის ყველა წევრის ფენოტიპი და სავარაუდო გენოტიპი.
10. წარმოდგენილი გენეალოგიური სქემა გადაიტანე სამუშაო რეველში, რომ უპასუხო ქვემოთ მოცემულ კითხვებს. გამოსაკვლევი გენის დომინანტური ალელი აღნიშნე **A** ასოთი, ხოლო რეცესიული ალელი – **a**-თი. 1) გენეალოგიური სქემის მიხედვით განსაზღვრე გამოსაკვლევ ნიშან-თვისებას დომინანტური ალელი განსაზღვრავს თუ რეცესიული. ახსენი შენი პასუხი. 2) განსაზღვრე გენეალოგიურ სქემაზე წარმოდგენილი თითოეული ინდივიდის გენოტიპი. ახსენი შენი პასუხი.
11. გენეალოგიური სქემა აჩვენებს, რომ ოჯახის 239 წევრის ფენოტიპი და გენოტიპი მიუთითებს ოჯახში რეცესიული გენეტიკური დაავადების არსებობაზე. თუმცა ოჯახის ერთი მდებარეობითი სქესის წევრი არ შეესაბამება კვლევის მოდელს, რომლის დემონსტრირებასაც ახდენენ დანარჩენი წევრები. ქვემოთ ჩამოთვლილიდან ყველაზე მეტად რომელი მოსაზრება შეესაბამება ამ ადამიანს? ა. იგი მკურნალობს ამ დაავადებაზე; ბ. მან დამატებით დააგროვა სხვა მუტაციებიც; გ. ის არ არის მიმღები ასეთი დაავადებისადმი; დ. მისი გენოტიპი არასწორადაა განსაზღვრული.
12. ჰანტიგტონის ინვერსი დომინანტურ-აუტოსომური ალელი. როგორი ალბათობითაა მოსალოდნელი ამ ოჯახში ჰანტიგტონის მქონე ბავშვის დაბადება, თუ – 1) ერთ მშობელში ფენოტიპურად არ ვლინდება ჰანტიგტონი, ხოლო მეორე ამ ნიშნის მიხედვით ჰეტეროზიგოტურია? 2) ორივე მშობელი ამ ნიშნის მიხედვით ჰეტეროზიგოტურია?
13. ქალს, რომელსაც ჰქონდა სისხლის შედედების უნარი და ფერითი მხედველობა, შეეძინა სამი ვაჟი: ერთი ჰემოფილიისა და დალტონიზმის მქონე, მეორე – ჰემოფილიის მქონე და ფერითი მხედველობის, მესამე – აქვს სისხლის შედედების უნარი და ფერითი მხედველობა. რით შეიძლება აიხსნას ეს? გაითვალისწინე, რომ დალტონიზმის განმსაზღვრელი ალელიც X-ქრომოსომაშია ლოკალიზებული და რეცესიული.
14. ფერითი მხედველობის ქალი, რომლის მამაც დალტონიზმის მქონეა, დაქორწინდა ჰიპერტრიქოზის



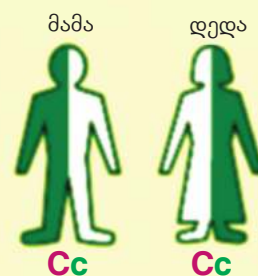


მქონე და ფერითი მხედველობის მამაკაცზე. როგორია ამ ოჯახში დალტონიზმისა და ჰიპერტრიქოზის მქონე ვაჟის დაბადების ალბათობა?

15. წარმოიდგინე, რომ შენ ხარ ექიმი-გენეტიკოსი და მოგმართავენ ადამიანები კონსულტაციისათვის. გაეცანი თითოეულ კითხვას, მოიფიქრე პასუხი და კონსულტაციის შინაარსი: 1) ქალი – ჩემი ქმარი ალბინოსია, მე კი კანის პიგმენტაცია მაქვს. შეგვეძინა ტყუპი, რომელთაგანაც ერთი ალბინოსია. რატომ მოხდა ასე? როგორია შემდგომში – კვლავ ალბინოსი ბავშვის დაბადების ალბათობა? 2) მუკოვისციდოზის ალელი ნაჩვენებია მწვანე ფერში, ხოლო ნორმალური ალელი – იასამნისფერში. მშობლები მუკოვისციდოზის ალელის მატარებლები არიან. წარმოიდგინე, რომ გენეტიკოსი ხარ და სქემაზე მითითებულმა წყვილმა მოგმართა გენეტიკური კონსულტაციისათვის. რას ეტყვი მათ: როგორია მუკოვისციდოზის მქონე და რეცესიული ალელის მატარებელი ბავშვის დაბადების ალბათობა?

C მუკოვისციდოზის ალელი

C ნორმალური ალელი



16. ახლონათესაური ქორწინებები ხელს უწყობს რეცესიული მუტაციებით განპირობებული დაავადებების განვითარებას. ასხენი, რატომ?
17. როგორც იცი, ბიოეთიკა შეისწავლის მორალურ საკითხებს, რომლებიც აღმოცენდება ბიოლოგიური კვლევებისა და მათი თანმხლები პროცესების დროს. როდესაც გენეტიკური ინფორმაცია უფრო ხელმისაწვდომი გახდა, ჩნდება ახალი კითხვები. მაგალითად,
- შესაძლებელია, ვენდოთ დნმ-ის ტესტირების ცენტრს, რომ შედეგები კონფიდენციალური იქნება? ვისთვის იქნება იგი ხელმისაწვდომი? იქნება თუ არა ეს ინფორმაცია ხელმისაწვდომი ოჯახის წევრებისათვის? როგორ ფიქრობ, რა გარემოებების გათვალისწინებით შეიძლება კონფიდენციალური ინფორმაციის გამჟღავნება პაციენტის თანხმობის გარეშე?
 - მეცნიერები დაინტერესდნენ დნმ-ის „ბიბლიოთეკის“ შექმნით. მაგალითად, დაავადების მკურნალობის დროს შეიძლება მნიშვნელოვანი იყოს „ბიბლიოთეკაში“ შეცვლილი გენის ასლის არსებობა დაავადებული ადამიანის ნიმუშთან შესადარებლად. მეცნიერმა ყველაფერი უნდა გააკეთოს, რის საშუალებასაც ტექნოლოგია აძლევს?



რეკლამის შექმნა

დაწერე სარეკლამო ტექსტი და ვიზუალურად გააფორმე – წარმოიდგინე, რომ შენ იწყებ ბიზნესს, რომელიც ეხება გენეალოგიური სქემის შედგენას ადამიანებისთვის, რომელთაც სურთ თავიანთ საგვარეულო ოჯახში გარკვეული ნიშან-თვისების მემკვიდრეობის გამოკვლევა. სარეკლამო განცხადება დაწერე ისეთი მარტივი ენით, რომ ყველა წამკითხველისთვის გასაგები იყოს. რეკლამამ უნდა აჩვენოს, რომ შენ გაქვს ადამიანის გენეტიკის შესახებ აუცილებელი ცოდნა ბიზნესის წარმატებისთვის.



- ზოგჯერ რამდენიმე მეთოდის ერთდროული გამოიყენება საჭირო ადამიანის გენეტიკის კვლევისთვის;
- გენეალოგიური სქემა – ეს არის ოჯახში გენის მემკვიდრეობის ამსახველი სქემა;
- დომინანტური გენეტიკური დარღვევები უფრო იშვიათია, ვიდრე რეცესიული;
- რეცესიულ-აუტოსომური დაავადების მატარებელი შეიძლება იყოს ქალიც და კაციც;
- მხოლოდ ქალები შეიძლება იყვნენ სქესთან შეჭიდული გენეტიკური დარღვევის მატარებელნი;
- სამედიცინო გენეტიკა არის ერთ-ერთი ყველაზე უფრო განვითარებადი მეცნიერების დარგი;
- დღეს სამედიცინო გენეტიკა მედიცინის თეორიული საფუძველია, რომელიც ხსნის გენეტიკური დაავადებების ბიოლოგიურ საფუძველს;
- დაავადების გენეტიკური ბუნების ცოდნა იძლევა ზუსტი დიაგნოსტიკებისა და საჭირო მკურნალობის განხორციელების შესაძლებლობას;
- სამედიცინო გენეტიკის მიღწევები ბიოეთიკასთან დაკავშირებულ ბევრ საკამათო კითხვასაც აჩენს.

რა მნიშვნელობა აქვს თანამედროვე ბიოტექნოლოგიის განვითარებას სამედიცინო სფეროში?



● ჯანმრთელობა და დაავადება:

სამედიცინო ბიოტექნოლოგია, ვაქცინები, გენეტიკური დაავადებების დიაგნოსტიკა, ადამიანის დაავადებათა მოდელირება, მოდელური ცხოველური ორგანიზმები, „ნოკაუტირებული“ ცხოველები, ქსენოტრანსპლანტაცია, გენური თერაპია, ნანობიოტექნოლოგია.



ზოგიერთ ცხოველში, მაგალითად, თაგვებში, მეცნიერების მიერ სპეციალურად „გამორთული“/„ნოკაუტირებული“ რომელიმე გენი. სურათ 1.97-ზე მარცხნივ წარმოდგენილია ნოკაუტირებული თაგვი, რომელშიც არ ფუნქციონირებს ცილა ლეპტინის მკოდირებელი გენი. ეს ცილა აკონტროლებს ორგანიზმის მიერ საკვების მოხმარებას.

- როგორ ფიქრობ, რა მიზნით ახდენენ ცხოველებში გენების ნოკაუტირებას?
- სურათზე გამოსახულ ნოკაუტირებულ თაგვს ადამიანის რა პრობლემის გამოსაკვლევად გამოიყენებენ?



სურ. 1.97.

სამედიცინო ბიოტექნოლოგია სამედიცინო მიმართულებას, რომელიც გულისხმობს არა მარტო დაავადების დიაგნოსტიკასა და პრევენციულ ღონისძიებებს, არამედ სხვადასხვა დაავადების მკურნალობასაც. სამედიცინო ბიოტექნოლოგია განვითარების ათობით წელს ითვლის. მაგ., ალექსანდრე ფლემინგმა 1928 წელს სოკო პენიცილიუმში პირველმა აღმოაჩინა ანტიბიოტიკი პენიცილინი; ჯერ კიდევ ასი წლის წინ მედიცინაში იყენებდნენ წურბელას, როგორც „სისხლგამომშვევ“ საშუალებას; თუმცა დღეს მეცნიერების ყურადღებას ეს ცხოველი იპყრობს სხვა რამის გამო: მისი ნერწყვი შეიცავს შედედებული სისხლის დამშლელ ფერმენტებს, რომელთა ეფექტურად გამოყენება შესაძლებელია ტვინის ინსულტისა და გულის ინფარქტის დროს.

რეკომბინანტული დნმ-ის ტექნოლოგიების დანერგვამ დიდი გავლენა იქონია მედიცინის სფეროზე. ადამიანის გენომის პროექტმა

უსაზღვრო შესაძლებლობები შექმნა გენეტიკურ დაავადებათა დიაგნოსტიკისა და დაავადებათა მკურნალობის მოლეკულური საშუალებებისთვის. ახლახან გაიშიფრა ფუტკრის გენომიც, რომელსაც გამოიყენებენ არა მარტო ფუტკრის გენეტიკისა და ქცევის შესასწავლად, არამედ ფუტკრის შხამით გამოწვეული ალერგიული რეაქციების მიზეზების დასადგენადაც. ქვემოთ გთავაზობთ თანამედროვე სამედიცინო ბიოტექნოლოგიაში მიღწევის რამდენიმე მაგალითს.

მნიშვნელოვანია ისეთი მეთოდების გამოყენება, რომლებიც **მემკვიდრული დაავადების ფენოტიპურ გამოვლენას შეასუსტებს**. ორგანიზმში შეჰყავთ ნივთიერებები, რომელთა სინთეზი დაზიანებული/დეფექტური გენის გამო ვერ ხერხდება. მაგალითად, მემკვიდრული დიაბეტის მქონე ადამიანებს ენიშნებათ სპეციალური დიეტა და იღებენ ჰორმონ ინსულინს. ფენილკეტონურიის მქონე ადამიანებს არ აქვთ ფერმენტები, რომლებიც საჭიროა ტკბილი გემოს ხელოვნური ნივთიერებების შემცველი სასმელების მოსაწოდებლად. ამიტომ ამ პრობლემის მქონე ადამიანებს ეკრძალებათ ასეთი სასმელების მიღება.

სამედიცინო ბიოტექნოლოგიაში დიდ როლს ასრულებენ მიკროორგანიზმები. მაგ., გენეტიკური ინჟინერიით შექმნილი გენმოდიფიცირებული მიკროორგანიზმები გამოიყენება სამკურნალო მიზნით ისეთი ცილების მისაღებად, როგორიცაა ინსულინი, სისხლის შედედების

ფაქტორები, ზრდის ჰორმონი, ფერმენტები, ასევე, იყენებენ ვაქცინებისა და ანტისხეულების საწარმოებლად და სხვ.

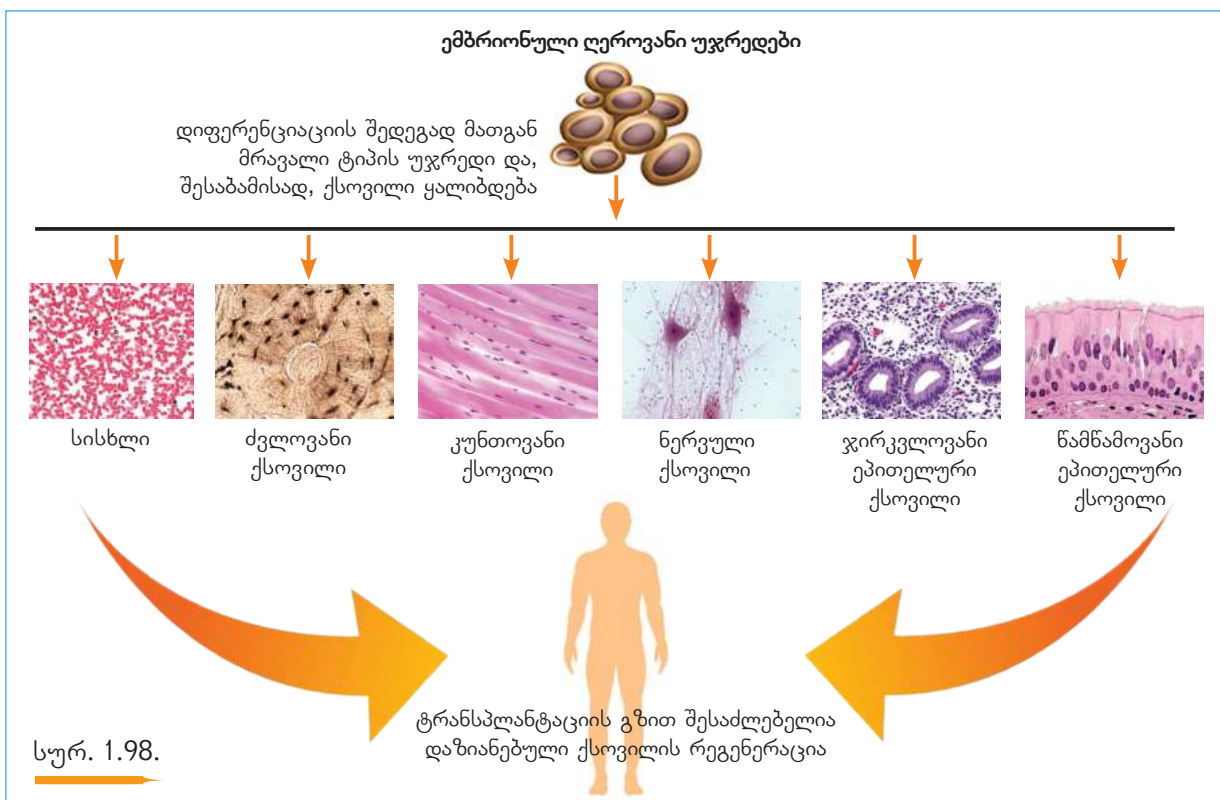
სხვადასხვა ორგანიზმიდან მიღებულ ზოგიერთ ქიმიურ ნივთიერებას წარმატებით იყენებენ მედიცინაში. მაგ., ზღვის ქვაზე მიწებულ ნიჟარის მოცილება თუ გიცდიათ, მაშინ მიხვდებით, თუ რამდენად ძლიერია ბუნებრივი ცილოვანი ნებო. ასეთი ცილების გამოყენების დიდი პერსპექტივაა მედიცინაში. იგი ადვილად ემორჩილება დაშლას/დეგრადაციას და იშვიათად იწვევს იმუნურ პასუხს. ამიტომ ასეთი ბუნებრივი ცილოვანი ნებოს გამოყენება შეიძლება მყესებისა და მოტეხილი ძვლების „შესანებებლად“, კბილის კარიერული ღრმულის ამოსაცხებად.

ადამიანთა დაავადებების მიმდინარეობისა და მკურნალობის საშუალებების კვლევის საქმეში დიდ როლს ასრულებენ ე.წ. **მოდელური ცხოველები**. ხშირად ამ მიზნით თავგებს იყენებენ, მაგალითად, ტრანსგენურ თავგებს. პირველ ასეთ ცხოველს „ონკოთაგვი“ უწოდეს. მათ ყოველთვის უფითარდებოდათ კიბო, რადგან შეიცავდნენ უჯრედების გამრავლებისა და დიფერენცირების მაკონტროლებელ მუტანტ გენს. მეცნიერები ონკოთაგვს იყენებენ

ნებენ კიბოს მიმდინარეობის შესწავლისა და კიბოს საწინააღმდეგო სამკურნალო პრეპარატების გამოცდის მიზნით. სხვა ტრანსგენურ თავგებს იყენებენ დიაბეტის, თავის ტვინის განვითარებისა და ფუნქციების შესასწავლად და სხვ.

ზოგიერთ თავგეში კი სპეციალურად/წინასწარგანზრახვით „გამორთულია“/„ნოკაუტირებულია“ ზოგიერთი გენი. ასეთ თავგებს „ნოკაუტირებულს“ უწოდებენ. ისინი ძალიან სასარგებლოა გენების ფუნქციებისა და გენეტიკური დაავადებების შესასწავლად, რადგან მკვლევარს შეუძლია კონკრეტული გენების ექსპრესიისა და ნიშან-თვისებების ცვლილებაზე დაკვირვება. მაგალითად, მეცნიერები ნოკაუტირებულ თავგებს იყენებენ ადამიანში სიმსუქნის განვითარების გამოსაკვლევად (სურ. 1.98).

ლეროვანი უჯრედების* ტექნოლოგიები სამედიცინო ბიოტექნოლოგიის ერთ-ერთი ყველაზე ახალი და იმედის მომცემი მიმართულებაა, მაგრამ მათი დანერგვაც ფართო დისკუსიის საგანია. ლაბორატორიულ პირობებში შესაძლებელია „აიძულო“ ლეროვანი უჯრედები, ჩამოყალიბდნენ ნებისმიერ ქსოვილად (სურ. 1.98.); მათი გამოყენება კი შესაძლებელია



ბელი იქნება დაზიანებული ქსოვილებისა და ორგანოების ჩანაცვლებისთვის/რეგენერაციისთვის (იხ. X კლ. წიგნი, II ნაწილი, გვ.40).

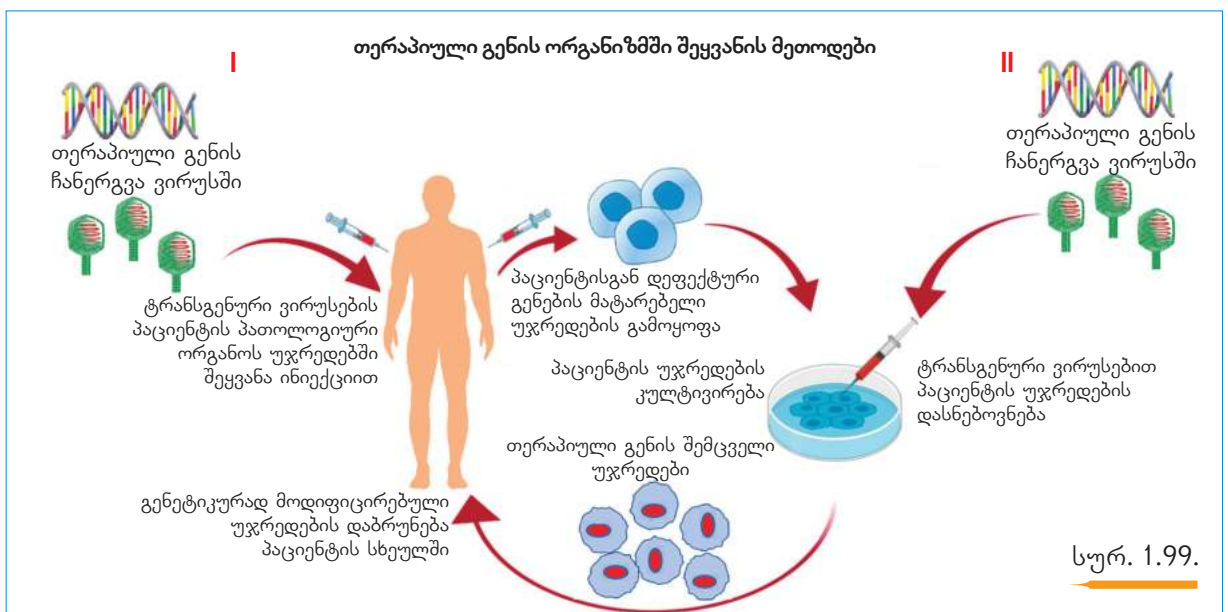
დაზიანებული ორგანოებისა და ქსოვილების გამო იტანჯება მილიონობით ადამიანი, რომლებიც წლობით ელოდებიან ტრანსპლანტაციისთვის* დონორ ორგანოებსა და ქსოვილებს. ტრანსპლანტაციისთვის ორგანოების პოტენციურ წყაროდ ითვლებიან ღორები, რადგან მათი და ადამიანის ორგანოები როგორც ზომის, ისე ფუნქციების მიხედვით, თითქმის ერთნაირია. მაგრამ ადამიანის იმუნური სისტემა ებრძვის ყველაფერს, რასაც უცხოოდ აღიქვამს. იმუნური სისტემა ამოიცნობს ღორის უჯრედების პლაზმური მემბრანის გლიკოპროტეინებს, რამდენიმე საათში გადანერგილი ორგანოს სისხლძარღვებში სისხლი შეედღება და ტრანსპლანტატი* კვდება.

მეცნიერებმა შექმნეს გენეტიკურად მოდიფიცირებული ღორები, რომელთა უჯრედებს არ აქვთ ისეთი გლიკოპროტეინები, რომლებსაც ადამიანის იმუნური სისტემა უცხოოდ აღიქვამდა. შესაბამისად, ასეთი ღორების ორგანოებისა და ქსოვილების ადამიანში ტრანსპლანტაციისთვის გამოყენება შეიძლება. ერთი სახეობიდან მეორეში ორგანოს გადანერგვას ქსენოტრანსპლანტაცია ეწოდება. ქსენოტრანსპლანტაციის კრიტიკოსები იმით არიან შემოფოთებული, რომ ღორებიდან ადამიანში ტრანსპლანტაციის შედეგად ღორის

ვირუსებმა შეიძლება გადალახონ სახეობრივი ბარიერი და იგი ადამიანებში კატასტროფული მასშტაბით გავრცელდეს. მათი შემოფოთება არ არის საფუძველს მოკლებული. ამის დამადასტურებელ ფაქტებად მოჰყათ ის, რომ ზოგიერთი ყველაზე საშიში პანდემია განვითარდა იმის შედეგად, რომ ცხოველების ვირუსებმა განიცადეს ახალ მასპინძელთან – ადამიანებთან – ადაპტაცია.

ავტომობილის ან კომპიუტერის დაზიანებული დეტალის შეცვლა ადვილია. თუ ადამიანს აქვს დაზიანებული/დეფექტური გენი, რომელიც დაავადებას იწვევს, შეიძლება თუ არა ამ გენის შეცვლა? სამედიცინო ბიოტექნოლოგიის ერთ-ერთი ყველაზე განვითარებული და პერსპექტიულია გენური თერაპია. მედიკამენტური მკურნალობის ნაცვლად, გენური თერაპია პაციენტებს მკურნალობის სხვა ინსტრუმენტს სთავაზობს. გენური თერაპია არის ადამიანის გენომში დეფექტური გენის შეცვლა ან ახალი გენის დამატება დაავადებისგან განკურნების მიზნით. მას საფუძვლად გენური ინჟინერია უდევს.

გენურ თერაპიას ბევრი ტექნიკური პრობლემა ახლავს. პირველ რიგში, საჭიროა ნორმალური, ანუ ე.წ. თერაპიული გენის კლონირება; უნდა დაიტესტოს, თუ რამდენად უსაფრთხოა იგი ადამიანისთვის; შემდეგ ეს გენი უნდა მოხვდეს საჭირო უჯრედებში და ამისთვის უნდა შეირჩეს ორგანიზმში გადატანის მეთოდი (სურ.1.99).

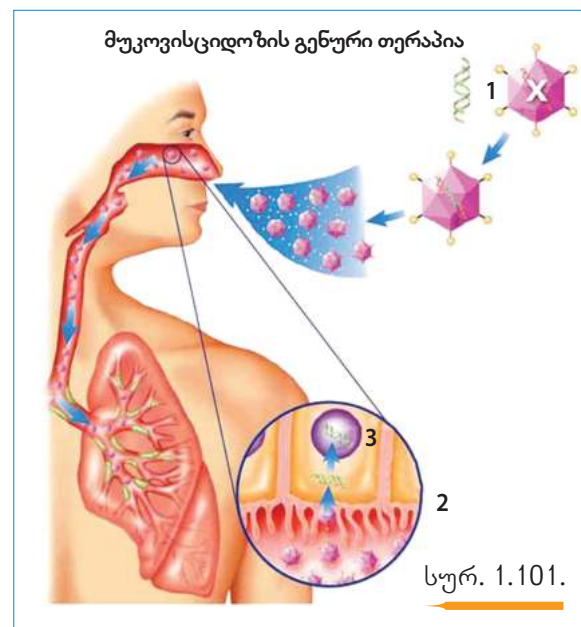
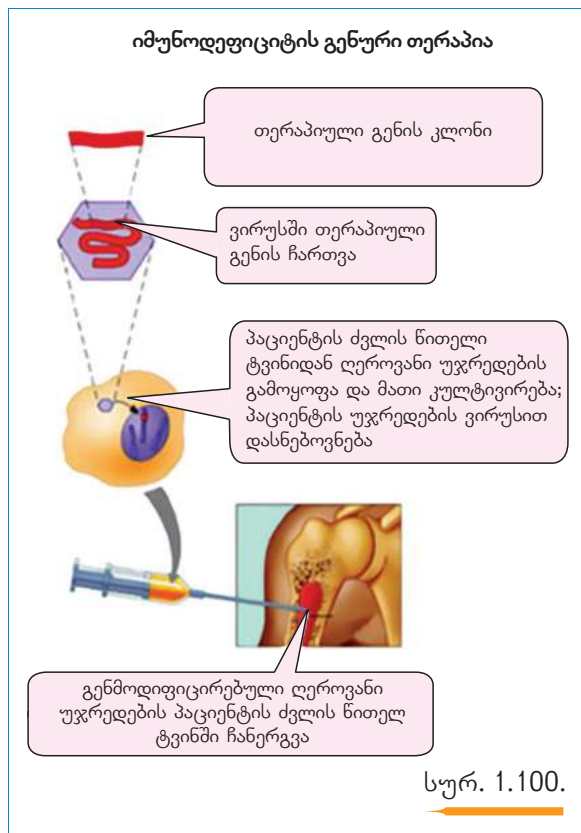


თუმცა იმის შემდეგაც, რაც მეცნიერებმა შეიმუშავეს სასურველი გენის გადატანის მეთოდები, საჭიროა გენის ექსპრესიის რეგულაცია, რომ ამ გენის მიხედვით ძალიან ბევრი ან ძალიან ცოტა ცილა არ სინთეზირდეს. მეცნიერებმა ისიც უნდა განსაზღვრონ, ახალი გენი იმოქმედებს თუ არა სხვა გენებზე. ბევრმა ექსპერიმენტმა გამოავლინა დადებითი ხანგრძლივი მოქმედების შედეგები. გენური თერაპიის მაღალი დადებითი პოტენციალის გამო, ამ სფეროში გამოკვლევები გრძელდება.

გენური თერაპიის პირველი ნარმატებული გამოცდა შედგა 1990 წელს. ამ მეთოდით მკურნალობა გამოიყენეს იმუნოდეფიციტის მძიმე ფორმით დაავადებული 4 წლის გოგონას, აშანთი დე სილვას, სამკურნალოდ. მას დაზიანებული ჰქონდა გენი, რომლის გარეშე სისხლის თეთრი უჯრედები იღუპება; ამიტომ ორგანიზმი ვირუსებისა და ბაქტერიებისადმი დაუცველი იყო. გოგონას ძვლის წითელი ტვინის ღეროვან უჯრედებში მოდიფიცირებული ვირუსის საშუალებით შეიყვანეს თერაპიული გენის ასლი (სურ. 1.100). ეს ღეროვანი უჯრედები მრავლდებიან და წარმოქმნიან სისხლის უჯრედებს ახალი გენით. 6 თვის შემდეგ აშანთის ორგანიზმში სისხლის თეთრი უჯრედების რაოდენობამ ნორმას მიაღწია. ახლა ის ზრდასრული ადამიანია და ნორმალური ცხოვრებით აგრძელებს სიცოცხლეს.

პაციენტში თერაპიული გენის შეყვანის კიდევ ერთი საშუალებაა აეროზოლი. მაგ., მუკოვისციდოზით (სურ. 1.101) დაავადებულ ავადმყოფს ცხვირის ღრუში შეასხურებენ აეროზოლს (1), რომელიც შეიცავს დონორის უჯრედებიდან გამოყოფილ ნორმალურ გენს (X). აეროზოლი შეაღწევს ცხვირის ლორწოვანი და ფილტვის ქსოვილების უჯრედებში (2), მასთან ერთად უჯრედებში, კერძოდ, ბირთვში შეაღწევს თერაპიული გენიც (3) და უჯრედებში დაიწყება საჭირო ცილის სინთეზი.

გენური თერაპიის დიდი ნაწილი ჯერ კიდევ ექსპერიმენტების დონეზეა. მაგალითად, მეცნიერები ამუშავებენ გენური თერაპიით კიბოს მკურნალობის სხვადასხვა მეთოდს. ერთ-ერთი მეთოდის არსი მდგომარეობს ისეთი გენის ჩართვაში, რომელიც ასტიმულირებს ადამიანის იმუნურ სისტემას კიბოს უჯრედების



წინააღმდეგ. მეორე მეთოდი კი გულისხმობს კიბოს უჯრედებში „თვითმკვლელი“ გენების შეტანას. ეს გენები ამ უჯრედებში ააქტიურებენ კიბოს საწინააღმდეგო პრეპარატს, ამრიგად, კლავენ მხოლოდ კიბოს უჯრედებს.

მიმდინარეობს ალცჰაიმერის* მკურნალობის კლინიკური გამოცდა, როდესაც ოპერა-

ციის დროს თავის ტვინის დაზიანებულ უჯრედებში შეჰყავთ თერაპიული გენი. ახალი გენი ნერვულ უჯრედებს აიძულებს დაასინთეზიროს მეტი რაოდენობით ისეთი ცილა, რომელიც ახანგრძლივებს ნეირონების სიცოცხლეს. მეცნიერები, ასევე, იწყებენ ჰემოფილიის მკურნალობას გენური თერაპიით. ერთ-ერთი მეთოდი მდგომარეობს ღვიძლში თერაპიული გენების შეყვანაში: რეკომბინანტული დნმ შეჰყავთ ვირუსში, რომლითაც შემდეგ ასნებოვნებენ პაციენტის ღვიძლის დაავადებულ უჯრედებს.

მიუხედავად იმისა, რომ უკვე ცნობილია ადამიანის გენომი, შესწავლილია ბევრი როგორც მემკვიდრული, ისე შეძენილი დაავადების გენეტიკური საფუძველი, ჯერჯერობით გენური თერაპია ბევრ კითხვას ბადებს:

- რამდენად უსაფრთხო იქნება ვექტორი – იგი მხოლოდ განსაზღვრულ უჯრედებში შეიჭრება? იქნება უსაფრთხო, არ გამოიწვევს იმუნური სისტემის დამცველობით პასუხს?
- შეყვანილი გენის მოქმედება მდგრადი იქნება თუ დროებითი?
- როგორ შეიძლება გავაკონტროლოთ შეტანილი გენის აქტივობა ისე, რომ უჯ-

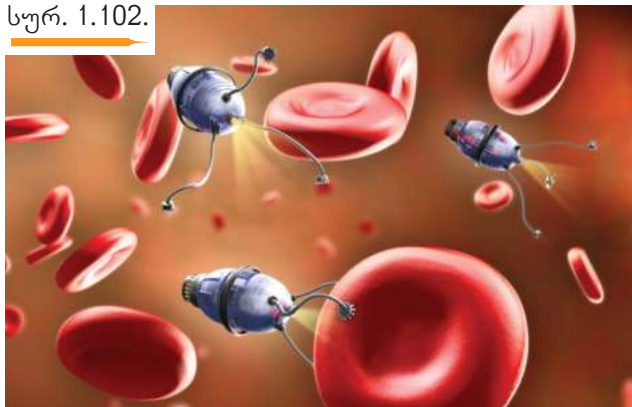
რედმა ცილოვანი პროდუქტი შესაბამისი რაოდენობით წარმოქმნას სწორ დროს და სწორ ადგილას?

- როგორ შეიძლება დარწმუნებული ვიყოთ, რომ თერაპიული გენის ჩასმა უჯრედის სხვა აუცილებელ ფუნქციებს არ მიაყენებს ზიანს?

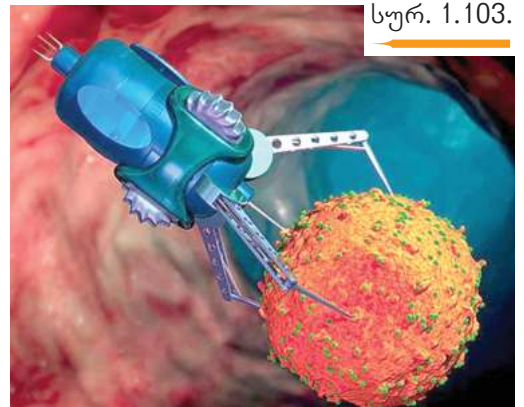
დნმ-ის კონტროლის ელემენტებისა და გენთა ურთიერთქმედებების უფრო ღრმად და უკეთესად შესწავლა დაეხმარება მეცნიერებს ამ კითხვებზე პასუხის გაცემაში.

სამედიცინო ბიოტექნოლოგიის უახლესი საინტერესო სფეროა **ნანომედიცინა***, რომელიც იკვლევს ნანობიოტექნოლოგიის* გამოყენებას ადამიანის ჯანმრთელობის სფეროში. მეცნიერები ფიქრობენ, რომ ეს პანანა სტრუქტურები (რომლებიც ნანომეტრებში იზომება) ორგანიზმში უამრავ ფუნქციას შეასრულებენ, მაგალითად, სისხლის წნევის, სისხლში ჟანგბადის შემცველობისა და ჰორმონების კონცენტრაციაზე მონიტორინგისთვის ნანოსენსორების ფუნქციას. ასევე გამოიყენებენ კანცეროუჯრედების აღმოსაჩენად (სურ. 1.102), სისხლძარღვებიდან ქოლესტეროლის ფოლაქის მოსაცილებლად (სურ. 1.103), თერაპიული გენის ორგანიზმში შესაყვანად და სხვ.

სურ. 1.102.



სურ. 1.103.



ქვემოთ მოცემული დავალების სამი პირობიდან შეარჩიე ერთ-ერთი და შეასრულე. დავალების პირობა 1.

დღეს მენდელს რომ წაეკითხა ნებისმიერი ქვეყნის გაზეთები და პოპულარული სამეცნიერო ჟურნალები, მოესმინა ტელეგადაცემები გენეტიკაში მიღწეული სიახლეების შესახებ, ის, ალბათ, ძალიან გაოცებული დარჩებოდა. ტერმინი „გენი“ ერთ-ერთ ყველაზე გავრცელებულ სიტყვად გადაიქცა. თითქმის ყოველდღიურად მონმენი ვართ ბიოტექნოლოგიაში მიღწეული ახალ-ახალი წარმატებისა.



მოიძიე ქართულ და უცხოურ პრესაში და/ან ინტერნეტში განთავსებული სტატიები, რომელთა სათაურში არის სიტყვები: „ბიოტექნოლოგია“, „კლონირება“, „ტრანსგენური ორგანიზმები“, „ადა-მიანის გენომის პროექტი“ და/ან „გენური ინჟინერია“. მოამზადე **სამეცნიერო მოხსენება**, რომელშიც მოკლედ მიმოიხილავ ბიოტექნოლოგიის ძირითად მიმართულებებსა და თანამედროვე მიღწევებს.

დავალების პირობა 2.

ბოლო წლებში დიდი აღმავლობით ვითარდება ტრანსგენური/გენმოდიფიცირებული ორგანიზმების (გმო) შექმნის ტექნოლოგია. გმო-ს ქმნიან როგორც მათგან გმ საკვები პროდუქტების მისაღებად, ასევე, ფართოდ იყენებენ მედიცინაში. საზოგადოების აზრი გმო და გმ საკვების მიღების შესახებ განსხვავებულია.

აწარმოე სოციოლოგიური კვლევა. შეადგინე გამოკითხვის კითხვარი, შეარჩიე საზოგადოებიდან რესპონდენტები, აწარმოე გამოკითხვა და შემდეგ გამოკითხულის შედეგების ანალიზი. კითხვარი ისე შეადგინე, რომ დაადგინო რესპონდენტების აზრი: რაში იყენებენ გმო-ს? მეცნიერებმა უნდა გააგრძელონ თუ არა გმო-ს შექმნა? იყენებენ ან მომავალში გამოიყენებენ თუ არა გმ საკვებ პროდუქტებს? რამდენად უსაფრთხოდ მიაჩნიათ გმ პროდუქტები? რამდენად საჭიროა გმ ორგანიზმებიდან მიღებული საკვები პროდუქტის ეტიკეტზე მითითებული იყოს: „გმ საკვები პროდუქტი“? მოამზადე ჩატარებული **კვლევის ანგარიში** და წარუდგინე მასწავლებელს.

დავალების პირობა 3.

მას შემდეგ, რაც ბიოტექნოლოგია ისე განვითარდა, რომ შესაძლებელია მემკვიდრეობით მატერიალურ მასალაზე – დნმ-ზე – სხვადასხვა მანიპულაციის წარმოება, მაგალითად, დნმ-ის ანაბეჭდებისა და რეკომბინანტული დნმ-ის დამზადება, გენეტიკური ტესტირება, საზოგადოებაში არაერთგავრვანი დამოკიდებულება გაჩნდა ამ სფეროს შემდეგი განვითარების მიმართ. დაუშვათ, შენ მუშაობ ბიოტექნოლოგიის ლაბორატორიაში, რომელიც სპეციალიზებულია დნმ-ზე სხვადასხვა მანიპულაციის ჩატარებაზე. შექმენი **საინფორმაციო ბუკლეტი** და მასში პოპულარული სამეცნიერო ენით აღწერე დნმ-ის ანაბეჭდებისა და რეკომბინანტული დნმ-ის გამოყენების სფეროები. ახსენი, რატომაა გენეტიკური ტესტირება სანდო და ზოგჯერ აუცილებელიც კი.

შენი ნაშრომის პრეზენტაციისას ხაზგასმით წამოაჩინე:

- უჯრედის რომელ სტრუქტურებსა და მათ ფუნქციებთან დაკავშირებულ აღმოჩენებს იყენებენ ბიოტექნოლოგიაში?
- მოლეკულური ბიოლოგიის რომელ კომპონენტებსა და მათ ფუნქციებთან დაკავშირებულ აღმოჩენებს იყენებენ ბიოტექნოლოგიაში?
- რა საფრთხე შეიძლება შეუქმნას ბიომრავალფეროვნებას ტრანსგენურმა ორგანიზმებმა?
- რა დადებითი მნიშვნელობა აქვს ველური სახეობების კლონირებას გადაშენების პირას მყოფი სახეობისთვის და რა საფრთხე შეიძლება შეუქმნას მან ბიომრავალფეროვნებას?
- გამრავლების რომელი ფორმა იძლევა ბუნებრივი კლონირების მაგალითებს?
- რა მეთოდები შეიმუშავეს ხელოვნურად ორგანიზმების კლონების მისაღებად?
- რა გავლენა შეიძლება მოახდინოს გმ საკვებმა პროდუქტებმა ადამიანის ჯანმრთელობაზე?
- რა არის სამედიცინო ბიოტექნოლოგიის ძირითადი მიმართულებები და რა მნიშვნელობა აქვს მის განვითარებას ადამიანის ჯანმრთელობის სფეროში?
- გენურმა თერაპიამ რა დადებითი და უარყოფითი გავლენა შეიძლება იქონიოს ადამიანის ჯანმრთელობაზე.



1. რა მეთოდებით ხდება გენეტიკური დარღვევებისა და დაავადებების დიაგნოსტიკა?
2. რა არის სამედიცინო ბიოტექნოლოგია? აღწერე მისი ძირითადი მიმართულებები.
3. რა მნიშვნელობა აქვს რესტრიქციულ ფერმენტებსა და რეკომბინანტულ დნმ-ს გენური თერაპიისთვის?
4. გენური თერაპია რით ჰგავს და რით განსხვავდება ტრანსგენური/გენმოდიფიცირებული ორგანიზმის შექმნის ტექნოლოგიისგან?
5. გენური თერაპია როგორაა დამოკიდებული გენეტიკურ ტესტირებაზე?

6. 1990-იან წლებში ქსოვილური ინჟინერიის ფუძემდებელმა დოქტორ ჩარლზ ვაკანტმა და მისმა კოლეგებმა მსოფლიო საზოგადოებას წარუდგინეს თავი, რომელსაც ზურგზე „დასხმული“ ჰქონდა ყურები. თავს ზურგზე მიამაგრეს ადამიანის ყურის ნიჟარის ფორმის ბიოდეგრადირებადი ყალიბი და მასში განათავსეს ძროხის ხრტილოვანი ქსოვილის უჯრედები. ყალიბში წარმოიქმნა ხრტილი; როდესაც ყალიბი დაიშალა, ხრტილი უკვე საკმაოდ მყარი იყო და ყურის ნიჟარის ფორმა ჰქონდა. რა თქმა უნდა, ეს არ გადაუნერგავთ ადამიანისთვის, რადგან ძროხის უჯრედებისგან იყო შექმნილი. ამ ექსპერიმენტმა აჩვენა, რომ ქსოვილთა ინჟინერია შესაძლებელია და მას დიდი პერსპექტივა აქვს. ჯგუფში იმსჯელეთ ამ ექსპერიმენტის შესახებ და უპასუხეთ კითხვებს: 1) რატომ არ შეიძლებოდა მისი ადამიანისთვის გადანერგვა? 2) თუ ადამიანის უჯრედებისგან იქნებოდა მიღებული ეს სტრუქტურა, მისი გადანერგვის შემთხვევაში რა ტიპის პრობლემას მოუგვარებდა ადამიანს და რას ვერა? რატომ ფიქრობ ასე? 3) მომავალში რა პერსპექტივა აქვს ასეთი ტიპის ქსოვილური ინჟინერიის პროდუქტს? 4) ბიოეთიკის რა ტიპის კითხვებს ბადებს ზემოთ განხილული ექსპერიმენტი? როგორ რეგულირდება იგი კანონმდებლობით?



7. რვა წლის გოგონას დასჭირდა თავისი ახალშობილი ძმის ჭიპლარიდან ღეროვანი უჯრედების გადანერგვა, რადგან იგი სისხლის მძიმე გენეტიკური დაავადებით იყო დაავადებული. მაგრამ ამ ამბის განსაკუთრებულობა იმაშია, რომ გოგონას ძმა არ დაიბადებოდა, თუ არა დის ავადმყოფობა. ბიჭი ინ ვიტრო განაყოფიერებით ჩაისახა და ექიმებმა საგანგებოდ გამოარჩიეს სხვა ემბრიონებისგან დედის საშვილოსნოში გადასანერგად. შერჩევა მას შემდეგ მოხდა, როდესაც ტესტებმა აჩვენეს, რომ იგი არ იყო ამ დაავადების მატარებელი და მისი ღეროვანი უჯრედები ყველაზე თავსებადი იქნებოდა დისთვის. ჯგუფში განიხილეთ ეს ისტორია და იმსჯელეთ ბიოეთიკის რა ტიპის კითხვებს აღძრავს იგი. შენ როგორ მოიქცეოდი, გოგონას მშობელი რომ ყოფილიყავი.
8. თუ გენეტიკურად მოდიფიცირებული მცენარე გამოყვანილია ადამიანის ზრდის ჰორმონის მისაღებად, რა ეთიკური სირთულეები შეიძლება მოჰყვეს ამას და რა საკითხები უნდა გავითალისწინოთ?
9. ამ თემიდან შეარჩიე, მაგ., გენური ინჟინერია, კლონირება ან ტრანსგენური ორგანიზმები. განიხილე/იმსჯელე, ეს საკითხები როგორაა დაკავშირებული მემკვიდრეობის შესახებ მენდელის შრომებთან და დნმ-ის სტრუქტურასა და ფუნქციებთან.



- სამედიცინო ბიოტექნოლოგია არის ბიოტექნოლოგიის ერთ-ერთი ყველაზე განვითარებადი მიმართულება;
- სამედიცინო ბიოლოგია იყენებს გენეტიკის სფეროში მიღწეულ მეცნიერულ წარმატებებსა და თანამედროვე ტექნოლოგიებს;
- სამედიცინო ბიოლოგიის სფეროებია: 1) გენეტიკური დაავადებების დიაგნოსტიკა; 2) ორგანიზმიდან (მათ შორის გმო-დან) ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების (ფერმენტების, ჰორმონების, ვიტამინების, ანტისხეულების) წარმოება სამკურნალო მიზნით; 3) მოდელური ცხოველების გამოყენება გენეტიკური დაავადების მიმდინარეობის შესასწავლად და სამკურნალო საშუალებების გამოსაცდელად; 4) ორგანოებისა და ქსოვილების ტრანსპლანტაციისთვის გმო-ს გამოყენება; 5) ღეროვანი უჯრედების გამოყენება დაზიანებული ქსოვილებისა და ორგანოების რეგენერაციისთვის; 6) გენური თერაპია; 7) ნანომედიცინა (სამედიცინო ბიოტექნოლოგიის ყველაზე ახალი და საინტერესო სფერო).

საკითხის მიმოხილვა

მთავარი იდეები

- გრეგორ მენდელმა ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგების ანალიზის საფუძველზე პირველმა ახსნა მემკვიდრეობითობის გენეტიკური საფუძვლები; მენდელმა თავისი კვლევების საფუძველზე აღმოაჩინა მემკვიდრეობის გენეტიკური კანონზომიერებები: ერთ-გვაროვნების წესი, დათიშვის კანონი და გენების დამოუკიდებლად განაწილების კანონი;
- დათიშვის კანონი არის განსხვავებული ალელური გენების მატარებელი გამეტების შემთხვევითი და თავისუფალი შერწყმის შედეგი, რაც შეესაბამება ალბათობის კანონებს; იმისათვის, რომ ყველა ტიპის გამეტა თანაბარი რაოდენობით წარმოიქმნას და ყველა შესაძლო კომბინაციით შეხვედრის თანაბარი ალბათობა ჰქონდეთ, მათი რიცხვი დიდი უნდა იყოს;
- ერთი გენის ალელები ერთმანეთს სცილდება მეიოზური გაყოფის დროს, როდესაც ერთმანეთს სცილდებიან ჰომოლოგიური ქრომოსომები, შესაბამისად, გამეტა ყოველი ალელური წყვილიდან შეიცავს მხოლოდ ერთს; ალელების წყვილადობა აღდება განაყოფიერების დროს, ოღონდ ერთ ალელს იღებს ერთი მშობლისგან და მეორეს – მეორე მშობლისგან;
- ალელური გენების ურთიერთქმედების ფორმებია: სრული დომინირება, არასრული დომინირება, კოდომინირება; არასრული დომინირების დროს F_2 -ში გენოტიპური და ფენოტიპური დათიშვის თანაფარდობა ერთნაირია;
- მენდელის გენების დამოუკიდებლად განაწილების კანონი მოქმედებს იმ შემთხვევაში, როდესაც სხვადასხვა გენი ლოკალიზებულია არაჰომოლოგიურ ქრომოსომებში; მორგანის გენების შეჭიდულობის კანონი კი მოქმედებს იმ შემთხვევაში, როდესაც სხვადასხვა გენი ჰომოლოგიური წყვილის ერთ ქრომოსომაშია ლოკალიზებული;
- სქესის განსაზღვრის ქრომოსომული მექანიზმის მიხედვით, სქესი განისაზღვრება განაყოფიერების მომენტში და სქესის განმსაზღვრელი არის ჰეტეროგამეტური ორგანიზმი;
- მომავალი ორგანიზმის სქესის ადრეულ ეტაპზე დადგენას შეიძლება პრაქტიკული მნიშვნელობა ჰქონდეს;
- სასქესო ქრომოსომებში ლოკალიზებული გენების მემკვიდრეობას სქესთან შეჭიდულ მემკვიდრეობას უწოდებენ;
- გენოტიპი ორგანიზმისათვის დამახასიათებელი გენების მექანიკური ჯამი არ არის, არამედ იგი არის გენების რთული სისტემა, რომელშიც გენები ერთმანეთთან ურთიერთქმედებენ; არაალელური გენების ურთიერთქმედების ფორმებია: კომპლემენტარობა, ეპისტაზი და პოლიმერია;
- ფენოტიპი ყალიბდება გენოტიპისა და გარემო ფაქტორების ურთიერთქმედებით;
- ცვალებადობა შეიძლება იყოს მემკვიდრული ან არამემკვიდრული; არამემკვიდრულ ცვალებადობას მოდიფიკაციური ცვალებადობა ეწოდება;
- გენოტიპური ცვალებადობის დროს გენოტიპი იცვლება, ამიტომ იგი მემკვიდრეობით გადაეცემა; გენოტიპური ცვალებადობის ფორმებია კომბინაციური და მუტაციური ცვალებადობა;
- მუტაციები, არასრული დომინირება და კოდომინირება, კომბინაციური ცვალებადობა მნიშვნელოვნად ზრდის გენეტიკურ მრავალფეროვნებასა და, შესაბამისად, ბიომრავალფეროვნებას;
- მუტაციებმა შეიძლება გამოიწვიოს გენეტიკური დარღვევები და დაავადებები;

- მეცნიერული კვლევების შედეგად დადგენილმა ბიოლოგიური სისტემების სტრუქტურისა და ფუნქციების, მათში მიმდინარე ბიოლოგიური პროცესების კანონზომიერებების გააზრებამ ხელი შეუწყო ბიოტექნოლოგიის თანამედროვე მიმდინარეობების განვითარებას;
- ბიოტექნოლოგია ეფუძნება დნმ-ის რეპლიკაციისა და ცილების ბიოსინთეზის მექანიზმებს, რესტრიქტაზებისა და პოლიმერაზების მოქმედების თავისებურებებს;
- გენური ინჟინერიის შედეგად ორგანიზმის გენომში ჩართავენ უცხო გენს და ახალი ნიშან-თვისებების ორგანიზმი მიიღება; მას ტრანსგენურ/გენმოდულირებულ ორგანიზმს (გმო) უწოდებენ;
- გმო-მ შეიძლება შექმნას ეკოლოგიური პრობლემები და საფრთხე შეუქმნას ადამიანის ჯანმრთელობას;
- კლონი არის გენეტიკურად იდენტური გენი, უჯრედი ან ორგანიზმი, ხოლო კლონირება არის პროცესი, რომლის შედეგადაც მიიღება გენეტიკურად იდენტური გენი, უჯრედი ან ორგანიზმი (შესაბამისად, დნმ-ის რეპლიკაციის, უჯრედების მიტოზური გაყოფისა და ორგანიზმთა უსქესო გამრავლების შედეგად);
- ბუნება თავად იძლევა კლონირების უამრავ მაგალითს (დნმ-ის რეპლიკაცია, უჯრედების მიტოზური გამრავლება, უსქესო გამრავლება);
- რეცესიულ-აუტოსომური დაავადების მატარებელი შეიძლება იყოს ქალიც და კაციც; მხოლოდ ქალები შეიძლება იყვნენ სქესთან შეჭიდული გენეტიკური დარღვევის მატარებელნი;
- დაავადების გენეტიკური ბუნების ცოდნა იძლევა ზუსტი დიაგნოსტიკისა და საჭირო მკურნალობის განხორციელების შესაძლებლობას;
- სამედიცინო ბიოტექნოლოგია არის ბიოტექნოლოგიის ერთ-ერთი ყველაზე განვითარებადი მიმართულება; სამედიცინო ბიოტექნოლოგია იყენებს გენეტიკის სფეროში მიღწეულ მეცნიერულ წარმატებებსა და თანამედროვე ტექნოლოგიებს; სამედიცინო ბიოტექნოლოგიის ყველაზე ახალი და საინტერესო სფეროა ნანომედიცინა.
- ბიოტექნოლოგიის თანამედროვე მიღწევები ბიოეთიკასთან დაკავშირებულ ბევრ საკამათო კითხვასაც აჩენს.

დავალბები თვითშეფასებისთვის

ტესტური დავალებები

1. რეცესიული ნიშანი:
 - ა. გამოვლინდება მხოლოდ ჰომოზიგოტურ მდგომარეობაში;
 - ბ. გამოვლინდება ნებისმიერ თაობაში;
 - გ. გამოვლინდება მხოლოდ ჰეტეროზიგოტურ მდგომარეობაში;
 - დ. პირველ თაობაში შენიღბულია.
2. ნიშან-თვისებების მემკვიდრეობის რომელი კანონი გამოვლინდება ორგანიზმების ასეთი შეჯვარებისას: $Aa \times Aa$?
 - ა. ერთგვაროვნების;
 - ბ. დათიშვის;
 - გ. გენთა შეჭიდულობის;
 - დ. გენთა დამოუკიდებელი მემკვიდრეობის.
3. ბარდაში მაღალი ღეროს მაკოდირებელი ალელური გენი დომინირებს დაბალი ღეროს მაკოდირებელ ალელზე. შეაჯვარეს ერთმანეთთან ამ ნიშნით ჰეტეროზიგოტური მცენარეები. შთამომავლობაში დაბალღეროიანი მცენარის მიღების ალბათობაა:

- ა. 100%; ბ. 75%; გ. 50%; დ. 25%.
4. განსაზღვრე გენოტიპური დათიშვის თანაფარდობა F_1 თაობის ჰიბრიდებში რუხი (Aa) და თეთრი ბოცვრების (aa) შეჯვარებისას.
- ა. 25% Aa : 75% aa; გ. 50% Aa : 50% aa;
ბ. 25% aa : 75% Aa; დ. 25% AA : 50% Aa : 25% aa.
5. რომელი დებულებაა მართებული?
- ა. ალელური გენები ერთსა და იმავე ქრომოსომაშია ლოკალიზებული.
ბ. ალელური გენები ქრომოსომათა ჰომოლოგიურ წყვილშია ლოკალიზებული.
გ. ალელური გენები არაჰომოლოგიურ ქრომოსომებშია ლოკალიზებული.
6. სრული დომინირების დროს ჰეტეროზიგოტების მონოჰიბრიდული შეჯვარების დროს პირველ თაობაში ფენოტიპური დათიშვის თანაფარდობა იქნება:
- ა. 3:1; ბ. 1:3; გ. 1:2:1; დ. 1:1:1.
7. დომინანტური და რეცესიული ჰომოზიგოტური კლასიკური დიჰიბრიდული შეჯვარების შედეგად მიღებულ მეორე თაობაში ფენოტიპების რიცხვი არის:
- ა. 1; ბ. 2; გ. 3; დ. 4.
8. დიჰეტეროზიგოტური ინდივიდების კლასიკური დიჰიბრიდული შეჯვარების შედეგად მიღებულ პირველ თაობაში –
- 1) ფენოტიპების რიცხვი არის:
ა. 1; ბ. 2; გ. 3; დ. 4.
- 2) დიჰეტეროზიგოტების წილი არის:
ა. 1/2; ბ. 1/4; გ. 1/8; დ. 1/16.
- 3) ჰომოზიგოტების წილი არის:
ა. 1/2; ბ. 1/4; გ. 1/8; დ. 1/16.
- 4) მონოჰომოზიგოტების წილი არის:
ა. 1/2; ბ. 1/4; გ. 1/8; დ. 1/16.
9. დომინანტური ჰომოზიგოტური გენოტიპია:
- ა. Aabb; გ. AABb; ე. AaBb; ზ. AaBB;
ბ. aaBB; დ. aabb; ვ. AABb; თ. aaBb.
10. რეცესიული ჰომოზიგოტური გენოტიპია:
- ა. Aabb; გ. AABb; ე. AaBb; ზ. AaBB;
ბ. aaBB; დ. aabb; ვ. AABb; თ. aaBb.
11. დიჰეტეროზიგოტური გენოტიპია:
- ა. Aabb; გ. AABb; ე. AaBb; ზ. AaBB;
ბ. aaBB; დ. aabb; ვ. AABb; თ. aaBb.
12. მონოჰეტეროზიგოტური გენოტიპია:
- ა. Aabb; გ. AABb; ე. AaBb; ზ. AaBB;
ბ. aaBB; დ. aabb; ვ. AABb; თ. aaBb.
13. მენდელის გენების დამოუკიდებელი განაწილების კანონი სამართლიანია:
- ა. ალელური გენების მიმართ;
ბ. არაალელური გენების მიმართ, რომლებიც არაჰომოლოგიურ ქრომოსომებში არიან ლოკალიზებული;
გ. ერთ ქრომოსომაში ლოკალიზებული გენების მიმართ;

დ. არაალელური გენების მიმართ, რომლებიც სასქესო ქრომოსომებში არიან ლოკალიზებული.

14. როგორია დიჰეტეროზიგოტურ ორგანიზმში –

1) **Ab** გამეტის წარმოქმნის ალბათობა?

ა. 2%; ბ. 16%; გ. 25%; დ. 100%.

2) **AB** გამეტის წარმოქმნის ალბათობა?

ა. 2%; ბ. 16%; გ. 25%; დ. 100%.

15. ადამიანის ერთ-ერთი მემკვიდრული დაავადება განპირობებულია **X**-ქრომოსომაში მოთავსებული დომინანტური გენით. დაავადების მქონე მამაკაცი დაქორწინდა ჯანმრთელ ქალზე. მათი შვილებიდან –

1) ვაჟების რა ნაწილი შეიძლება იყოს ამ ოჯახში დაავადების მქონე?

ა. 0%; ბ. 25%; გ. 50%; დ. 100%.

2) გოგოების რა ნაწილი შეიძლება იყოს ამ ოჯახში დაავადების მქონე?

ა. 100%; ბ. 25%; გ. 50%; დ. 75%.

16. ჯანმრთელი მამაკაცი დაქორწინდა ჯანმრთელ ქალზე, რომელიც ჰემოფილიის გენის მატარებელია. ასეთი ქორწინებით –

1) ჯანმრთელი ბავშვის დაბადების ალბათობაა:

ა. 100%; ბ. 75%; გ. 50%; დ. 25%.

2) ჰემოფილიის მქონე ბავშვის დაბადების ალბათობაა:

ა. 100%; ბ. 75%; გ. 50%; დ. 25%.

3) ჰემოფილიის მქონე ბიჭის დაბადების ალბათობაა:

ა. 100%; ბ. 75%; გ. 50%; დ. 25%.

4) ჯანმრთელი ბიჭის დაბადების ალბათობაა:

ა. 100%; ბ. 75%; გ. 50%; დ. 25%.

5) ჰემოფილიის მქონე გოგოს დაბადების ალბათობაა:

ა. 0%; ბ. 75%; გ. 50%; დ. 25%.

6) ჯანმრთელი გოგოს დაბადების ალბათობაა:

ა. 100%; ბ. 75%; გ. 50%; დ. 25%.

17. მონიშნეთ მოდიფიკაციური ცვალებადობის თავისებურებანი:

ა. უეცრად აღმოცენდება;

ბ. სახეობის ცალკეულ ინდივიდებში მჟღავნდება;

გ. ცვალებადობა რეაქციის ნორმით განისაზღვრება;

დ. ერთი სახეობის ყველა ინდივიდში მსგავსად გამოვლინდება;

ე. ახასიათებს შეგუებითი/ადაპტური ხასიათი;

ვ. მემკვიდრეობით გადაეცემა შთამომავლობას.

პასუხი:

×	×	×
---	---	---

18. ქრომოსომის **ABCD** მონაკვეთმა განიცადა ასეთი ცვლილება – **ABCCDD**.

1) მუტაციის რომელ ფორმას მიეკუთვნება აღნიშნული ცვლილება?

ა. გენომურს; ბ. ქრომოსომულს; გ. გენურს; დ. წერტილოვანს.

2) ქრომოსომული მუტაციის რომელი სახეა?

ა. დელეცია; ბ. ინვერსია; გ. ტრანსლოკაცია; დ. დუპლიკაცია.

19. ქრომოსომის ABCDEFG მონაკვეთის მოცემული ცვლილება – AEDCBFG,

1) მუტაციის რომელ ფორმას მიეკუთვნება აღნიშნული ცვლილება?

ა. გენომურს; ბ. ქრომოსომულს; გ. გენურს; დ. წერტილოვანს.

2) ქრომოსომული მუტაციის რომელი სახეა?

ა. დელეცია; ბ. ინვერსია; გ. ტრანსლოკაცია; დ. დუპლიკაცია.

20. ქრომოსომის მოცემული მონაკვეთი – ABCDKF, განიცდის შემდეგნაირ ცვლილებას: ABCD.

1) მუტაციის რომელ ფორმას მიეკუთვნება აღნიშნული ცვლილება?

ა. გენომურს; ბ. ქრომოსომულს; გ. გენურს; დ. წერტილოვანს.

2) ქრომოსომული მუტაციის რომელი სახეა?

ა. დელეცია; ბ. ინვერსია; გ. ტრანსლოკაცია; დ. დუპლიკაცია.

სწორია თუ მცდარი?

განსაზღვრე დებულება/მტკიცებულება სწორია თუ მცდარი. თუ სწორად მიგაჩნია, დაწერე „სწორია“; თუ მცდარად, გახაზული სიტყვა შეცვალე ისეთი სიტყვით/სიტყვებით, რომ მტკიცებულება სწორი იყოს.

1. ბუტკოს დინგზე სხვა მცენარის მტვრის მარცვლის მოხვედრას თვითდამტვერვა ეწოდება.

2. რეცესიული ალელის ეფექტი ჩანს ჰეტეროზიგოტურ ორგანიზმში.

3. სასქესო უჯრედებს გამეტებსაც უწოდებენ.

4. თეორიულად მოსალოდნელი დათიშვა გამოვლინდება მხოლოდ მცირერიცხოვან შთამომავლობაში.

5. განაყოფიერების დროს სპერმატოზოიდი და კვერცხუჯრედი ერწყმის ერთმანეთს და გამეტა წარმოიქმნება.

6. ადამიანი, რომელსაც აქვს გენოტიპი Rh^+Rh^- , რეზუსუარყოფითიანია.

7. მენდელის გენების დამოუკიდებლად განაწილების კანონი მოქმედებს იმ შემთხვევაში, როდესაც სხვადასხვა გენი ლოკალიზებულია ჰომოლოგიურ ქრომოსომებში.

8. მორგანის გენების შეჭიდულობის კანონი მოქმედებს იმ შემთხვევაში, როდესაც სხვადასხვა გენი არაჰომოლოგიურ ქრომოსომებშია ლოკალიზებული.

9. ნამგლისებრანემიის მიხედვით ჰეტეროზიგოტური ადამიანები მალარიისადმი მდგრადები არიან.

10. თუ კაცი ჰემოფილიის მქონეა, მას დიპლოიდურ უჯრედებში აქვს ამ ნიშნის ერთი ალელური გენი.

11. გენური მუტაციები გამოწვეულია ქრომოსომის სტრუქტურის ცვლილებით.

12. ქრომოსომული მუტაციები გამოწვეულია ქრომოსომების რიცხვის ცვლილებით.

13. გენოტიპი ყალიბდება გენოტიპისა და გარემო ფაქტორების ურთიერთქმედებით.

14. დაუნის სინდრომის მქონე ადამიანს დამატებითი ქრომოსომა აქვს ქრომოსომების მე-16 წყვილში.

15. ციტოგენეტიკურ მეთოდს იყენებენ გენის ექსპრესიაზე გარემოს გავლენის გამოსაკვლევად.

- ერთ ნაკვეთზე დათესილი გენეტიკურად ერთგვაროვანი ლობიოს პარკებში (ნაყოფებში) თესლების რაოდენობა მერყეობდა 6-დან 12-მდე. თესლები აიღეს იმ მცენარეებიდან, რომლებიც 8, 9, 10 თესლიან პარკებს იკეთებდა და დათესეს იმავე ნაკვეთზე. 1) რამდენ თესლიან პარკებს განივითარებენ აღმოცენებული მცენარეები? ა. მხოლოდ 8, 9, 10-ს; ბ. თუ კარგი პირობები იქნება 12-ს; გ. ცუდ პირობებში 6-ს; დ. ნებისმიერ შემთხვევაში 6-დან 12-ის ჩათვლით. ახსენი შენი პასუხი. 2) ცვალებადობის რომელი ფორმის მაგალითია აღწერილი სიტუაცია?
- გენი, რომელიც ცნობილია სახელწოდებით **Bt**, აკოდირებს ცილას, რომელიც მწერებს ხოცავს. ამიტომ მას ბუნებრივ პესტიციდს უწოდებენ. მეცნიერებმა გამოიყვანეს კარტოფილისა და სიმინდის გამჯობები, რომლებიც შეიცავენ **Bt** გენს. 1) რა დადებით შედეგს გამოიწვევდა **Bt** გენის შემცველი მცენარეების ჯიშების გამოყვანა? 2) რა გავლენა შეიძლება მოახდინოს ამ ფაქტმა ბიომრავალფეროვნებაზე? 3) რა გავლენა შეიძლება მოახდინოს ამან მეზობელ ნაკვეთზე დათესილ არაგენმოდირებული მცენარეების მოსავალზე?
- წარმოიდგინე, რომ ორი მეზობელი ნაკვეთიდან ერთზე დათესილია გამ სოიო, რომელიც მდგრადია სარეველა მცენარეების მიმართ, ხოლო მეორე ნაკვეთზე – ჩვეულებრივი არაგენმოდირებული ჯიშის სოიო. 1) რა გავლენას მოახდენს ეს ფაქტი სარეველა მცენარეებზე მომავალში? 2) რა პრობლემა შეიძლება შეექმნას არაგენმოდირებული ჯიშს?
- როგორც იცი, **X**-ქრომოსომაში უფრო მეტი გენებია ლოკალიზებული, ვიდრე **Y**-ქრომოსომაში, შესაბამისად, **X**-ქრომოსომაში დნმ-ის მასა გაცილებით მეტია **Y**-ქრომოსომასთან შედარებით. გენეტიკური ტექნოლოგიების გამოყენებით დღეს შესაძლებელია სპერმის დაყოფა ორ ფრაქციად: რომელიც შეიცავს **X**-ქრომოსომიან სპერმატოზოიდებს და რომელიც შეიცავს **Y**-ქრომოსომიან სპერმატოზოიდებს. ამ მიღწევას წარმატებით იყენებენ შინაურ ცხოველებში სასურველი სქესის მისაღებად, რასაც დიდი სამეურნეო მნიშვნელობა აქვს. რამდენად მისაღებად მიგაჩნია სასურველი სქესის ბავშვის ჩასახვის მიზნით ტექნოლოგიის ამ მიღწევის გამოყენება ადამიანის სპერმის გადარჩევისთვის? იმსჯელე ჯგუფში.
- გენეტიკური ინჟინერიის შედეგად შექმნილია სამი სახის „დნმ-დოპინგ“ პრეპარატი. ერთ-ერთი გენი ზრდის ერითროციტებში ჰემოგლობინის, ხოლო კუნთებში მيوგლობინის რაოდენობას. ამიტომ ასეთი პრეპარატით სარგებლობის შემთხვევაში კუნთებს დიდი რაოდენობით ჟანგბადი მიეწოდება და იზრდება ორგანიზმის ამტანობა. მეცნიერებმა პრეპარატი ანემიით დაავადებული ავადმყოფების სამკურნალოდ შექმნეს, მაგრამ ამ პრეპარატს გაუმართლებლად იყენებენ სპორტსმენები. ამჟამად, სპორტის ზოგიერთ სახეობაში რეკორდულმა შედეგებმა ბიოლოგიური შესაძლებლობების ზღვარს მიაღწია. რამდენად გამართლებულად მიგაჩნია გენური დოპინგების სპორტსმენების მიერ გამოყენება? რა შეიძლება დაუპირისპირონ მეცნიერებმა სპორტსმენებში ამ ტენდენციას?

მონაცემების განსჯა (ანალიზი და დასკვნა)

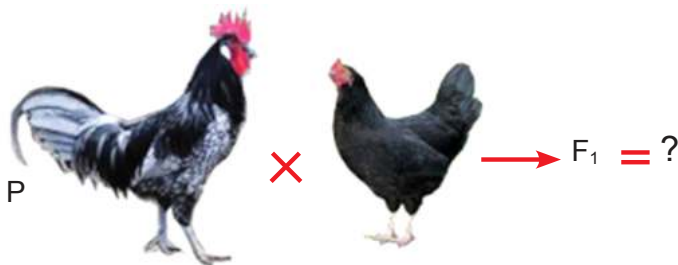
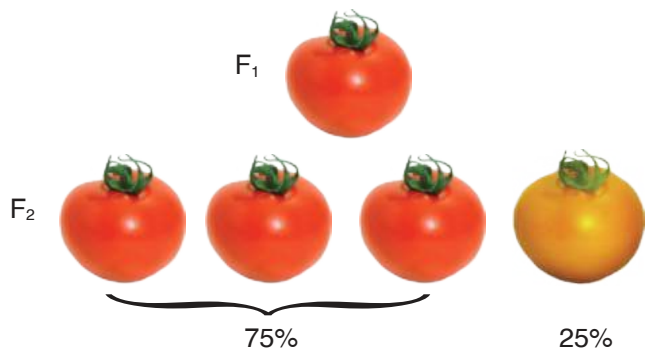
- ძაღვებში მოკლე ბეწვი დომინანტური ნიშანია, ხოლო გრძელი ბეწვი – რეცესიული. მოკლებეწვიანი მშობლების 8 ლეკვიდან 6 მოკლებეწვიანია, 2 კი – გრძელბეწვიანი. როგორია მშობლების გენოტიპები?
- მაღალი გლუვთესლიანი მცენარე შეაჯვარეს დაბალ დანაოჭებულთესლიან მცენარე-

რესთან. მიღებული შთამომავალი შეაჯვარეს უცნობ მცენარესთან, მიღებული ჰიბრიდებიდან $1/2$ მაღალი მრგვალნაყოფიანია, ხოლო $1/2$ მაღალი დანაოჭებულთესლიანი. განსაზღვრე ჰიბრიდისა და უცნობი მცენარის გენოტიპი და ფენოტიპი.

3. სისხლის A და B ჯგუფის ჰეტეროზიგოტური მშობლების შვილებს რომელი ჯგუფის სისხლი შეიძლება ჰქონდეთ?
4. შექმენი შეჭიდულ გენთა რუკა, თუ გენებს შორის კროსინგოვერის სიხშირე არის ასეთი: A-B – 8%, B-C – 10% და A-C – 2%.
5. საოფლე ჯირკვლების უქონლობა მემკვიდრეობით გადაეცემა, როგორც X-ქრომოსომასთან შეჭიდული რეცესიული ნიშანი. ამ ნიშნის მიხედვით ჯანმრთელი კაცი დაქორწინდა ქალზე, რომლის მამას არ ჰქონდა საოფლე ჯირკვლები, ხოლო დედა და მისი წინაპრები ჯანმრთელები იყვნენ. როგორია ამ ოჯახში საოფლე ჯირკვლების გარეშე ბავშვის დაბადების ალბათობა?

ვიზუალური მასალის განსჯა

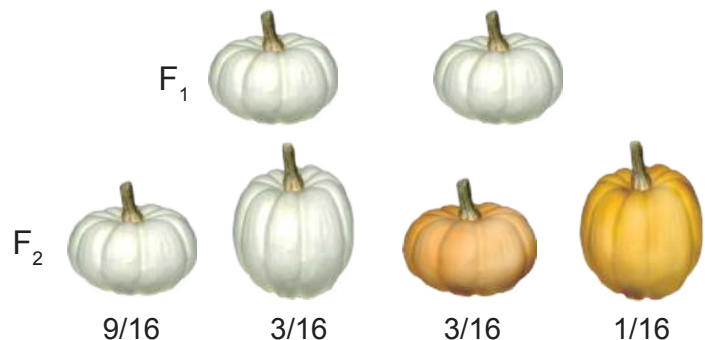
1. სურათზე მოცემული მეორე თაობაში მიღებული შედეგების გამოყენებით განსაზღვრე პომიდორში:
 - 1) მშობლების გენოტიპები; 2) პირველი თაობის გენოტიპი; 3) მეორე თაობის გენოტიპური დათიშვის თანაფარდობა.



2. ანდალუზიური ჯიშის ქათმებში შავი შეფერილობა არასრულად დომინირებს თეთრზე, მათი ჰიბრიდები ცისფერი შეფერილობისაა. სურათზე მოცემული ინფორმაციის მიხედვით განსაზღვრე:
 - 1) მშობლების გენოტიპები; 2) ფენოტიპური დათიშვა პირველ თაობაში; 3) პირველი თაობის გენოტიპური დათიშვის თანაფარდობა.

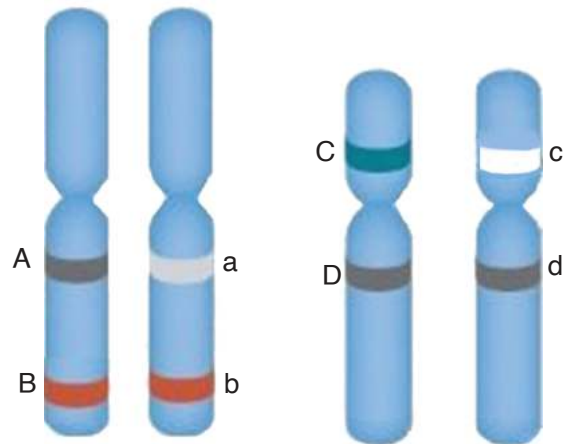
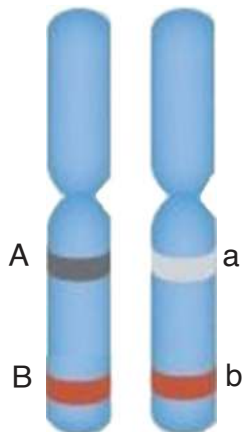
3. შეისწავლე სურათზე ილუსტრირებული გენეტიკური შეჯვარების სქემა (მითითებული ნიშან-თვისებები გოგრებში მემკვიდრეობენ დამოუკიდებლად) და განსაზღვრე:

- 1) როგორი გენოტიპები ექნებათ F_2 -ში მიღებულ გრძელ თეთრნაყოფიან ჰიბრიდებს? 2) როგორი გენოტიპები ექნებათ F_2 -ში მიღებულ დისკოსებურ თეთრნაყოფიან ჰიბრიდებს? 3) როგორი გენოტიპები ექნებათ F_2 -ში მიღებულ გრძელ ყვითელნაყოფიან ჰიბრიდებს?



4) როგორი გენოტიპები ექნებათ F_2 -ში მიღებულ დისკოსებურ ყვითელ ნაყოფიან ჰიბრიდებს?

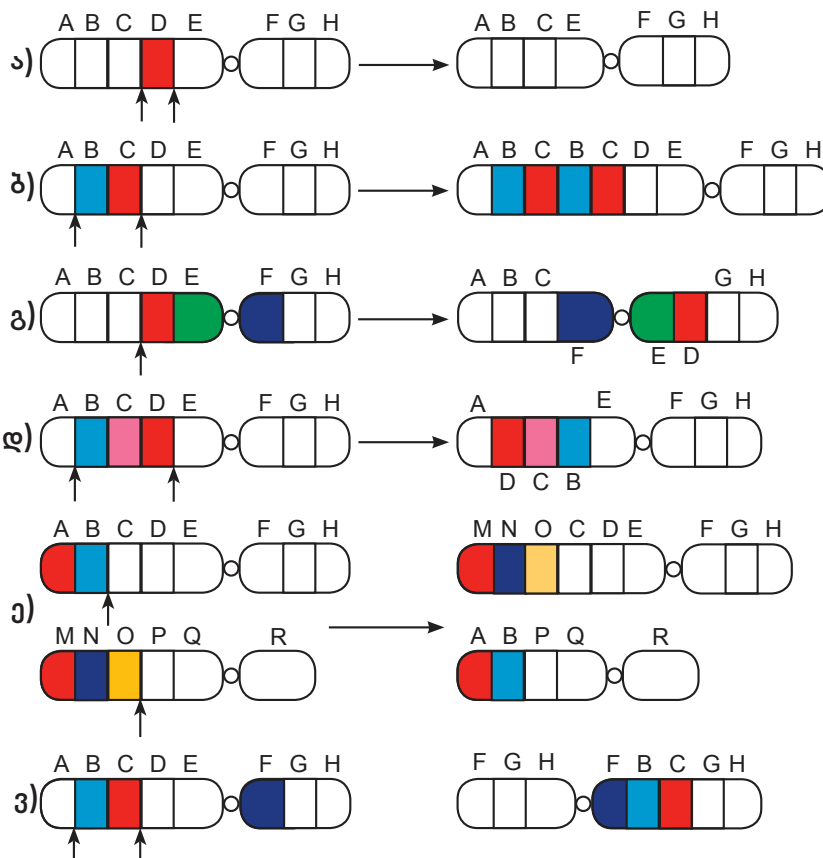
4. 1) რომელი გენებია განთავსებული ჰომოლოგიური ქრომოსომების თითოეულ წყვილში?
2) რომელი გენებია შეჭიდული?
3) რომელი გენები არ არის შეჭიდული?



5. სურათზე მოცემული ინფორმაციის მიხედვით დაწერე –

- 1) არაკროსოვერული გამეტები;
2) კროსოვერული გამეტები.

6. დაადგინე შესაბამისობა ქრომოსომული მუტაციების სახეებსა და სურათზე მოცემულ ქრომოსომულ მუტაციებს შორის.

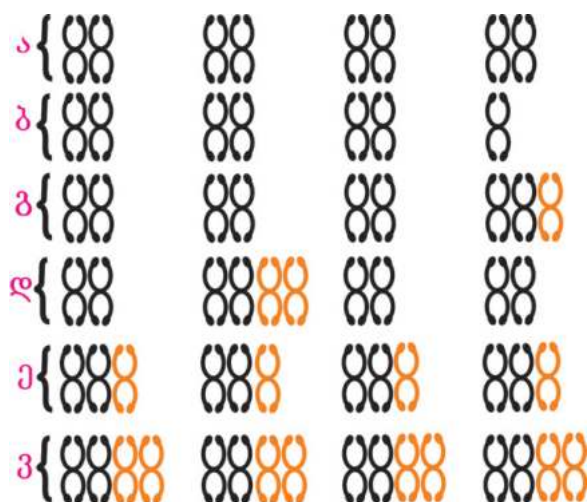


1. ინვერსია
2. დელეცია
3. დუპლიკაცია
4. ტრანსლოკაცია

პასუხი:

	ა	ბ	გ	დ	ე	ვ
1	×	×	×	×	×	×
2	×	×	×	×	×	×
3	×	×	×	×	×	×
4	×	×	×	×	×	×

7. სურათზე მოცემულია გენომური მუტაციები. დაადგინე გენომური მუტაციის სახეები და შესაბამისი აღნიშვნები შეიტანე ცხრილში (გაითვალისწინე, რომ „ა“ ქრომოსომების ნორმალური ნაკრებია).

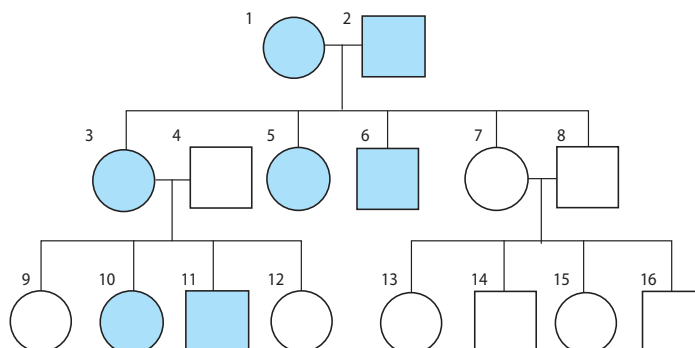


1. მონოსომია
2. ტეტრასომია
3. ტეტრაპლოიდია
4. ტრიპლოიდია
5. ტრისომია

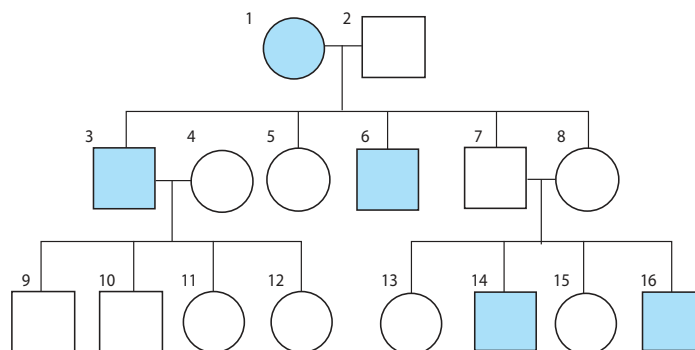
პასუხი:

	ა	ბ	გ	დ	ე	ვ
1	×	×	×	×	×	×
2	×	×	×	×	×	×
3	×	×	×	×	×	×
4	×	×	×	×	×	×
5	×	×	×	×	×	×

8. შეისწავლე გენეალოგიურ სქემაზე მოცემული ინფორმაცია და განსაზღვრე:
- 1) გამოსაკვლევი ნიშან-თვისების მემკვიდრეობის ტიპი – აუტოსომურია თუ სქესთან შეჭიდული;
 - 2) გამოსაკვლევ ნიშან-თვისებას დომინანტური ალელი განსაზღვრავს თუ რეცესიული;
 - 3) გენეალოგიურ სქემაზე წარმოდგენილი თითოეული ინდივიდის გენოტიპი (დომინანტური ალელი აღნიშნე **A** ასოთი, ხოლო რეცესიული ალელი – **a**-თი).



9. შეისწავლე გენეალოგიურ სქემაზე მოცემული ინფორმაცია და განსაზღვრე:
- 1) გამოსაკვლევი ნიშან-თვისების მემკვიდრეობის ტიპი – აუტოსომურია თუ სქესთან შეჭიდული;
 - 2) გამოსაკვლევ ნიშან-თვისებას დომინანტური ალელი განსაზღვრავს თუ რეცესიული;
 - 3) გენეალოგიურ სქემაზე წარმოდგენილი თითოეული ინდივიდის გენოტიპი.



მონაცემების ორგანიზება სქემებში

- სქემა სამუშაო რვეულში გადაიტანე და შეავსე: სქესის განსაზღვრის ქრომოსომული მექანიზმი.

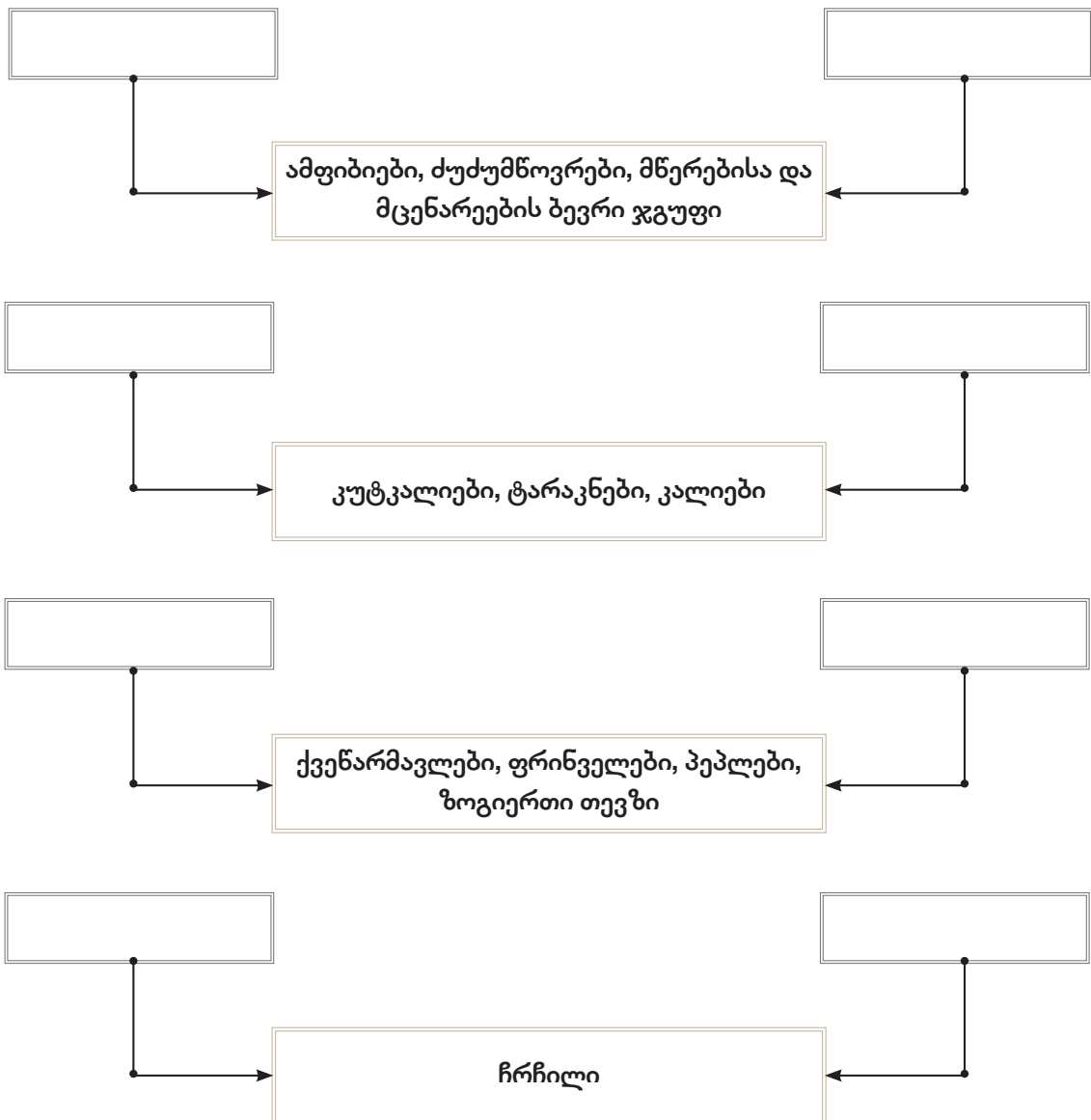
სქესის განსაზღვრის ქრომოსომული მექანიზმი



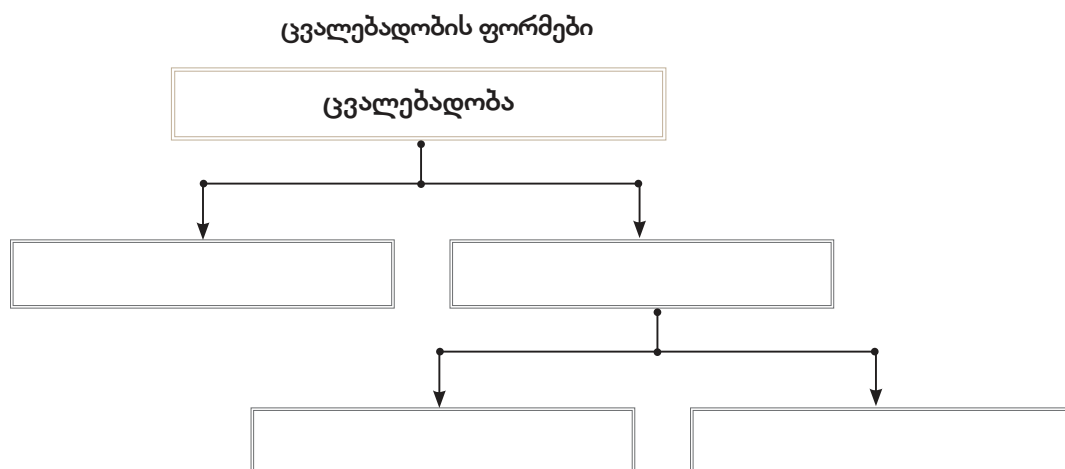
მდედრობითი სქესი



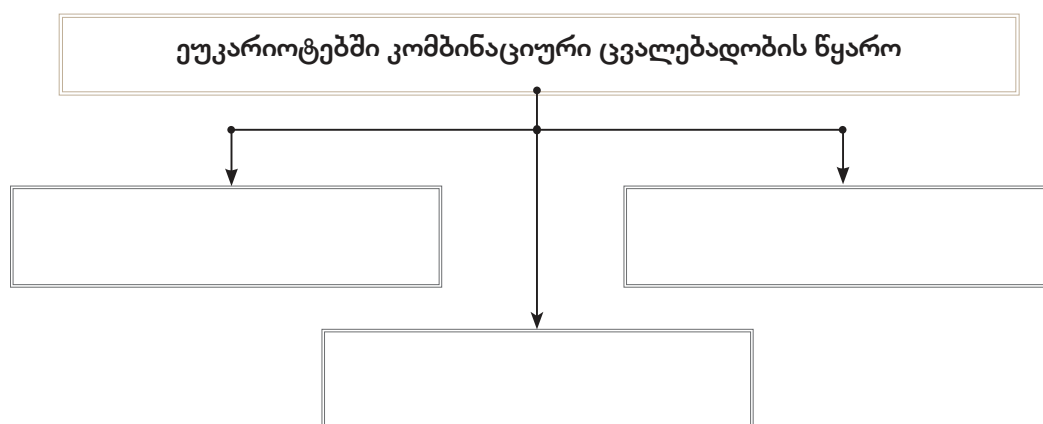
მამრობითი სქესი



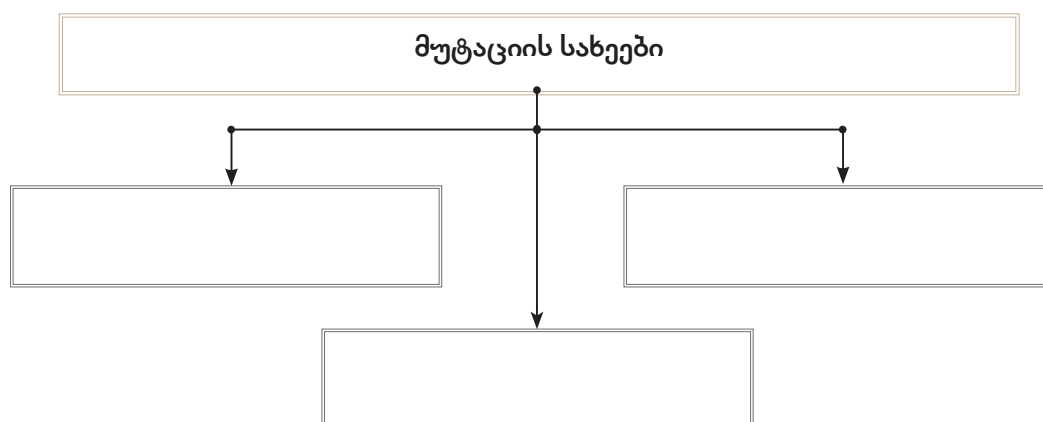
2. სქემა სამუშაო რვეულში გადაიტანე და შეავსე:



3. სქემა სამუშაო რვეულში გადაიტანე და შეავსე:



4. სქემა სამუშაო რვეულში გადაიტანე და შეავსე:



თემა 2. ევოლუცია



ეს უცნაური ძუძუმწოვარა ცხოველი ვარსკვლავცხვირაა, რომელიც ჩრდილოეთ ამერიკაში ცხოვრობს. მას აქვს ვარდისფერი გრძელი დინგი, რომელიც ბოლოვდება ვარსკვლავის ფორმის კანის 24 გამონაზარდით. დინგის ასეთი აგებულების გამო მას შეუძლია ერთდროულად სხვადასხვა მიმართულებით გარემოსთან შეხებით მიიღოს ინფორმაცია. ვარსკვლავცხვირას სუსტი მხედველობა, მაგრამ ძალიან კარგად განვითარებული სმენა და ყნოსვა აქვს. სხეული ხშირი და გრძელი ბეწვითაა დაფარული. მისი საკვებია წყლისა და ხმელეთის მცირე ზომის უხერხემლო ცხოველები. კარგად ცურავს, ხმელეთზე კი გვირაბებს თხრის.

დააკვირდი ვარსკვლავცხვირას სურათს, ტექსტში გაეცანი მის შესახებ მოწოდებულ მცირე ინფორმაციას და უპასუხე კითხვებს:

- როგორ ფიქრობ, როგორია მისი საცხოვრებელი გარემო? შეძლებისდაგვარად აღწერე იგი.
- რა შეგუებულობა აქვს ასეთ გარემოში ცხოვრებასთან?
- რა ეხმარება საკვების მოპოვებაში?
- რატომ არსებობენ ისეთი უცნაური ცხოველები, როგორიც ვარსკვლავცხვირაა?
- როგორ ფიქრობ, რა როლი შეიძლება შეესრულებინა ევოლუციას ამ ცხოველის გარეგნობისა და ქცევების ჩამოყალიბებაში?

2.1. ორგანული სამყაროს კლასიფიკაცია

რა მნიშვნელობა აქვს კლასიფიკაციას?

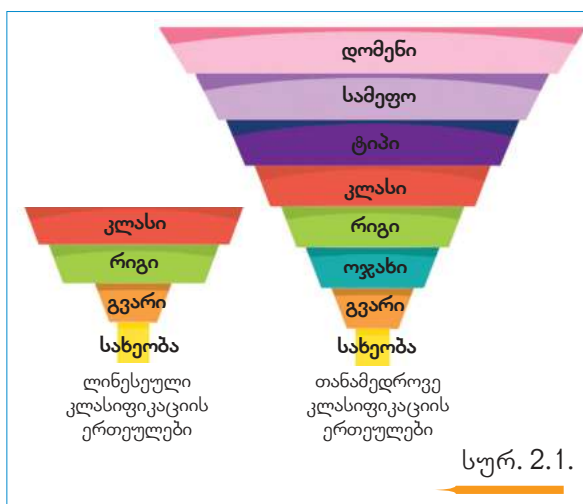


- **ბიომრავალფეროვნება:** სისტემატიკა, ტაქსონომია – სისტემატიკის ერთეულები (სახეობა, გვარი, ოჯახი, რიგი, კლასი, ტიპი, სამეფო, დომენი).
- **სტრუქტურა და ფუნქცია:** სახეობის სტრუქტურა.



იქამდე, სანამ ორგანიზმების დაჯგუფებისა და დასახელების საყოველთაოდ მიღებული ხერხი არ არსებობდა, ნატურალისტები თავიანთ აღმოჩენილ ორგანიზმებს ისე აჯგუფებდნენ და აძლევდნენ დასახელებას, როგორც მათ სურდათ.

- რა პრობლემებს უქმნიდა ეს მეცნიერებასა და ამ დარგში მომუშავე მეცნიერებს?



გარემოზე შენი საკუთარი დაკვირვებიდან, ბიოლოგიის გაკვეთილებზე მიღებული ინფორმაციიდან იცი, რომ დედამიწაზე ორგანიზმების უამრავი სახეობა ცხოვრობს. დღემდე მეცნიერებმა გამოავლინეს, დაახლოებით, ორ მილიონ-ნახევარი სახეობა და ჯერ კიდევ ბევრი სამუშაოა ამ მიმართულებით ჩასატარებელი. ზოგიერთი ბიოლოგის შეფასებით, ტროპიკულ ტყეებში კიდევ ერთი მილიონი სახეობის აღმოჩენაა შესაძლებელი, ასევე, შეუსწავლელია წყლების სიღრმეებში მცხოვრები ორგანიზმები.

იმისთვის, რომ გაადვილდეს სიცოცხლის ასეთი მრავალფეროვნების შესწავლა, მეცნიერები მათ აჯგუფებენ. მეცნიერების დარგს, რომელიც ორგანიზმებს ჯგუფებში ანაწილებს, მათ შორის მსგავსება-განსხვავების მიხედვით, **სისტემატიკა/კლასიფიკაცია** ეწოდება. თანამედროვე სისტემატიკის ფუძემდებლად მიიჩნევა შვედი ბოტანიკოსი **კარლ ლინე**. მან შეიმუშავა სისტემატიკის/კლასიფიკაციის სისტემა, რომელიც მეცნიერებაში 1750 წლიდან დამკვიდრდა. მან გამოიკვლია და აღწერა ათიათასობით მცენარე და ცხოველი. ისინი მსგავსება-განსხვავების მიხედვით გააერთიანა ჯგუფებში, რომელთაც კლასიფიკაციის ერთეულები ეწოდება. სურათ 2.1-ზე წარმოდგენილია კარლ ლინესა და თანამედროვე სისტემატიკის/კლასიფიკაციის ერთეუ-



სურ. 2.2.

Viola silvestris – ტყის ია



Viola odorata – სურნელოვანი ია



Triturus cristatus – სავარცხლიანი ტრიტონი



Triturus vulgaris – ჩვეულებრივი ტრიტონი

სურ. 2.3.

ლები. ყოველი კლასიფიკაციის ერთეული გაერთიანებულია ზემდგომი დონის ერთეულში. მაგ., სამეფოში გაერთიანებულია რამდენიმე ტიპი, ტიპში რამდენიმე კლასი და ა.შ.

ლინემ სისტემატიკის უმცირეს ერთეულად სახეობა მიიჩნია და, ასევე, მოგვცა სახეობის განმარტება. ლინეს მიხედვით, **სახეობა** არის ინდივიდთა ჯგუფი, რომელთაც აქვთ მსგავსი აგებულება და შეჯვარებისას ნაყოფიერ შთამომავლობას იძლევიან. მანვე შემოიღო სახეობის სახელწოდების აღნიშვნის **ორმაგი/ბინალური ნომენკლატურა**. ბინალური ნომენკლატურა არის ყოველი სახეობისთვის ლათინურ ენაზე სახელწოდების მიწოდების სისტემა, რომელიც ორი სიტყვისგან შედგება.

აქედან ერთი მიუთითებს გვარზე, რომელსაც ეს სახეობა მიეკუთვნება, ხოლო მეორე – ამ გვარის კონკრეტულ სახეობაზე. მაგ., სახეობა *Viola silvestris* (ტყის ია) – *Viola* (ია) გვარია, ხოლო *silvestris* (ტყის) კი ამ გვარის ერთ-ერთ სახეობაზე მიუთითებს (სურ. 2.2). სახეობების სახელწოდებების საერთაშორისოდ აღიარებული სისტემა მრავალმხრივ სასარგებლოა. პირველ რიგში, ლათინურ ენაზე აღნიშნული სახეობის სახელწოდება ყველა ეროვნების მეცნიერისთვის გასაგებია, და მეორეც, საყოველთაოდ აღიარებული სახელები მეცნიერებს აძლევს საშუალებას, ერთმანეთში ისაუბრონ კონკრეტულ სახეობებზე ყოველგარი გაუგებრობისა და დაბნეულობის გარეშე.



რა კრიტერიუმების მიხედვით შეიძლება სახეობის დახასიათება?

სახეობისთვის დამახასიათებელ ნიშან-თვისებებს კრიტერიუმებს უწოდებენ. განასხვავებენ **მორფოლოგიურ, ფიზიოლოგიურ, ბიოქიმიურ, გენეტიკურ, ეკოლოგიურ, გეოგრაფიულ** კრიტერიუმებს.

მორფოლოგიური კრიტერიუმი განსაზღვრავს გარეგანი და შინაგანი აგებულების მსგავსებას, თუმცა მხოლოდ ამ კრიტერიუმით ვერ ხერხდება სახეობის განსაზღვრა. ბუნებაში არსებობს სახეობა – ორეულები, რომლებიც მსგავსია აგებულების თავისებურებებით, მაგრამ არ ეჯვარებიან ერთმანეთს, რადგან განსხვავდებიან ქრომოსომათა რიცხვით. მაგ., არსებობს მალარიის კოლოს 6 და შავი ვირთაგვას 2 სახეობა-ორეული (38 და 48 ქრომოსომით), ასევე, ბუგრების, ხოჭოების, თევზების (სურ. 2.4) და სხვ. სახეობა-ორეულები.



სურ. 2.4.

სახეობა ორეულები:
Puntius pentazona და *Puntius hexazona*

ფიზიოლოგიური კრიტერიუმი განსაზღვრავს ერთი სახეობის ინდივიდების სასიცოცხლო თვისებების მსგავსებას, უპირველეს ყოვლისა, გამრავლების ხერხის, ვადებისა და

ქცევების მსგავსებას. სხვადასხვა სახეობის ინდივიდები, როგორც წესი, არ ეჯვარებიან ერთმანეთს ან ეჯვარებიან და უნაყოფო შთამომავლობას იძლევიან. თუმცა ბუნებაში არსებობს ისეთი სახეობებიც (კანარის ჩიტის, სკვინჩას, ალვის ხის, ტირიფის ზოგიერთი სახეობა), რომლებიც ეჯვარებიან ერთმანეთს და ნაყოფიერ შთამომავლობას იძლევიან. მაშასადამე, არც ფიზიოლოგიური კრიტერიუმი საკმარისი იმის დასადგენად, რომელ სახეობას ეკუთვნის ინდივიდი.

ბიოქიმიური კრიტერიუმი ეფუძნება ორგანიზმის უნარს, წარმოქმნას სპეციფიკური ცილები, რომლებიც, თავის მხრივ, განპირობებულია დნმ-მოლეკულაში ნუკლეოტიდების უნიკალური თანმიმდევრობით.

გენეტიკური კრიტერიუმი ეყრდნობა იმ ფაქტს, რომ ყოველი სახეობისთვის დამახასიათებელია გარკვეული სახის ქრომოსომული კომპლექტი – კარიოტიპი. რადგან სხვადასხვა სახეობას განსხვავებული კარიოტიპი აქვს, ისინი ერთმანეთთან შეჯვარებისას, ძირითადად (გამონაკლისების გარდა), უნაყოფო შთამომავლობას ტოვებენ.

ეკოლოგიური კრიტერიუმის საფუძველია იმ გარემო ფაქტორთა ერთობლიობა, რომელშიც სახეობა არსებობს. ბუნებაში სახეობა იკავებს იმ არეალს, რომელშიც მისი არსებობისათვის საჭირო გარემო პირობებია: საკვები, თავშესაფარი, ტემპერატურა, ტენიანო-

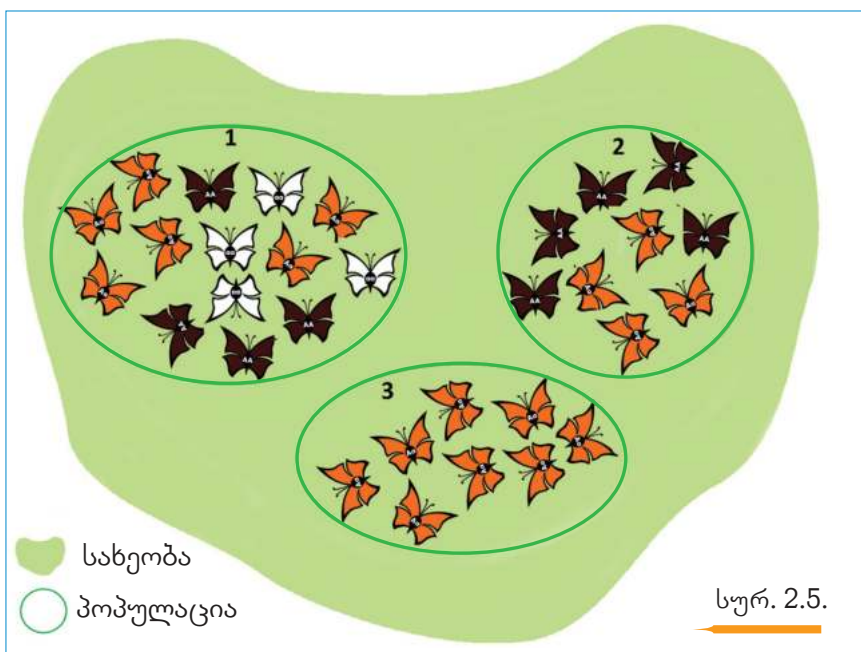
ბა და სხვ. თუმცა ერთსა და იმავე არეალში ცხოვრებას სხვადასხვა სახეობაა შეგუებული.

გეოგრაფიული კრიტერიუმი განსაზღვრავს სახეობის გავრცელების გეოგრაფიულ არეალს. გვხვდება სახეობები, რომლებსაც გავრცელების ფართო გეოგრაფიული არეალი აქვს, მაგრამ გვხვდება ისეთი სახეობებიც, რომლებიც მხოლოდ გარკვეულ გეოგრაფიულ ტერიტორიაზე არსებობს და მათ ენდემური სახეობები ეწოდება.

ამრიგად, იმისთვის, რომ დადგინდეს, რომელ სახეობას ეკუთვნის ესა თუ ის ინდივიდი, საკმარისი არ არის ერთი რომელიმე კრიტერიუმის გამოყენება. მხოლოდ მათი ერთობლიობა იძლევა სახეობის სრულყოფილი დახასიათებისა და მათი სისტემატიკურ ერთეულებში სწორი განაწილების საშუალებას.

ზემოთ ნათქვამიდან გამომდინარე, სახეობის თანამედროვე განსაზღვრება შემდეგში მდგომარეობს: **სახეობას** უწოდებენ ინდივიდთა ერთობლიობას, რომლებიც ერთმანეთს ჰგვანან მორფოლოგიური, ფიზიოლოგიური და ბიოქიმიური ნიშან-თვისებებით, თავისუფლად ეჯვარებიან ერთმანეთს და იძლევიან ნაყოფიერ შთამომავლობას, შეგუებულნი არიან გარემოს განსაზღვრულ პირობებთან და ბუნებაში გარკვეულ არეალს იკავებენ.

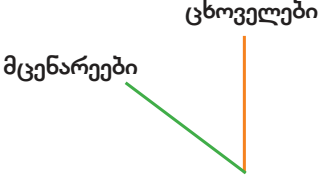
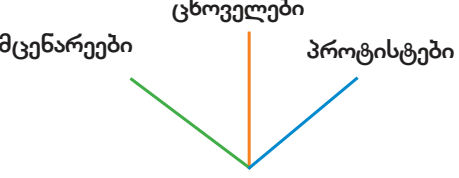
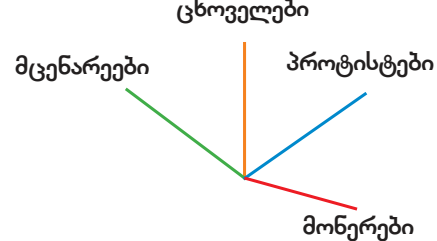
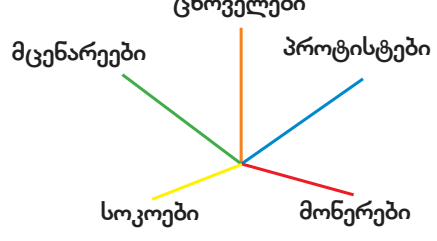
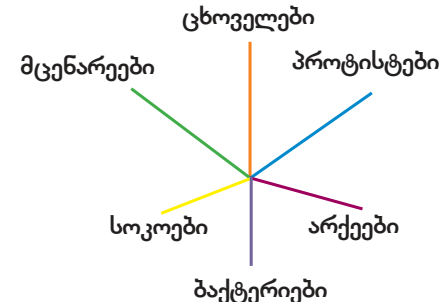
ყოველ სახეობას ბუნებაში გარკვეული არეალი უკავია, სადაც სახეობის ინდივიდები არათანაბრად არიან განაწილებულნი და ცალკეულ დაჯგუფებებს წარმოქმნიან. გავრცელების არეალში სახეობის ინდივიდების არათანაბარი გავრცელება დაკავშირებულია იმასთან, რომ არეალის ფარგლებში სახეობის არსებობისათვის საჭირო პირობები განსხვავებულია: ზოგან პირობების უმრავლესობა ხელსაყრელია, ზოგან ნაწილობრივ და ზოგანაც არახელსაყრელი. ერთი სახეობის თავი-



სუფლად შეჯვარებად ინდივიდთა ერთობლიობას/დაჯგუფებას, რომელიც ხანგრძლივად არსებობს გარკვეულ ტერიტორიაზე და შედარებით გამოცალკევებულია ამავე სახეობის სხვა დაჯგუფებისგან, **პოპულაცია** ეწოდება. ამრიგად, სახეობა შედგება **პოპულაციებისგან**. სხვანაირად რომ ვთქვათ, **პოპულაცია** სა-

ხეობის არსებობის ფორმაა (სურ. 2.5).

თუ დააკვირდები სურათ 2.5-ზე მოცემულ პოპულაციებს, შეამჩნევ, რომ ისინი ერთმანეთისგან განსხვავდებიან: 1. **დაკავებული ტერიტორიითა და მისი ფართობით**, 2. **ინდივიდების რიცხვით**, 3. **ინდივიდების ფენოტიპის მრავალფეროვნებით**.

ცხრილი 2.1. სამეფოს, როგორც სისტემატიკის ერთეულის, ისტორია	
ისტორიის აღწერა	სამეფოები და მათი რაოდენობა
1753 წელი – მეცნიერები ორგანიზმებს მხოლოდ ორ სამეფოში – მცენარეებსა და ცხოველებში – აერთიანებდნენ; ასეთ კლასიფიკაციას აღიარებდნენ 1866 წლამდე.	
1866 წელი – გერმანელმა ბიოლოგმა ერნესტ ჰეკელმა მეცნიერებს შესთავაზა, ყველა ერთუჯრედიანი ორგანიზმი გაერთიანებინათ სამეფო პროტისტებში.	
1938 წელი – ამერიკელმა ბიოლოგმა ჰერბერტ კოუპლენდი ამტკიცებდა, რომ პროკარიოტები იმსახურებდნენ პროტისტებისგან გამოყოფას და ცალკე სამეფოში – მონერებში – გაერთიანებას, რადგან მათ უჯრედს არ აქვს უჯრედული მემბრანებით დაფარული ბირთვი და ორგანოიდები.	
1959 წელი – ამერიკელმა ეკოლოგმა რობერტ ვიტაკერმა მეცნიერებს შესთავაზა, კვების თავისებურების გამო, მცენარეებისგან სოკოების ცალკე სამეფოდ გამოყოფა.	
1977 წელი – კარლ ვოსის მიერ რ-რნმ-ის კვლევამ გამოავლინა პროკარიოტების გენეტიკურად განსხვავებული ორი ჯგუფი. მისმა აღმოჩენამ მეცნიერები აიძულა, სამეფო მონერები ორ სამეფოდ – ბაქტერიებად და არქეებად – გაეყოთ.	

მთავარი ფაქტორი, რაც განაპირობებს პოპულაციის ერთიანობას, არის ინდივიდების თავისუფალი შეჯვარება. სახეობის ერთიანობას კი განაპირობებს ის, რომ ერთი სახეობის სხვადასხვა პოპულაციის ინდივიდები კონტაქტის შემთხვევაში ეჯვარებიან ერთმანეთს და ნაყოფიერ შთამომავლობას წარმოქმნიან.

ისევე, როგორც სახეობის ლინესეული განმარტება შეივსო და განვითარდა ბიოლოგიური მეცნიერების განვითარებასთან ერთად,

ასევე განვითარდა კლასიფიკაციის სისტემაც. ამაზე მეტყველებს სურათ 2.1-ზე წარმოდგენილი სისტემატიკის ერთეულები; ასევე, სხვადასხვა პერიოდში მეცნიერები ავითარებდნენ თავიანთ შეხედულებებს სამეფოების შესახებ (ცხრ. 2.1). სამეფოზე მაღალი კლასიფიკაციის ერთეულია დომენი. თავდაპირველად ორი დომენი გამოყვეს, დღეს კი აღიარებენ სამ დომენს: ბაქტერიები, არქეები და ეუკარიოტები.



1. რას გულისხმობს ტერმინები: „სისტემატიკა/კლასიფიკაცია“ და „სისტემატიკის ერთეული“?
2. შეადარე ლინესეული და თანამედროვე კლასიფიკაციის ერთეულები; რა მსგავსება-განსხვავებაა მათ შორის?
3. აღწერე განსხვავება სახეობასა და გვარს შორის?
4. რა კრიტერიუმებით ახასიათებენ სახეობას?
5. რატომ არ არის საკმარისი ერთი კრიტერიუმის გამოყენება იმისთვის, რომ ინდივიდი მიაკუთვნო რომელიმე სახეობას? შენი პასუხი დაასაბუთე კონკრეტული მაგალითებით.
6. ბუნებაში რა სახით არსებობს სახეობა?
7. შეისწავლე სურათ 2.5-ზე მოცემული ინფორმაცია და უპასუხე კითხვებს: 1) სახეობა რამდენი პოპულაციიდან შედგება? 2) რომელი პოპულაცია იკავებს ყველაზე დიდ ტერიტორიას? ყველაზე მცირე ტერიტორიას? 3) რომელი პოპულაცია გამოირჩევა ინდივიდების ყველაზე დიდი რიცხვით? 4) რომელი პოპულაცია გამოირჩევა ინდივიდების მრავალფეროვნებით?
8. გაეცანი ცხრილში (ცხრ. 2.1) მოცემულ ინფორმაციას და უპასუხე კითხვას: ცოცხალი ორგანიზმების კლასიფიკაცია რატომ განიცდის პროგრესს?
9. შეავსე ქვემოთ მოცემული სქემა:

დომენის დასახელება	დომენში შემავალი სამეფოები
×	×
×	×
×	×

10. რატომ, რომ პროტისტები, მცენარეები, სოკოები და ცხოველები ერთ დომენშია გაერთიანებული, მაგრამ სხვადასხვა სამეფოში?
11. რის მიხედვით აჯგუფებენ ორგანიზმებს მცენარეებად და ცხოველებად?
12. რატომ გამოყვეს მცენარეებისგან სოკოები ცალკე ჯგუფად?
13. ახსენი, რატომ არის რთული ლიქენების/მღიერების, მწერიჭამია მცენარეებისა და ვირუსების კლასიფიკაცია?



- ორგანიზმთა კლასიფიკაცია აადვილებს მრავალფეროვანი ორგანული სამყაროს შესწავლას;
- კლასიფიკაციის უმცირესი დონეა სახეობა, ხოლო უმაღლესი – დომენი;
- პოპულაცია არის სახეობის არსებობის ფორმა;
- თანამედროვე სისტემატიკით ორგანიზმებს აჯგუფებენ სამ დომენად და ექვს სამეფოდ;
- სისტემატიკა იცვლება და პროგრესირებს ბიოლოგიაში მეცნიერული აღმოჩენების კვალდაკვალ.

რა უძლოდა წინ დარვინის ევოლუციური თეორიის შექმნას?



- **ბიომრავალფეროვნება:** მეცნიერული იდეები დედამიწაზე ორგანიზმთა ბიომრავალფეროვნების მიზეზების შესახებ.
- **სასიცოცხლო თვისებები:** გამრავლების ინტენსივობა, მემკვიდრული ცვალებადობა, არსებობისათვის ბრძოლა (ბუნებრივი გადარჩევის წინაპირობები).

ევოლუცია ნიშნავს რომელიმე სისტემის ცვლილების შეუქცევად პროცესს, რომლის შედეგადაც წარმოიქმნება რაღაც ახალი, განსხვავებული, განვითარების უფრო მაღალ დონეზე მდგომი სისტემა, არასრულყოფილი კი იშლება. ევოლუცია ეხება ბუნებაში მიმდინარე სხვადასხვა მოვლენას. მაგალითად, ასტრონომი საუბრობს პლანეტებისა და ვარსკვლავების ევოლუციაზე, გეოლოგი – დედამიწის ევოლუციაზე, ბიოლოგი – ცოცხალი ორგანიზმების ევოლუციაზე. საუბრობენ, აგრეთვე, საზოგადოებრივი სისტემების, შეხედულებებისა და ა.შ. ევოლუციაზე.

ბიოლოგიური ევოლუცია არის ცოცხალი ბუნების შეუქცევადი და მიმართული ისტორიული განვითარება, რომელსაც თან ახლავს პოპულაციის გენეტიკური შედგენილობის ცვლილება, შეგუებულობების ჩამოყალიბება, ახალ სახეობათა წარმოქმნა და სხვადასხვა სახეობის გადაშენება, ბიოცენოზებისა და მთლიანად ბიოსფეროს გარდაქმნა.

რატომ არსებობენ ვარსკვლავცხვირასნაირი უცნაური ცხოველები, რომლებიც უფრო სამეცნიერო ფანტასტიკური ჟანრის ფილმის არსებებს ჰგვანან, ვიდრე რეალურს? რატომ არსებობს დედამიწაზე ორგანიზმების ასეთი დიდი მრავალფეროვნება? ადამიანები ყოველთვის სვამდნენ მსგავსი შინაარსის კითხვებს. თუმცა ამ კითხვებზე ყველაზე სრულყოფილი პასუხი ჩარლზ დარვინმა გასცა და დიდი წვლილი მიუძღვის ევოლუციური თეორიის შექმნაში, მაგრამ იგი პირველი არ ყოფილა, ვინც წამოაყენა ევოლუციური იდეები. ერთი ფორმის ორგანიზმთა თანდათანობითი



როგორც უკვე იცი IX კლასიდან, ევოლუციური თეორიის შექმნაში დიდი როლი შეასრულა ჩარლზ დარვინმა, მაგრამ პირველი ევოლუციური თეორია ჟან-ბატისტ ლამარკს ეკუთვნის. იგი გამოთქვამს მოსაზრებას, რომ ევოლუციის მამოძრავებელი ძალა არის შეცვლილი გარემო პირობები, რომლებიც ორგანიზმებში მხოლოდ სასარგებლო და მემკვიდრული ცვლილებების წარმოქმნას იწვევს. გამოიყენე გენეტიკაში მიღებული შენი ცოდნა და არგუმენტირებული მსჯელობით დაეთანხმე ან უარყავი ლამარკის ეს იდეა.

ცვლილების გზით გარდაქმნის, „პირველადი მატერიიდან“ სამყაროს წარმოშობისა და განვითარების იდეას ჯერ კიდევ ანტიკური ეპოქის მოაზროვნეები იზიარებდნენ (ჰერაკლიტე, ემპიდოკლე, დემოკრიტე, ლუკრეციუსი, არისტოტელე და სხვ.).

XVIII საუკუნეში სამყაროზე ახალი შეხედულებები გაჩნდა მეცნიერების სხვადასხვა მიმართულებით. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ოთხი მეცნიერის იდეები და თეორიები. მათ არა მარტო დიდი წვლილი შეიტანეს ბიოლოგიის განვითარებაში, არამედ მათ იდეებზე დარვინმა ააგო თავისი ევოლუციური თეორია (იხ. ცხრ. 2.2 – წარმოდგენილია ამ მეცნიერების ყველაზე მნიშვნელოვანი იდეები).

როგორც უკვე იცი, 1750 წელს **კარლ ლინე** მეცნიერთა საზოგადოებას შესთავაზა ორგანიზმთა კლასიფიკაციის სისტემა. მიუხედავად იმისა, რომ ლინე ორგანიზმები დააჯგუფა, მხოლოდ მათ შორის მსგავსების მიხედვით, ეს სისტემა ევოლუციასაც ასახავს. ამიტომაც, რომ ლინეს კლასიფიკაციის სისტემას დღემდე იყენებენ მეცნიერები. ლინემ, თავისი მოღვაწეობის ბოლო წლებში, უარყო იმ დროისათვის გავრცელებული იდეა, რომ სახეობები არ იცვლებიან. მან აღიარა, რომ სახეობები იცვლებიან და შესაძლებელია ახალი სახეობის გაჩენა.

ფრანგმა ნატურალისტმა **ჟორჟ ბუფონმა** (1794-1796 წწ.) გამოთქვა მოსაზრება, რომ თანამედროვე სახეობებს ჰყავდა საერთო წინაპარი. ეს იყო გამოწვევა იმ დროისათვის

ალიარებული შეხედულებებისთვის. მან, ასევე, უარყო იმ დროისათვის გავრცელებული შეხედულება იმის შესახებ, რომ დედამიწა მხოლოდ 6000 წლის იყო; მისი აზრით, დედამიწა გაცილებით „ხნიერია“.

ერაზმ დარვინი (დაიბადა 1731 წელს) ინგლისში იყო პატივსაცემი ექიმი და პოეტი. მან ივარაუდა, რომ ყველა ცოცხალი ორგანიზმი წარმოიშვა საერთო წინაპრისგან, რომ სიცოცხლის უფრო რთული ფორმები განვითარდნენ უფრო დაბალი ორგანიზაციის ფორმებისგან. ეს იდეა 65 წლის შემდეგ განავითარა და ახსნა მისმა შვილიშვილმა – ჩარლზ დარვინმა.

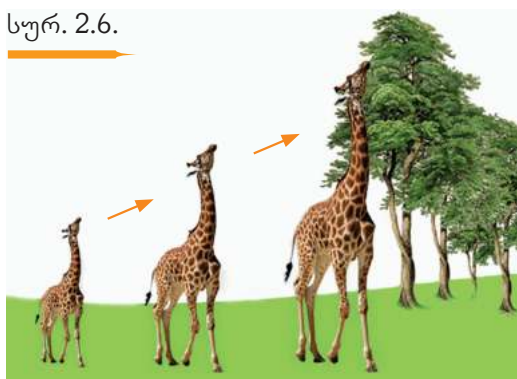
ფრანგმა მეცნიერმა **ჟან-ბაპტისტ ლამარკმა** 1809 წელს თავისი შეხედულებები სამყაროს ისტორიული განვითარების შესახებ ჩამოაყალიბა ნაშრომში „ზოოლოგიის ფილოსოფია“. ლამარკის ევოლუციური თეორიის ძირითადი არსი შემდეგში მდგომარეობს: სახეობები ცვალებადია, პირობითია და თანდათანობით სხვა სახეობებად გარდაიქმნებიან; ორგანიზმები ვითარდებიან მარტივიდან რთულისკენ, ორგანიზაციის დონის ამაღლების — „გრადაციის“ გზით; ევოლუციის მამოძრავებელ ძალად ლამარკს მიაჩნდა თვით ორგანიზმებში არსებული „შინაგანი სწრაფვა სრულყოფისკენ“, გარემო ფაქტორების ორგანიზმზე ზემოქმედებით **ორგანიზმში გამონეული ცვლილებები**; ლამარკის აზრით, ორგანიზმთა რეაქცია გარემოს ზემოქმედებაზე ატარებს **მიზანშეწონილ** ხასიათს (გა-

რემოს ცვლილების ადეკვატურია): **გარემო ფაქტორების ცვლილება ორგანიზმში ყოველთვის სასარგებლო ცვლილებებს იწვევს და მემკვიდრეობით გადაეცემა შთამომავლობას**. შეცვლილ გარემო პირობებში ორგანიზმის ორგანოები, რომლებსაც ცხოველი ინტენსიურად იყენებს, გავარჯიშდება, ძლიერდება და ზომაში იზრდება. ის ორგანოები კი, რომლებსაც ცხოველი არ იყენებს, პირიქით, სუსტდება და უკუგანვითარებას განიცდის. მაგ., დაბალი მცენარეულობის ნაკლებობის გამო ჟირაფი იძულებული იყო ფოთლები მოეწყვიტა მაღალი ხეებიდან, მუდმივი ვარჯიშის გამო მისი კისერი დაგრძელდა (სურ. 2.6).

ამგვარად, ლამარკი თვლიდა, რომ შეცვლილი გარემო პირობების ზემოქმედებით ორგანიზმში წარმოქმნილი ახალი ნიშან-თვისებები ყოველთვის სასარგებლოა და შთამომავლობას მემკვიდრეობით გადაეცემა. მისი შეხედულებები არასწორი აღმოჩნდა, რადგან ორგანიზმებში ჩნდება როგორც სასარგებლო, ისე საზიანო, როგორც მემკვიდრული, ისე არამემკვიდრული ცვალებადობა; შეძენილი ნიშან-თვისებები ყოველთვის მემკვიდრეობით არ გადაეცემა. მაგ., სურათ 2.7-ზე წარმოდგენილი ჯუჯა ხე ძალიან პატარაა, რადგან მას მუდმივად აჭრიან ფესვებისა და ტოტების წვეროებს. მაგრამ ამ ჯუჯა ხის თესლს თუ დავთესავთ, ნორმალური ხე გაიზრდება. ე.ი. ლამარკმა მართებულად ვერ ახსნა ევოლუციის მამოძრავებელი ფაქტორები.

ცხრილი 2.2. მეცნიერული იდეები, რომელთაც დიდი როლი შეასრულეს ჩარლზ დარვინის ევოლუციური თეორიის ჩამოყალიბებაში			
1735 წ. – ორგანული სამყაროს სისტემატიკა	1794-96 წწ. – ზოონომია	1749 წ. – ბუნების ისტორია	1809 წ. – ზოოლოგიის ფილოსოფია
კარლ ლინემ შექმნა კლასიფიკაციის სისტემა, რომელშიც ორგანიზმები გააერთიანა მათ შორის მსგავსების მიხედვით; აღიარა სახეობის ცვლილება.	ჟორჟ ბუფონმა განიხილა მნიშვნელოვანი იდეები ორგანიზმებს შორის კავშირის, ორგანიზმთა მრავალფეროვნების წყაროსა და შესაძლო ევოლუციის შესახებ.	ერაზმ დარვინი განიხილავდა, თუ ორგანიზმები როგორ შეიძლება შეიცვალონ ისეთი მექანიზმის საშუალებით, როგორიც კონკურენციაა.	ჟან-ბაპტისტ ლამარკი ევოლუციას განიხილავდა, როგორც ორგანიზმზე გარემოს ხანგრძლივი ცვლილების ზემოქმედების შედეგს.
			

სურ. 2.6.

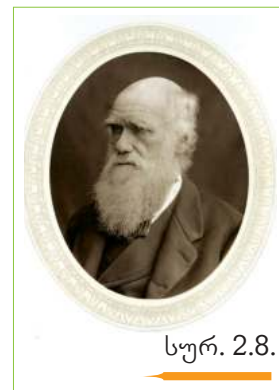


სურ. 2.7.



1859 წელს ჩარლზ დარვინმა (სურ. 2.8) გამოაქვეყნა ნაშრომი „სახეობათა წარმოშობა ბუნებრივი გადარჩევის გზით“, რომელშიც ჩამოაყალიბა თავისი ევოლუციური იდეები. ნაშრომის დაწერამდე მან ბევრი დაკვირვება აწარმოვა ბუნებაზე. დარვინმა საინტერესო მონაცემი შეაგროვა დედამიწის გარშემო მოგზაურობის დროს (1831-1836 წწ.). სამხრეთ ამერიკაში მან ყურადღება მიაქცია ცხოველთა ნამარხ და თანამედროვე ფორმებს შორის მსგავსებას. იგი იმ დასკვნამდე მივიდა, რომ მათ შორის ნათესაური კავშირი იყო. დარვინზე ყველაზე დიდი შთაბეჭდილება კი მოახდინა ვულკანური წარმოშობის გალაპაგოსის კუნძულის ორგანიზმებმა. დარვინი აკვირ-

დებოდა გალაპაგოსის კუნძულზე რეპტილიებისა და ფრინველების საოცარ სახეობებს (სურ. 2. 9). მათ შორის განსაკუთრებული ყურადღება მიიპყრო მთიულების მრავალგვარობამ. ეს ფრინველები სხვაგან არსად გვხვდებიან, მაგრამ ისინი ემსგავსებიან მთიულების იმ სახეობებს, რომლებიც სამხრეთ ამერიკის კონტინენტზე ბინადრობენ.



სურ. 2.8.

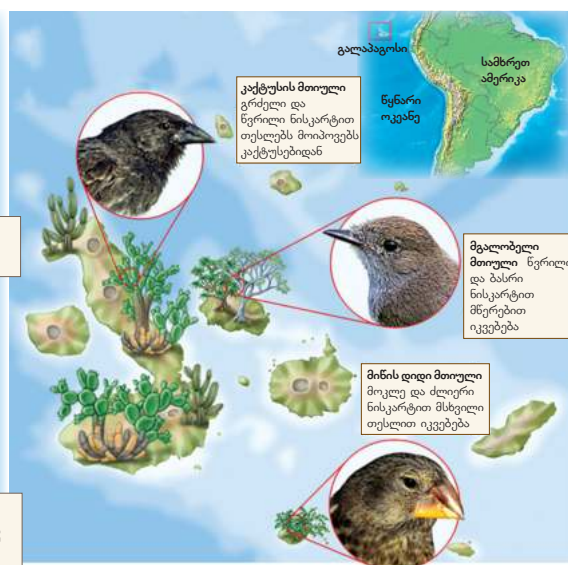
სურ. 2.9.



გუმბათოვან კუებს აქვთ მოკლე კისერი და ფეხები, ცხოვრობენ დაბალი მცენარეულობის ადგილებში.



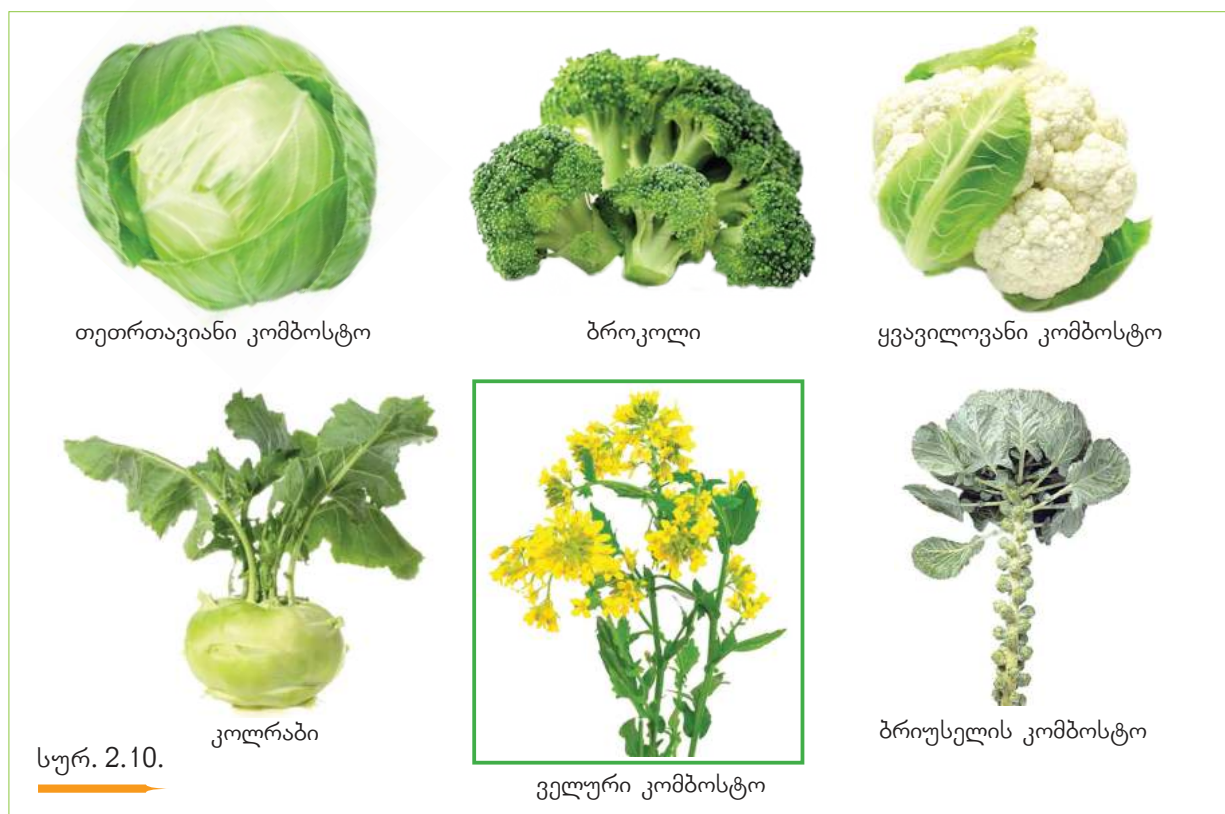
უნაგირისებურ კუებს აქვთ ბაკნის მაღალი კიდე, რომელიც გრძელი კისრის გაჭიმვის საშუალებას აძლევს; ცხოვრობენ მაღალ ბალახოვან ადგილებში.



1. ცხრილში (ცხრ. 2.2) მოცემული ინფორმაციის საფუძველზე განსაზღვრე, რა საერთო შეხედულება ჰქონდა ამ მეცნიერებს ორგანიზმების შესახებ?
2. სურათ 2.9-ის მიხედვით ახსენი, დარვინმა რა შეგუებულობანი დაინახა კუებსა და მთიულებში?

დარვინი ინგლისში დაბრუნების შემდეგ დაინტერესდა მტრედებისა და სხვა შინაური ცხოველების, კულტურული მცენარეების ჯიშების გამოყვანით, რამაც იგი **ხელოვნური გადარჩევის კონცეფციამდე** მიიყვანა: კულტურულ მცენარეთა და შინაურ ცხოველთა ჯიშები ადამიანმა გამოიყვანა მისთვის საინტერესო მემკვიდრულ ნიშან-თვისებათა სხვადასხვა მიმართულებით გადარჩევის შედეგად. შესაძლებელია მრავალი ჯიშის წინაპარი ერთი ველური სახეობა ყოფილიყო (სურ. 2.10). დარვინამდე მეცნიერები ფიქრობდნენ, რომ ყოველ ჯიშს შეესაბამება თითო ველური სახეობა. ხელოვნური გადარჩევა მოქმედებს

იმ დროიდან, როცა ადამიანმა ხელი მოჰკიდა მინათმოქმედებასა და ცხოველთა მოშინაურებას. გამოყვანილი ჯიშების ნიშან-თვისებები შეგუებულია ადამიანის ინტერესებთან, რადგან ადამიანი გადარჩევს ინდივიდებს მისთვის საინტერესო მემკვიდრული ნიშან-თვისების მიხედვით და გადარჩევის მოქმედებას წარმართავს მისთვის სასურველი მიმართულებით. ამ დროს ინდივიდების შერჩეული ნიშნიდან ზოგი შესაძლოა საზიანოც კი აღმოჩნდეს ორგანიზმისთვის. მაგ., ღორის საუკეთესო ჯიშები ან მერძეული ძროხები ვერ შეძლებდნენ ბუნებაში არსებობას ადამიანის ზრუნვის გარეშე.



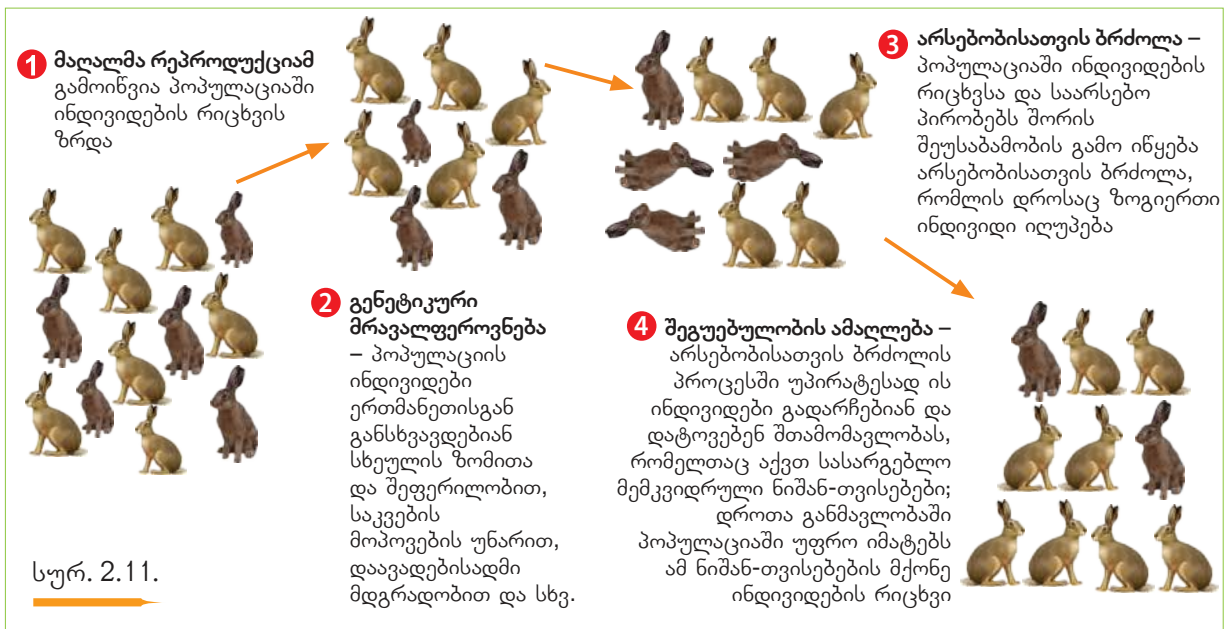
სურ. 2.10.

დარვინმა დააყენა საკითხი — ბუნებაში ხომ არ არსებობს გადარჩევის პროცესი, რომელიც წარმოქმნის გარემო პირობებთან შეგუებულ ორგანიზმებს? მან ყურადღება მიაქცია ასეთ ფაქტს: მიუხედავად იმისა, რომ სახეობათა უმრავლესობას ახასიათებს მაღალი რეპროდუქციული (გამრავლების) უნარი (დიდი რაოდენობით წარმოქმნას შთამომავლობა), მათ პოპულაციებში ინდივიდების რიცხვი შეფარდებით მუდმივი რჩება, რადგან პოპულაციაში იქმნება შეუსაბამო ინდივიდ-

თა რიცხვსა და მათ საარსებო საშუალებათა შორის. ყველა პოპულაციის რიცხოვნობას ზღუდავს ან აკონტროლებს გარემოს სხვადასხვა ფაქტორი, როგორიცაა, მაგალითად, საკვები რესურსები, საცხოვრებელი ტერიტორია, განათება და სხვ. პოპულაციის ინდივიდებს შორის განუწყვეტლივი კონკურენცია გარემოს ფაქტორებისათვის იწვევს „**არსებობისათვის ბრძოლას**“. ბევრი ინდივიდი ვერ გადარჩება და/ან ვერ ახერხებს შთამომავლობის დატოვებას.

ყველა პოპულაციაში ხდება **ცვლილებები**. უამრავი მონაცემის შეგუბების შედეგად დარწმუნებით მიხვდა, რამდენადაც პოპულაციის ყველა ინდივიდი განიცდის ნიშან-თვისებების ცვალებადობას და ყველა მათგანი ჩართულია არსებობისათვის ბრძოლაში, გადარჩება და შთამომავლობას დატოვებენ ის ინდივიდები, რომელთაც აქვთ გარემოსთან უკეთ შეგუბების ნიშან-თვისებები (სურ. 2.11). გადამწყვეტი

ფაქტორი, რომელიც განსაზღვრავს გადარჩენას, ეს არის **გარემოსთან შეგუბა**. ნებისმიერი, თუნდაც უმნიშვნელო მორფოლოგიური, ფიზიოლოგიური ან ქცევითი მემკვიდრული ცვლილება, რომელიც მოცემულ ორგანიზმს უპირატესობას აძლევს სხვასთან შედარებით, არსებობისათვის ბრძოლის პროცესში ანიჭებს მას გადარჩენის მეტ შესაძლებლობას.



არსებობისათვის ბრძოლა არის ბუნებრივი გადარჩევის წინაპირობა. დარწმუნებით **ბუნებრივი გადარჩევა** უწოდდა „ხელსაყრელ ინდივიდულურ განსხვავებათა შენარჩუნებასა და საზიანოთა მოსპობას“. **დარწმუნებით ევოლუციური თეორიის მიხედვით, ბუნებრივი გადარჩევა მემკვიდრული ცვალებადობის საფუძველზე წარმოდგენს ცოცხალი სამყაროს ევოლუციის მთავარ მამოძრავებელ ფაქტორს. ბუნებრივი გადარჩევის შედეგია საარსებო გარემოსთან ახალი შეგუბულობების ჩამოყალიბება და ახალ სახეობათა წარმოქმნა.** ამიტომ ბუნებრივი გადარჩევა მოქმედებს პოპულაციისა და სახეობის სასარგებლოდ. იგი წარმოებს

ორგანული სამყაროს მთელი ისტორიის განმავლობაში.

დარწმუნებით მოღვაწეობის პერიოდში სხვა ბუნებისმეტყველი, **ალფრედ რასელ უოლესი**ც მივიდა იმავე დასკვნამდე ბუნებრივი გადარჩევის შესახებ. 1858 წლის ივლისში დარწმუნებით და უოლესი თავიანთი იდეების შესახებ ერთობლივი მოხსენებით გამოვიდნენ ლონდონში ლინეის საზოგადოების სხდომაზე.

დარწმუნებით ახსნა ევოლუციის მამოძრავებელი ფაქტორები, იგი არ ცდილობდა დედამიწაზე სიცოცხლის წარმოშობის ახსნას; მას აინტერესებდა, როგორ შეიძლებოდა არსებული სახეობებიდან ახალი სახეობების წარმოქმნა.



3. შენი წარმოდგენით აღწერე ხელოვნური გადარჩევის პროცედურა ბროკოლის გამოსაყვანად, რომელსაც აქვს მოკლე ღერო და პატარა ყვავილები.
4. რატომ შეისწავლა დარწმუნებით კულტურული მცენარეებისა და შინაური ცხოველების ჯიშების გამოყვანის მექანიზმი? როგორ გამოიყენა ეს თავისი ევოლუციური თეორიის ჩამოყალიბებისთვის?
5. სურათ 2.11-ის მიხედვით აღწერე პოპულაციის ცვლილების მექანიზმი.

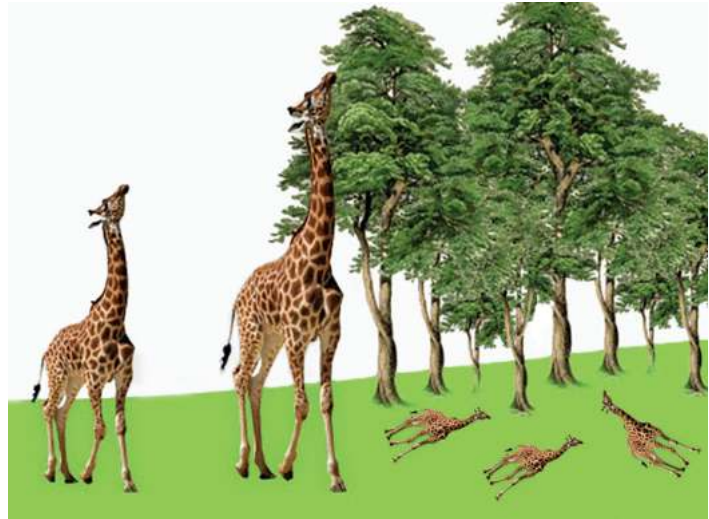


6. შეადარე ლამარკისა და დარვინის შეხედულებები სახეობათა მრავალფეროვნებისა და გარემოს კონკრეტულ პირობებთან ორგანიზმების შეგუებულობის წარმოქმნის თაობაზე.

7. ახსენი, რატომ მოქმედებს ბუნებრივი გადარჩევა მემკვიდრული ცვალებადობის საფუძველზე?

8. ახსენი, როგორ ხსნიან ლამარკი და დარვინი ჟირაფის გრძელი კისრის განვითარებას. დარვინის მიხედვით, რატომ დაილუპნენ მოკლეკისერა ჟირაფები?

9. ბუნებრივი და ხელოვნური გადარჩევის შედარებისას შეგიძლია აღმოაჩინო მსგავსება: ორივე პროცესის საფუძველია მემკვიდრული ცვალებადობა, წარმოიქმნება ახალი ფორმები: ხელოვნური გადარჩევის შედეგად – ახალი ჯიშები, ბუნებრივი გადარჩევის შედეგად – სახეობები. თუმცა ამ ორ პროცესს შორის უამრავი განსხვავებაა. შეადარე ერთმანეთს ხელოვნური და ბუნებრივი გადარჩევა, დაადგინე მათ შორის საერთო და განსხვავებული ნიშნები. შედარების მონაცემები წარმოადგინე სქემის სახით.



დარვინამდე არსებობდა თეორიები ბიოლოგიური და გეოლოგიური ცვალებადობის შესახებ:

- გამოთქვამდნენ მოსაზრებებს, რომ სხვადასხვა სახეობას შეიძლება საერთო წინაპარი ჰყავდეს;
- ნამარხ ფორმებსა და თანამედროვე სახეობებს შორის არის ნათესაური კავშირი;
- შეცვლილი გარემო პირობები ორგანიზმებში აყალიბებს ახალ შეგუებულობებს.

მოგზაურობის დროს დაკვირვების შედეგად შეგროვებული მონაცემების საფუძველზე დარვინმა დაასკვნა:

- სახეობები განიცდიან ცვლილებებს, მაგალითად, გალაპაგოსის კუნძულებზე მცხოვრები სახეობები ნათესაურ კავშირში არიან სამხრეთ ამერიკის კონტინენტის სახეობებთან, მაგრამ გაუჩნდათ შეცვლილ გარემო პირობებთან ახალი შეგუებულობები;
- ნამარხ ფორმებზე დაკვირვების საფუძველზე გამოიტანა დასკვნა, რომ სახეობები იცვლება დროთა განმავლობაში.

დარვინის ევოლუციური თეორიის ძირითადი დებულებები:

- მაღალი რეპროდუქციულობა იწვევს არსებობისათვის ბრძოლას, რომელიც ბუნებრივი გადარჩევის წინაპირობაა;
- ბუნებრივი გადარჩევა და მემკვიდრული ცვალებადობა არის ევოლუციის მამოძრავებელი ფაქტორები;
- ბუნებრივი გადარჩევა არის მექანიზმი, რომლის საშუალებითაც უმეტესად გადარჩებიან და უფრო მეტ შთამომავლობას ტოვებენ სასარგებლო მემკვიდრული ცვლილებების მატარებელი ინდივიდები, ვიდრე სხვა.

2.3. მიკროეკოლოგია და მისი მამოძრავებელი ფაქტორები

მეცნიერების რა მიმართულებებია თანამედროვე ეკოლოგიური თეორიის საყრდენი?



- **სტრუქტურა და ფუნქცია:** პოპულაციის სტრუქტურა, პოპულაციის გენოფონდი.
- **ბიომრავალფეროვნება:** მიკროეკოლოგიის ფაქტორები მემკვიდრული ცვალებადობა (მუტაციები, კომბინაციური ცვალებადობა), გენთა დრეიფი, გენთა ნაკადი.



- რას ეწოდება მემკვიდრეობითობა? ცვალებადობა?
- დაასახელე ცვალებადობის ფორმები და აღწერე მათი ბიოლოგიური მნიშვნელობა?
- რა არის პოპულაცია და რა ნიშნებით ხასიათდება იგი?

XX საუკუნის 40-იანი წლებიდან ჩაისახა და დღემდე ვითარდება **ეკოლოგიის თანამედროვე თეორია – პოპულაციური ეკოლოგია**, რომელიც ეყრდნობა კლასიკურ დარვინიზმს, თანამედროვე გენეტიკისა და მოლეკულური ბიოლოგიის, ეკოლოგიის, პალეონტოლოგიის მონაცემებს.

პოპულაცია ხასიათდება **დაკავებული ტერიტორიით, ინდივიდების რიცხოვნობითა და მისი დინამიკით, ასაკობრივი და სქესობრივი სტრუქტურით, ერთიანი გენეტიკური სტრუქტურით – გენოფონდით**. როგორც იცი, მთავარი ფაქტორი, რაც განაპირობებს პოპულაციის ერთიანობას, არის ინდივიდების თავისუფალი შეჯვარება. პოპულაციის შიგნით ერთი სქესის ყოველ ორგანიზმს თანაბარი შანსი აქვს, შეეჯვაროს საპირისპირო სქესის ნებისმიერ ორგანიზმს.



სურ. 2.12.

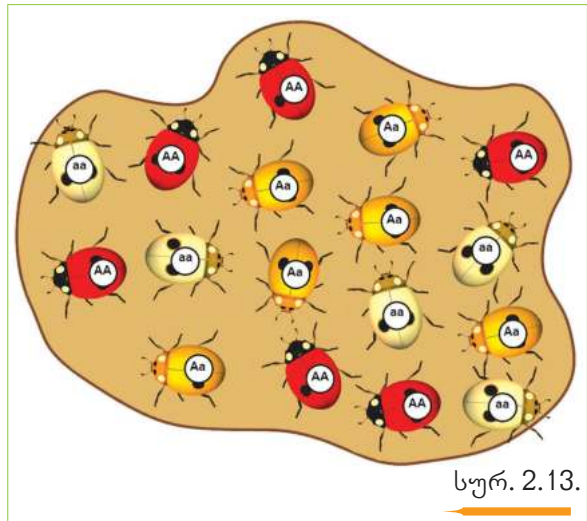
ეკოლოგიის ერთეული არის პოპულაცია და არა ორგანიზმი. **ცალკეული ორგანიზმი არ შეიძლება იყოს ეკოლოგიის ერთეული**, რადგან ერთი ინდივიდის სიცოცხლის ხანგრძლივობა ძალიან ხანმოკლეა პოპულაციასთან შედარებით. ამიტომ ეკოლოგიას განიცდის ორგანიზმთა ჯგუფი. პოპულაციაში გამუდმებით წარმოიშობა მუტაციები, პოპულაციის ინდივიდების თავისუფალი შეჯვარების გამო ის ვრცელდება პოპულაციაში, შედეგად, პოპულაცია გენოტიპურად არაერთგვაროვანი ხდება. მასში მიმდინარეობს ბრძოლა არსებობისთვის და ბუნებრივი გადარჩევა, რის გამოც გადარჩებიან და უპირატესად შთამომავლობას ტოვებენ ის ინდივიდები, რომელთაც მოცემულ პირობებში სასარგებლო ცვლილებები აღმოაჩნდებათ. ამრიგად, **პოპულაცია ეკოლოგიის ელემენტარული ერთეულია**.

მაგალითად, ანტილოპის პოპულაციაში, ინდივიდები განსხვავდებიან სხეულის ზომით, კიდურების სიმაღლით, რქების ფორმით და ა.შ. (სურ. 2.12) ეს იმ ფენოტიპის მაგალითებია, რომელსაც ერთი ან რამდენიმე გენი განაპირობებს. ზოგიერთი პოპულაცია ხასიათდება ფენოტიპის დიდი, ზოგიერთი ნაკლები მრავალფეროვნებით, პოპულაციის მრავალფეროვანი ფენოტიპი კი გენეტიკური მრავალფეროვნებითაა გამოწვეული. ბუნებრივი გადარჩევა მოქმედებს პოპულაციაში სხვადასხვა ფენოტიპზე. რაც მრავალფეროვანია პოპულაცია ფენოტიპურად, მით შეცვლილ გარემოში პოპულაციას გადარჩენის მეტი შანსი აქვს. მაგალითად, სტეპებში გვალვის დროს გადარჩენის მეტი შანსი აქვს იმ ანტი-

ლოპას, რომლისთვისაც დამახასიათებელია ძლიერი კიდურები და ხანგრძლივი სირბილი შეუძლია წყლისა და საკვების მოსაპოვებლად.

მემკვიდრული ცვალებადობა ინახება პოპულაციის გენოფონდში. **გენოფონდი** არის პოპულაციის ყველა ინდივიდის ალელური გენების ერთობლიობა. გენოფონდში ალელების სხვადასხვა კომბინაცია წარმოიქმნება ინდივიდების შეჯვარებისას (სურ. 2.13). პოპულაციაში თითოეული ალელი განსაზღვრული სიხშირით არის წარმოდგენილი. **ალელის სიხშირე** აჩვენებს, თუ რამდენად გავრცელებულია იგი პოპულაციაში. ამიტომ მნიშვნელოვანია პოპულაციაში ალელების სიხშირის გამოანგარიშება (იხ. რუბრიკაში – „ამოცანებისა და სავარჯიშოების ამოხსნის მაგალითები“).

ევოლუციურ პროცესს ხშირად ყოფენ მიკროევოლუციად და მაკროევოლუციად. **მიკროევოლუცია** არის სახეობის შიგნით მიმდინარე ევოლუციური გარდაქმნები — მემკვიდრული ცვალებადობის წარმოქმნიდან ახალი ადაპტაციების ჩამოყალიბებამდე. მიკროევოლუციის შედეგად ახალი სახეობა წარმოიქმნება. **მაკროევოლუცია** არის ევოლუციური გარდაქმნები, რომლებიც მიმდინარეობს ზესახეობრივ დონეზე და განაპირობებს ახალი გვარების, რიგების, კლასების, ტიპების და ა.შ.



წარმოქმნას. მიკროევოლუციის მამოძრავებელი ფაქტორებია მემკვიდრული ცვალებადობა, გენთა დრეიფი, გენთა ნაკადი, იზოლაცია და ბუნებრივი გადარჩევა. როგორც მიკროევოლუციის, ისე მაკროევოლუციის მთავარი მამოძრავებელი ფაქტორებია მემკვიდრული ცვალებადობა და ბუნებრივი გადარჩევა.

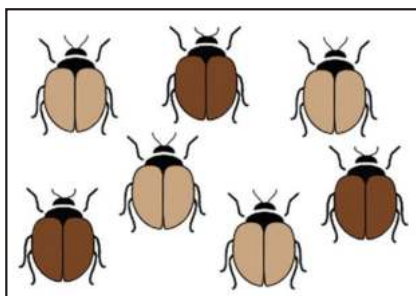
როგორც უკვე იცი, მემკვიდრული ცვალებადობის წყარო არის კომბინაციური ცვალებადობა და მუტაციები. **მუტაციური ცვალებადობა** არის პოპულაციაში მემკვიდრული ცვალებადობის ძირითადი წყარო. **მუტაციური პროცესი** ცოცხალ ორგანიზმებში სპონ-

ალელის სიხშირის გამოთვლა

სურათ 2.13-ზე **A** ალელი განსაზღვრავს ხოჭოს წითელ შეფერილობას, **a** – ყვითელს. გენოფონდში **A** ალელის რაოდენობა = 20, ხოლო **a** ალელის რაოდენობა = 14, ალელების საერთო რაოდენობა = 34.

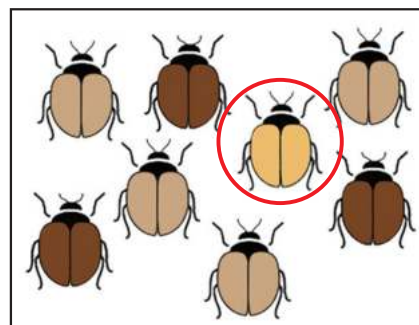
A ალელის სიხშირე = $20/34 = 0.588 = 58.8\%$

a ალელის სიხშირე = $14/34 = 0.412 = 41.2\%$



სურ. 2.14.

საწყისი პოპულაცია

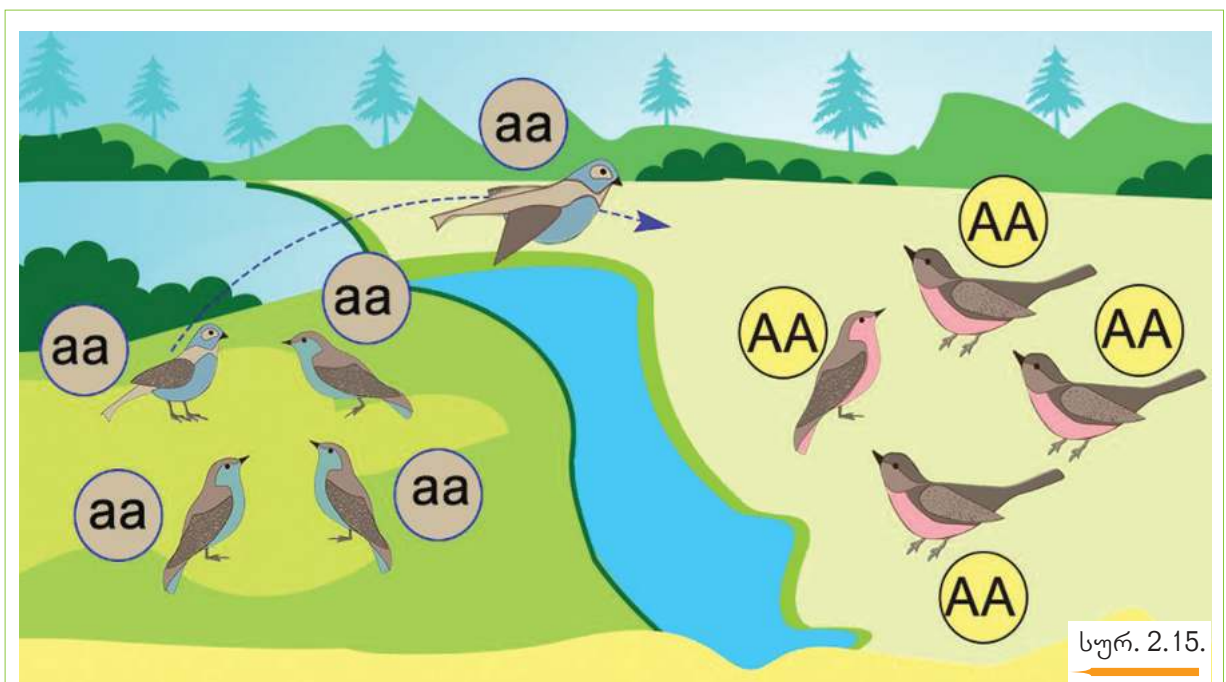


პოპულაციაში გაჩნდა ახალი ფენოტიპი მუტაციის შედეგად

ტანურად და მუდმივად მიმდინარეობს. იგი ზრდის პოპულაციის გენეტიკურ ჰეტეროგენურობას (სურ. 2.14). ეს მრავალფეროვნება ძლიერდება შეჯვარების დროს ახალი გენეტიკური კომბინაციების წარმოქმნის საფუძველზე. დომინანტური მუტაციები მაშინვე გამოიყვანება ფენოტიპურად და მოექცევა ბუნებრივი გადარჩევის ზემოქმედების ქვეშ. რეცესიული მუტაციები კი გროვდება ჰეტეროზიგოტებში და მხოლოდ ჰომოზიგოტურ მდგომარეობაში გამოვლინდება ფენოტიპურად. ამის შემდეგ მოექცევა ბუნებრივი გადარჩევის კონტროლის ქვეშ. **ამიტომ რეცესიულ მუტაციებს ჰეტეროზიგოტურ მდგომარეობაში მემკვიდრული ცვალებადობის ფარულ რეზერვს უწოდებენ. მუტაციური პროცესი, სხვა ფაქტორების მოქმედების გარეშე, არ აძლევს მიმართულებას პოპულაციის ცვლილებას, მაგრამ იძლევა მასალას**

ბუნებრივი გადარჩევისთვის.

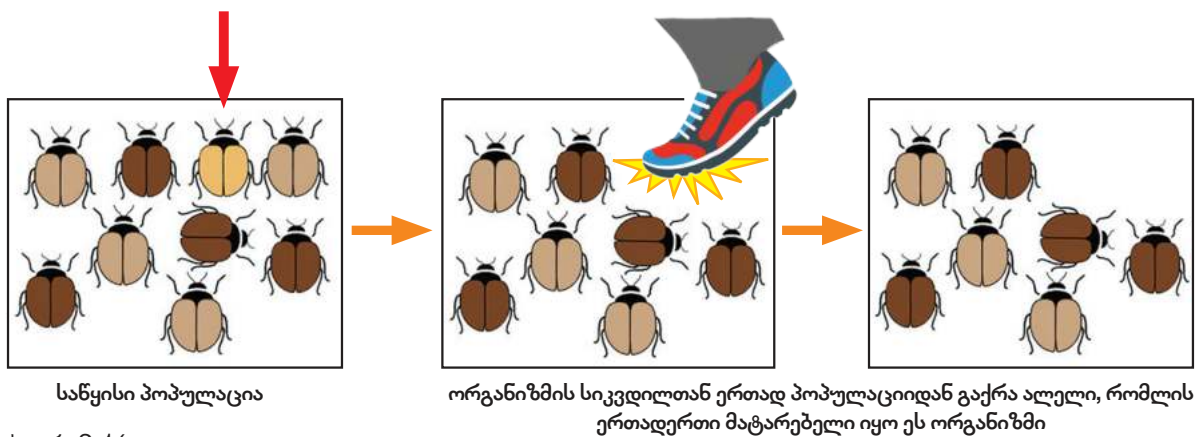
გენთა ნაკადს პოპულაციათა შორის გენთა მიმოცვლას უწოდებენ. პოპულაცია ღია გენეტიკური სისტემაა, რაც იმას ნიშნავს, რომ პოპულაციათა შორის ხდება მიგრაცია, შესაბამისად, მათ შორის გენეტიკური ინფორმაცია გაცივლება (გენთა ნაკადი). გენთა ნაკადი არამიმართული და შემთხვევითი პროცესია. ერთი პოპულაციიდან მეორეში ინდივიდთა მცირე ჯგუფის მიგრაცია იწვევს მასში განსხვავებულ ალელთა შემთხვევით მოხვედრას, რაც ალელთა კონცენტრაციის ცვლილებას განაპირობებს (სურ. 2.15). ამავე დროს, პოპულაციათაშორის მიგრაციების წყალობით, სახეობის გენოფონდი ერთიანი ხდება. განსაკუთრებით ისეთი სახეობის პოპულაციებში, რომელიც მიეკუთვნება მფრინავ ცხოველებს (მწერები, ფრინველები) ანდა ქარითა და მწერითმტვერია მცენარეებს.



სურ. 2.15.



1. რატომ თვლიან პოპულაციას და არა ინდივიდს ევოლუციის ელემენტარულ ერთეულად?
2. რა განსხვავებაა გენოფონდსა და ალელების სიხშირეს შორის?
3. შეცვლილ გარემო პირობებში გენეტიკური მრავალფეროვნება რატომ ზრდის პოპულაციაში ზოგიერთი ინდივიდის გადარჩენის ალბათობას?
4. აღწერე გენეტიკური მრავალფეროვნების ორი ძირითადი წყარო.
5. სურათ 2.13-ის მიხედვით განსაზღვრე როგორ შეიცვლება A და a ალელის სიხშირე ამ პოპულაციის გენოფონდში, თუ სხეულის წითელი შეფერილობა სასარგებლო იქნება ინდივიდებისთვის?
6. გენთა ნაკადი რა გავლენას ახდენს მეზობელ პოპულაციებზე?

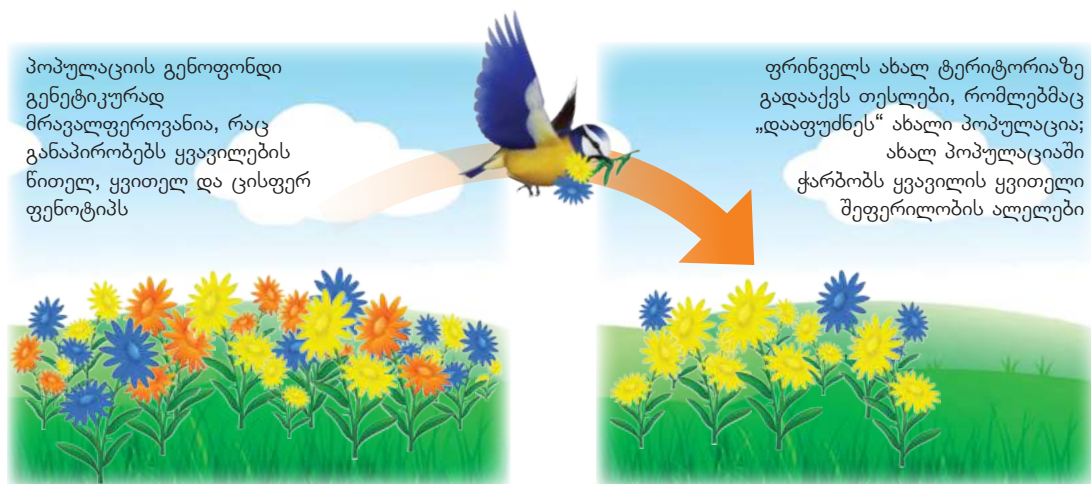


სურ. 2.16

ამრიგად, გენტა ნაკადი, ერთი მხრივ, პოპულაციაში გენეტიკური ცვალეზადობის წყაროა, მეორე მხრივ, არსებით როლს ასრულებს სახეობის მდგრადობის შენარჩუნებაში. პოპულაციებს შორის გენტა ნაკადის შეწყვეტა ახალი სახეობების წარმოქმნის წინაპირობაა.

გენტა დრეიფი წარმოადგენს თაობათა განმავლობაში შემთხვევითი პროცესებით გამოწვეულ ალელთა სიხშირის ცვლილებას პოპულაციაში. გენტა დრეიფი განსაკუთრებით

შესამჩნევია მცირერიცხოვან პოპულაციებში. საარსებო გარემოს ცვლილებების შედეგად პოპულაციის ინდივიდების რაოდენობა მკვეთრად იზრდება ან მცირდება. შემთხვევითმა რომელიმე მოვლენამ (ხანძარმა, წყალდიდობამ, ნადირობამ და სხვ.) შეიძლება გამოიწვიოს იმ ორგანიზმის სიკვდილი, რომელიც იყო რომელიღაცა ალელის ერთადერთი მატარებელი (სურ. 2.16).

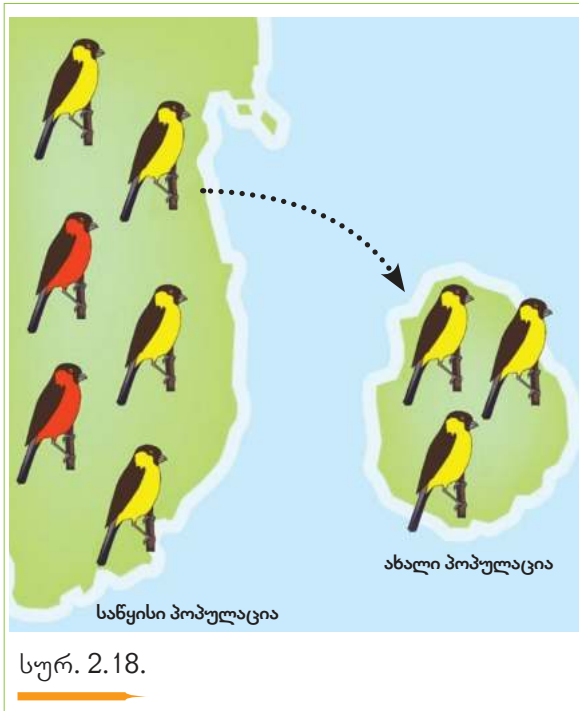


სურ. 2.17.

გენეტიკური დრეიფის ერთ-ერთი სახეა **დაფუძნების ეფექტი**. ეს მაშინ ხდება, როდესაც პოპულაციის მცირე ინდივიდების რიცხვი იკავებს ახალ ტერიტორიას. ასეთი პოპულაციების გენოფონდი ხშირად მკვეთრად განსხვავდება საწყისი, უფრო დიდი ზომის პოპულაციისგან. გენტა დრეიფის შე-

დეგად შეიძლება გაიზარდოს პოპულაციის გენეტიკური ერთგვაროვნება (სურ. 2.17 და სურ. 2.18).

ბოთლის ყელის ეფექტი გენტა დრეიფის კიდევ ერთი სახეა, რომელიც მნიშვნელოვნად ამცირებს პოპულაციის ზომას. ბოთლის ეფექტის ერთ-ერთი მაგალითია 1800-იან წლებში



ზღვის ლომებზე უკონტროლო ნადირობა. 1890 წლისთვის მათი პოპულაცია, დაახლოებით, 20 ინდივიდამდე შემცირდა. ეს ინდივიდები გენეტიკურად ისეთი მრავალფეროვანი არ იყვნენ, როგორიც საწყისი პოპულაციის ინდივიდები. მათზე ნადირობის შეწყვეტის შემდეგ პოპულაციაში ინდივიდების რიცხვი 100000-მდე გაიზარდა, მაგრამ იგი გენეტიკური მრავალფეროვნებით არ გამოირჩეოდა.

გენთა დრეიფის მოსალოდნელი შედეგებია:

- შემთხვევითმა რომელიმე მოვლენამ შეიძლება გამოიწვიოს პოპულაციაში რომელიღაცა ალელის საერთოდ გაქრობა;
- შეიძლება გაიზარდოს პოპულაციის გენეტიკური ერთგვაროვნება;
- შესაძლებელია პოპულაციაში გაიზარდოს ისეთი ალელების კონცენტრაცია, რომლებიც ამცირებს ინდივიდთა სიცოცხლისუნარიანობას;
- შეიძლება პოპულაციაში სწრაფად და მკვეთრად გაიზარდოს იშვიათი ალელების კონცენტრაცია.

ამგვარად, **გენთა დრეიფი პოპულაცია-**

ში აღმოცენდება სხვადასხვა შემთხვევითი პროცესის შედეგად და პოპულაციის გენოტიპური სტრუქტურის ევოლუციურ გარდაქმნაში მონაწილეობს: ზრდის ან ამცირებს მასალას ევოლუციური პროცესისთვის, მაგრამ იგი შემთხვევითი მოვლენაა და მიმართულებას არ აძლევს ევოლუციას.

იზოლაცია განპირობებულია სხვადასხვა ზღუდის წარმოქმნით, რომლებიც ხელს უშლის თავისუფალ შეჯვარებას. წყდება გენეტიკური ინფორმაციის ცვლა პოპულაციებს შორის. ამდაგვარი პოპულაციების დიფერენცირებამ შესაძლოა ახალი სახეობების წარმოქმნა გამოიწვიოს. განასხვავებენ იზოლაციის ორ ძირითად ფორმას: სივრცობრივსა და ბიოლოგიურს. **სივრცობრივი (გეოგრაფიული) იზოლაცია** გულისხმობს პოპულაციების გამიჯვნას გეოგრაფიული (კლდე, მდინარე, სრუტე, მთა, ხრამი. ზღვა და ა.შ.) ზღუდეებით (სურ. 2.19).

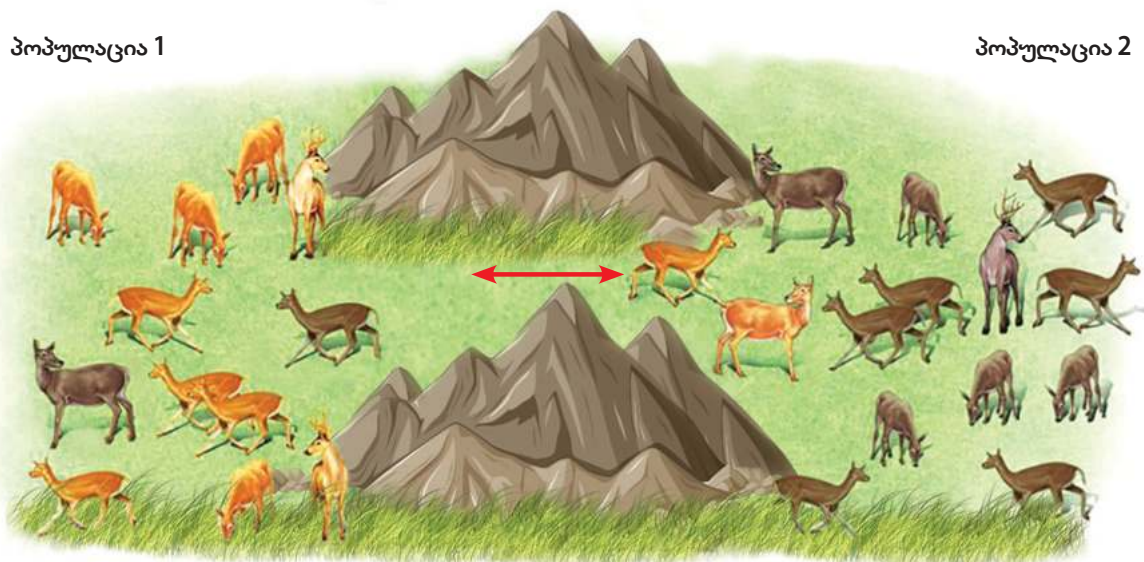
სივრცობრივი იზოლაცია არ ნიშნავს რეპროდუქციულ იზოლაციას. თუ ინდივიდებმა გადალახეს ზღუდე, მაშინ ისინი ეჯვარებიან ერთმანეთს. მაგრამ თუ დიდი ხნის განმავლობაში პოპულაციები გამიჯნულია ერთმანეთისგან, თითოეულ მათგანში დამოუკიდებლად მიმდინარეობს ბუნებრივი გადარჩევა, რამაც შესაძლებელია გენეტიკურად ისე შეცვალოს პოპულაციები, რომ ზღუდის აღმოფხვრის შემთხვევაში და ერთმანეთთან კონტაქტის დროსაც აღარ შეეჯვარონ ერთმანეთს.

რეპროდუქციული/ბიოლოგიური იზოლაციის დროს შეუძლებელია თავისუფალი შეჯვარება. ბიოლოგიური იზოლაციის მიზეზია ქცევის თავისებურებები, გამრავლების ორგანოების აგებულების ცვლილება, გამრავლების ვადების განსხვავება, ქრომოსომული კომპლექსის ცვლილება. შეჯვარებისათვის სერიოზული ბარიერია განსხვავება გამრავლების ვადასა და ადგილში. მაგალითად, თუ პოპულაციის ერთი ჯვარედინმცვერია მცენარე ყვავილობს ადრე გაზაფხულზე, მეორე კი გვიან გაზაფხულზე, მაშინ შეუძლებელია, მოხდეს მათ შორის ჯვარედინი დამტვერვა.

გეოგრაფიული ბარიერი – მთა

პოპულაცია 1

პოპულაცია 2

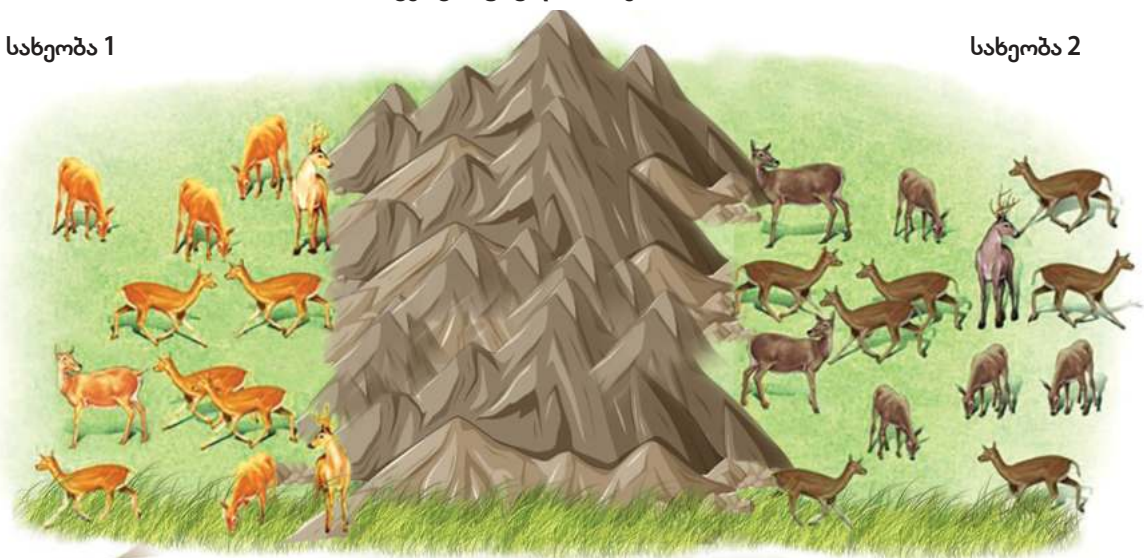


სხვადასხვა პოპულაციის ინდივიდები კონტაქტის შემთხვევაში ერთმანეთს ეჯვარებიან და სახეობა მთლიანობას ინარჩუნებს

გეოგრაფიული ბარიერი – მთა

სახეობა 1

სახეობა 2



ხანგრძლივი გეოგრაფიული იზოლაციის გამო თითოეულ პოპულაციას ბუნებრივი გადარჩევა გენეტიკურად ისე ცვლის, რომ ყალიბდება ბიოლოგიური იზოლაცია; შედეგად, ინდივიდები კონტაქტის შემთხვევაშიც კი აღარ ეჯვარებიან ერთმანეთს და ყალიბდება დამოუკიდებელი სახეობები

სურ. 2.19.



7. რა როლს ასრულებს ევოლუციაში გენთა დრეიფი?
8. დაასახელე გენთა დრეიფის გამოვლენის მინიმუმ ორი მაგალითი.
9. გენთა დრეიფი რომელ პოპულაციაზე მოახდენს უფრო მკვეთრ გავლენას – პოპულაციაზე, რომელიც 10 ინდივიდისგან შედგება, თუ პოპულაციაზე, რომელიც 100 ინდივიდისგან შედგება? ახსენი შენი პასუხი.

10. როგორც იცი, გენების დრეიფმა შეიძლება შემთხვევით, ბიოლოგიური ღირებულების მიუხედავად, პოპულაციაში შეამციროს ან გაზარდოს რომელიმე ალელის სიხშირე, საერთოდ გაქრეს კიდეც. დავუშვათ, ერთი პოპულაცია შედგება 1 000 000 ინდივიდისგან, ხოლო ამავე სახეობის მეორე პოპულაცია – 100 ინდივიდისგან; ერთი და იმავე გენის კონკრეტული ალელის სიხშირე ორივე პოპულაციაში 1%-ია. ანარმოე მათემატიკური გამოთვლა და განსაზღვრე – 1) თითოეულ პოპულაციაში რამდენ ინდივიდში იქნება ეს ალელი; 2) რომელ პოპულაციაშია მისი შემთხვევითი დაკარგვის ალბათობა მაღალი?



მოდელის შექმნა

წარმოიდგინე, რომ მინდორში არის 100 ბალახოვანი ყვავილოვანი მცენარე, მათგან 50-ს იისფერი და 50-ს თეთრი ყვავილები აქვს. შენ გადანყვიტე შემთხვევითობის პრინციპით შეგერჩია ყვავილები თაიგულის შესაკვრელად. როგორ ფიქრობ, თაიგულში ზუსტად ნახევარი იისფერი და ნახევარი თეთრი ყვავილები იქნება? რა შემთხვევაშია მოსალოდნელი, რომ იისფერი და თეთრი ყვავილები თაიგულში თანაბარი იყოს – რაც უფრო მეტ ყვავილს მოწყვეტ, თუ რაც ცოტას შეაგროვებ? შესაძლებელია, სულ ერთი ფერის ყვავილები იყოს თაიგულში?

საჭირო მასალა: 4 ფერის ფერადი პატარა ფურცელი, თითოეული 10 ცალი (სულ 40), ორი გაუმჭვირვალე პარკი.

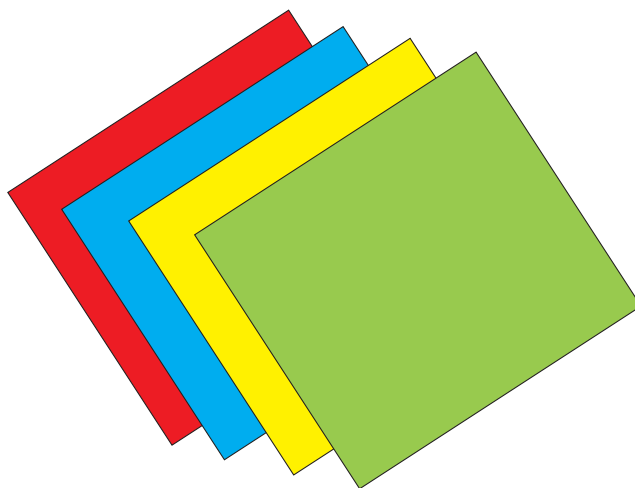
შენიშვნა: წარმოიდგინე, რომ 40 ფურცლის ერთობლიობა კუნძულზე დასახლებული ფრინველების პოპულაციას წარმოადგენს, 4 სხვადასხვა ფერის ფურცელი კი – ამ პოპულაციის სხვადასხვა ალელს.

პროცედურა:

1. ფერადი ფურცლები წარმოადგენენ სანყის პოპულაციის ინდივიდების შემთხვევითი შეჯვარების შედეგად მიღებულ 20 შთამომავალს 40 ალელით; გამოთვალე თითოეული ალელის სიხშირე სანყის პოპულაციაში.
2. ფერადი ფურცლები ჩაყარე ერთ-ერთ პარკში და აურე.
3. წარმოიდგინე, რომ ქარიშხალმა რამდენიმე ინდივიდი წაიღო სხვა კუნძულზე. ისინი იზოლირებულნი აღმოჩნდნენ და დასაბამი მისცეს ახალ პოპულაციას. ამისთვის პარკში ჩაყრილი 40 ფურცლიდან შემთხვევით სათითაოდ ამოიღე 10 ფურცელი ისე, რომ მასში არ ჩაიხედო და მოათავსე მეორე პარკში.
4. მეორე პარკში მოთავსებული 10 ფურცელი წარმოიდგინე, როგორც 5 ინდივიდის 10 ალელი; ამ ინდივიდებმა ახალ ტერიტორიაზე შექმნეს მცირე ზომის პოპულაცია.
5. ახალ პოპულაციაში გამოთვალე თითოეული ალელის შეხვედრის სიხშირე.

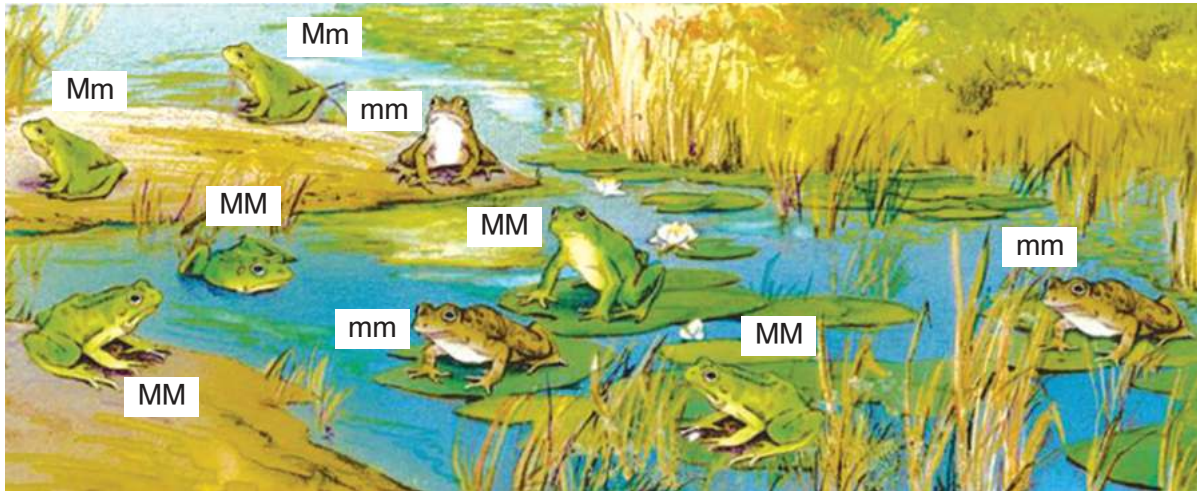
ანალიზი და დასკვნა:

1. მე-5 ნაბიჯში გამოთვლილი ალელების სიხშირე შეადარე სანყის პოპულაციის ალელების სიხშირეს. როგორ იცვლება ისინი?
2. სანყის პოპულაციასთან შედარებით, ახალ პოპულაციაში გენეტიკური მრავალფეროვნება გაიზარდა თუ შემცირდა?
3. რომელ ევოლუციურ მოვლენას ასახავს მე-3-4 ნაბიჯი?
4. შეაფასე, შენ მიერ შესრულებული მოქმედება არის თუ არა ევოლუციური პროცესის დემონსტრირება? რატომ?
5. არის თუ არა იგი ბუნებრივი გადარჩევის დემონსტრირება? პასუხი დაასაბუთე.





11. სურათზე მოცემული ინფორმაციის მიხედვით – 1) გამოთვალე თითოეული ალელის სიხშირე; 2) რომელი ალელის სიხშირეა უფრო მაღალი? როგორ ფენოტიპს განსაზღვრავს ეს ალელი? 3) როგორ ფიქრობ, მომავალში როგორ შეიძლება შეიცვალოს ამ პოპულაციაში ალელების სიხშირე, თუ ყავისფერი შეფერილობა აღმოჩნდება სასარგებლო? ახსენი შენი პასუხი.



ევოლუციის თანამედროვე თეორიის ძირითადი არსი მდგომარეობს შემდეგში:

- ევოლუცია თანდათანობით მიმდინარე ხანგრძლივი პროცესია;
- ევოლუციის ელემენტარული ერთეულია პოპულაცია;
- მიკროევოლუციის ფაქტორებია: მუტაცია, გენთა ნაკადი, გენთა დრეიფი, გეოგრაფიული და რეპროდუქციული იზოლაცია და ბუნებრივი გადარჩევა;
- ევოლუციის მასალას ქმნის მემკვიდრული ცვალებადობა – მუტაციები, რომლებიც შემთხვევით და არამიმართულ ხასიათს ატარებს;
- ევოლუციის მთავარი მამოძრავებელი ფაქტორია ბუნებრივი გადარჩევა.



რატომ ითვლება არსებობისათვის ბრძოლა ბუნებრივი გადარჩევის წინაპირობად?



● სასიცოცხლო თვისებები:

არსებობისათვის ბრძოლა – შიდა-სახეობრივი, სახეობათშორისი და ბრძოლა არაცოცხალი გარემოს არახელსაყრელ პირობებთან.



● რა არის მიკროეოლუცია? მაკროეოლუცია?

- რა არის მიკროეოლუციის ფაქტორები?
სურათ 2.20-ზე ასახულია ფიჭვნარი.
- რით განსხვავდებიან ფიჭვები ერთმანეთისგან?
- რით შეიძლება იყოს გამოწვეული ეს განსხვავება?
- რომელ მცენარეებს აქვს გადარჩენისა და შთამომავლობის დატოვების მეტი შანსი? რატომ ფიქრობ ასე?



სურ. 2.20.

ბუნებრივი გადარჩევის წინაპირობებია: პოპულაციის გენეტიკური ნაირგვარობა; გამრავლების პროგრესია; ბრძოლა არსებობისათვის.

ჩვენ უკვე განვიხილეთ, მუტაციური პროცესი, გენთა დრეიფი და გენთა ნაკადი შემთხვევით როგორ ცვლის პოპულაციის გენურ შედგენილობას – გენოფონდს. მუტაციური პროცესი, გენთა დრეიფი, გენთა ნაკადი, იზოლაცია არამიმართული ხასიათის ფაქტორებია, რომლებიც პოპულაციების გენეტიკური მრავალგვარობის წარმოქმნას უწყობს ხელს ან ხელს უშლის, შესაბამისად, ზრდის ან ამცირებს მასალას ბუნებრივი გადარჩევისთვის.

შენ უკვე იცი, რომ პოპულაციის გენეტიკურ მრავალფეროვნებას განაპირობებს სქესობრივი გამრავლების დროს გენების ახალი კომბინაციის წარმოქმნა და მუტაციები; ისიც იცი, რომ სახეობათა უმრავლესობისთვის დამახასიათებელია გამრავლების მაღალი ინტენსიურობა, რომელიც პოპულაციაში ინდივიდების რიცხვსა და საარსებო პირობებს შორის ქმნის შეუსაბამობას; ეს კი იწვევს არ-

სებობისათვის ბრძოლას, რომლის დროსაც უპირატესად გადარჩებიან სასარგებლო მემკვიდრული ნიშან-თვისების მქონე ინდივიდები. ამრიგად, ბუნებრივი გადარჩევა წარმოებს არსებობისათვის ბრძოლის საფუძველზე.

არსებობისათვის ბრძოლა არის რთული და მრავალფეროვანი ურთიერთდამოკიდებულება ინდივიდებისა სახეობის შიგნით, სხვადასხვა სახეობას შორის და ბუნების არაცოცხალ ფაქტორებთან. ამავე დროს, ამ პროცესში იგულისხმება არა მარტო ერთი ინდივიდის სიცოცხლე, არამედ ისიც, თუ რამდენად უზრუნველყოფს იგი თავის თავს შთამომავლობით. დარვინი არსებობისათვის ბრძოლის სამ ფორმას არჩევდა: შიდასახეობრივს, სახეობათშორისსა და ბრძოლას არაორგანული ბუნების არახელსაყრელ პირობებთან.

არსებობისათვის შიდასახეობრივი ბრძოლა გულისხმობს ერთი სახეობის ინდივიდებს შორის მრავალფეროვან ურთიერთობებს. არსებობისათვის ბრძოლის ეს ფორმა განსაკუთრებული სიმძაფრით ხასიათდება, რადგან ერთი სახეობის ინდივიდებს მსგავსი ინტერესები აქვთ. კონკურენციაა ტერიტო-

რიისთვის, განათებისთვის, ტენიანობისთვის, მდედრისთვის, საკვებისთვის. კონკურენციის ნაცვლად, ზოგჯერ ინდივიდები ერთმანეთთან პირდაპირ ბრძოლაში ებმებიან (სურ. 2.21). მეთოვლიები, საკვების ნაკლებობის შემთხვევაში, სობენ ზოგიერთ მართვეს, წინკანები საფენის ქვეშ ჭყლეტენ ერთ ან ორ ბარტყს, რათა დანარჩენები გამოკვებონ. ეს მაგალითები მონმობს, რომ არსებობისთვის ბრძოლა შესაძლოა, საზიანო იყოს ცალკეული ინდივიდისთვის, მაგრამ სასარგებლოა მთლიანად პოპულაციისთვის. მაგრამ ერთი სახეობის ინდივიდებს შორის არსებობს არა მარტო კონკურენცია და ბრძოლა, არამედ ეხმარებიან კიდეც ერთმანეთს: ერთობლივად



სურ. 2.21.

ზრუნავენ შთამომავლობაზე, ერთად იცავენ თავს მტრისგან (სურ. 2.22) ან ერთად მოიპოვებენ საკვებს (სურ. 2.23).



სურ. 2.22.

სახეობათაშორისი არსებობისათვის ბრძოლა მიმდინარეობს სხვადასხვა სახეობის ინდივიდებს შორის. იგი, ძირითადად, პირდაპირ ხასიათს ატარებს. სახეობათშორისი ბრძოლის მაგალითია ორგანიზმებს შორის ისეთი ურთიერთობა, როგორიცაა პარაზიტსა და



სურ. 2.23.

მასპინძელს, მტაცებელსა და მსხვერპლს შორის (სურ. 2.24). ზოგჯერ ეს ბრძოლა არაპირდაპირი ხასიათისაა, რაც კონკურენციის სახით ვლინდება. ტყეში სინათლის მოყვარული სახეობების — ფიჭვის, არყისა და ვერხვის ტოტების ქვეშ კარგად ვითარდება ნაძვის აღმონაცენი, რომელიც გაშლილ ადგილზე დაილუპებოდა. შემდეგ კი, ნორჩი ნაძვების ვარჯის შემჭიდროვების გამო, სინათლის მოყვარული მცენარეების აღმონაცენები ილუპება.

ფართო გაგებით, არსებობისთვის ბრძოლის მაგალითია აგრეთვე ისიც, როდესაც ერთი სახეობა საკუთარი თავის დაუზიანებლად ხელს უწყობს მეორეს (მაგ., ფრინველებისა და ძუძუმწოვრების მიერ თესლებისა და ნაყოფების გავრცელება), ან როდესაც სხვადასხვა სახეობის ინდივიდებს შორის ურთიერთსასარგებლო დამოკიდებულებაა (მაგ., ყვავილოვანი მცენარეები და მათი დამმტვერავეები, სურ. 2.25).



სურ. 2.24.

ბრძოლა გარემოს არახელსაყრელ აბიოტურ ფაქტორებთან (დაბალი ან მაღალი ტემპერატურა, ნიადაგის მარილიანობა, გვალვა და ა.შ.) გამოიხატება თავდაცვითი შეგუებულობის წარმოქმნაში. მაგ., უდაბნოს მცენარე კაქტუსს ფოთლები ეკლებად აქვს გადაქცეული, რათა შეამციროს წყლის აორთქლება, ტროპიკული მცენარეების ფოთლები კი დიდი ზომისაა დიდი რაოდენობის ბაგეებით, რათა ინტესიურად აორთქლდეს წყალი. იმ ცხოველების უმრავლესობას, რომლებსაც დაბალი ტემპერატურის პირობებში უხდებათ ცხოვრება, ხშირი ბენვი აქვთ, კანქვეშ ცხიმის სქელი ფენა უვითარდებათ და/ან სხეულის მცირე ნანაზარდები აქვთ, რაც იცავს მათ სითბოს დაკარგვისაგან. ცხელ კლიმატურ გარემოში მცხოვრებ ცხოველებს კი თხელი ბენვი და სხეულის დიდი ნანაზარდები აქვთ, რაც ზრდის სხეულის მიერ სითბოს გაცემას (სურ. 2.26 – პოლარული მელა და უდაბნოს მელა).

ბრძოლის ამ ფორმასაც დიდი მნიშვნელობა აქვს ევოლუციისათვის, რადგან იგი ამძაფრებს შიდასახეობრივ ბრძოლას. მაგალითად, ტენის ნაკლებობის დროს მცენარის პოპულაციაში მძაფრდება კონკურენცია ამ ფაქტორისადმი და გამარჯვებულნი გამოდიან ის ინდივიდები, რომელთაც ექნებათ ისეთი მემკვიდრეო-



სურ. 2.25.

ბითი ცვლილებები, რომლებიც განაპირობებს წყლის უკეთ შენთვისა და შენარჩუნებას. ეს, საბოლოო ჯამში, სახეობის საარსებო პირობებთან შეგუების ამაღლებას გამოიწვევს, რადგან **არსებობისათვის ბრძოლის პროცესში უპირატესად გადარჩებიან ის ინდივიდები, რომელთაც მოცემულ საარსებო პირობებში სასარგებლო მემკვიდრული ცვლილებები აქვთ.**



სურ. 2.26.



1. დაასახელე არსებობისათვის ბრძოლის ფორმები. რომელი ფორმა მიმდინარეობს ყველაზე მძაფრად და რატომ?
2. რა არის არსებობისათვის ბრძოლის მიზეზები და შედეგები?
3. რა როლს ასრულებს არსებობისათვის ბრძოლა ევოლუციაში?



4. მოიყვანე არსებობისათვის ბრძოლის ისეთი მაგალითები, რომლებიც უშუალოდ ბრძოლას და/ან კონკურენციას კი არა, არამედ ასახავენ ორგანიზმებს შორის სასარგებლო დამოკიდებულებას.
5. გაეცანი ორგანიზმებს შორის, ორგანიზმებსა და გარემოს შორის ურთიერთობის მაგალითებს, თითოეული მაგალითი შეუსაბამე არსებობისათვის ბრძოლის ფორმებს, მონაცემები შეიტანე ცხრილში.

მაგალითები: 1. ტროპიკული მცენარეების დიდი ფოთოლი და ბაგეების დიდი რიცხვი; 2. აბედა სოკო ცხოვრობს ხემცენარეზე; 3. პოლარულ კურდღელს ხშირი ბეწვი აქვს; 4. მღიერი სოკოსა და წყალმცენარის თანაცხოვრების შედეგია; 5. მშვიერი მგელი მისდევს ირმებს; 6. ირმები ეჯიბრებიან ერთმანეთს, რომელი გაასწრებს მტერს; 7. ავსტრალიაში ჩაყვანილმა ევროპულმა ფუტკარმა ადგილობრივი ფუტკარი განდევნა; 8. უდაბნოს მცენარეებს ეკლები და გრძელი ფესვი აქვთ; 9. ზღვის ლომს კანქვეშა ცხიმის სქელი შრე აქვს; 10. აქლემი კუბში ცხიმს იგროვებს; 11. რწყილი ცხოვრობს ძაღლის კანზე; 12. ტროპიკულ ტყეებში ლიანები საყრდენად იყენებენ ხემცენარეებს; 13. მწერები მონაწილეობენ მცენარეების დამტვერვაში; 14. წინკანები საფენის ქვეშ ჭყლეტენ ერთ ან ორ ბარტყს; 15. ორქიდეა ემაგრება ხემცენარის ლეროს.

არსებობისათვის ბრძოლის ფორმა	მაგალითის ნომერი
×	×
×	×
×	×



- არსებობისათვის ბრძოლის მიზეზი არის ორგანიზმებში მაღალი რეპროდუქციის უნარი, რის შედეგადაც წარმოიქმნება შეუსაბამობა ინდივიდების რიცხვსა და საარსებო პირობებს შორის;
- ყველაზე მძაფრად მიმდინარეობს შიდასახეობრივი და სახეობათაშორისი ბრძოლა ახლომდგომ სახეობებს შორის, რადგან მათ მსგავსი საარსებო პირობები სჭირდებათ;
- არსებობისათვის ბრძოლა ბუნებრივი გადარჩევის წინაპირობაა.

2.5. ბუნებრივი გადარჩევა

რატომ არის მხოლოდ ბუნებრივი გადარჩევა მიმართულებითი ხასიათის ევოლუციური ფაქტორი?



- **ბიომრავალფეროვნება:** ბუნებრივი გადარჩევის ფორმები – მამოძრავებელი, მასტაბილიზებული და დიზრუპტული; სქესობრივი გადარჩევა.
- **ჯანმრთელობა და დაავადება:** დაავადების გამომწვევი ბაქტერიების ევოლუცია – ანტიბიოტიკი, რეზისტენტული ბაქტერიები.

შეგახსენებთ, რომ ბუნებრივი გადარჩევა არის პროცესი, რომლის შედეგადაც გადარჩებიან და თავის შემდგომ შთამომავლობას დატოვებენ უპირატესად ის ინდივიდები, რომლებსაც მოცემულ პირობებში სასარგებლო მემკვიდრული ცვლილებები აქვთ. ბუნებრივი გადარჩევა არ ქმნის ახალ ფენოტიპებს ან გენოტიპებს. იგი არსებობისათვის ბრძოლის პროცესში ასრულებს ნაკლებად შეგუებული ფორმების გაცხრილვისა და უკეთ შეგუებული ფორმების გადარჩევის მექანიზმის როლს.

ამრიგად, **ბუნებრივი გადარჩევა წარმოადგენს ორგანული სამყაროს ევოლუციის**



სურ. 2.27



- რას ეწოდება ბუნებრივი გადარჩევა?
 - მიკროევოლუციის ფაქტორებიდან რომელია არამიმართულებითი ხასიათის და რატომ?
- ზოგჯერ ბუნებრივი გადარჩევის შედეგი უნებურად ადამიანის საქმიანობასთან არის დაკავშირებული. ამის კლასიკურ მაგალითად ითვლება IX კლასიდან შენთვის ნაცნობი ე.წ. ინდუსტრიული მელანიზმის მოვლენა, რომელსაც სურათი 2.27 ასახავს. სურათზე მოცემული ინფორმაციის გაანალიზების საფუძველზე უპასუხე კითხვებს:
- მწერის რომელი ფენოტიპი ექცევა ბუნებრივი გადარჩევის კონტროლის ქვეშ თითოეულ – ა და ბ – შემთხვევაში და რატომ? ახსენი შენი პასუხი.
 - რომელი ორგანიზმია ბუნებრივი გადამრჩევის როლში? ახსენი შენი პასუხი.

წამყვან, მიმართული ხასიათის ერთადერთ მამოძრავებელ ფაქტორს. ეს აიხსნება იმით, რომ მისი მოქმედების შედეგად უპირატესად გადარჩებიან და შთამომავლობას დატოვებენ გარემოსთან უკეთ შეგუებული ინდივიდები; შესაბამისად, კონკრეტულ საარსებო გარემოში გარკვეული გენოტიპები შერჩევით შენარჩუნდება და გადაეცემა მომდევნო თაობას.

ბუნებრივი გადარჩევა მოქმედებს პოპულაციებში. მისი ობიექტია ცალკეული ინდივიდების ფენოტიპები. **ბუნებრივ გადარჩევას აქვს შემოქმედებითი როლი**, რადგან არამიმართული მემკვიდრული ცვლილებებიდან შენარჩუნდება ისინი, რომელთაც შესაძლოა გამოიწვიონ ახალი, უფრო სრულყოფილი ჯგუფების წარმოქმნა მოცემულ საარსებო პირობებში. განარჩევენ ბუნებრივი გადარჩევის სამ ფორმას: მასტაბილიზებელს, მამოძრავებელსა და დიზრუპტულს (სურ. 2.28).

მასტაბილიზებელი ბუნებრივი გადარჩევა მიმართულია უკვე არსებული ფენოტიპების შენარჩუნებისკენ. მაგალითად, ტბის ბაყაყის შეფერილობა, რომელიც ცხოვრობს მტკნარი



წყალსატევების მახლობლად, შეუმჩნეველს ხდის მას მცენარეებს შორის (სურ. 2.29). თუმცა დროდადრო მათ პოპულაციებში მუტაციების შედეგად ჩნდება განსხვავებული შეფერილობის ინდივიდებიც. ახალი შეფერილობა მემკვიდრეობით გადაეცემა, მაგრამ ასეთი მუტანტების რიცხვი არ იზრდება: მათ სწრაფად ანადგურებენ მტაცებელი ფრინვე-

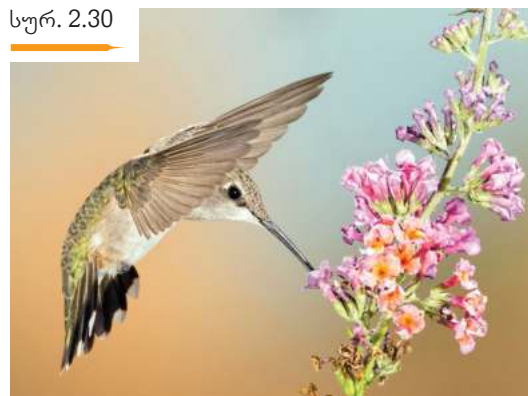
ლები, რადგან მცენარეულ ფონზე კარგად შეიმჩნევიან. შესაბამისად, ისინი იშვიათად აღწევენ ზრდასრულ ასაკს და იშვიათად ტოვებენ შთამომავლობას.

მასტაბილიზებული ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედების შედეგად მწერიმტვერია მცენარეების ყვავილების ფორმას მცირე ცვალებადობა ახასიათებს (სურ. 2. 30). ეს იმის გამო,

სურ. 2.29



სურ. 2.30



რომ ყვავილის პროპორციები შეგუებულია დამტვერავი მწერებისა და სხვა ორგანიზმების პირის აპარატის/ნისკარტის ზომასა და ფორმასთან; ფართო ცვალებადობა, ამ შემთხვევაში, არახელსაყრელ გავლენას მოახდენდა მათ დამტვერვაზე. მასტაბილიზებული გადარჩევის ხანგრძლივი მოქმედების შედე-

გად მრავალი თაობის განმავლობაში თითქმის უცვლელი დარჩა ზოგიერთი სახეობა. ამგვარი სახეობებია: მოლუსკი ნაუტილუსი (დაახლოებით 500 მლნ წელი – სურ. 2.31), ჰატერია (230 მლნ წელი – სურ.2.32), გინკო (დაახლოებით 240 მლნ. წელი), ციანობაქტერიის ზოგიერთი სახეობა (არანაკლებ 1,5-2 მლრდ წელი).



სურ. 2.31



სურ. 2.32

ე.ი. მასტაბილიზებული გადარჩევა მოქმედებს იქ, სადაც ხანგრძლივი დროის განმავლობაში სასიცოცხლო პირობები მნიშვნელოვნად არ იცვლება. მასტაბილიზებული გადარჩევა უზრუნველყოფს სახეობის ნიშან-თვისებების შენარჩუნებას გარემოს სტაბილურ პირობებში. იგი გაცხრილავს იმ ორგანიზმებს, რომელთაც ჩამოყალიბებული ფენოტიპების ვარიანტებიდან მკვეთრი გადახრა ახასიათებთ.

მამოძრავებელი ბუნებრივი გადარჩევა, მასტაბილიზებული ბუნებრივი გადარჩევის საწინააღმდეგოდ, იწვევს ჩამოყალიბებული ფენოტიპის ცვლილებას. მამოძრავებელი ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედება სწრაფად მჟღავნდება გარემო პირობების მკვეთრი

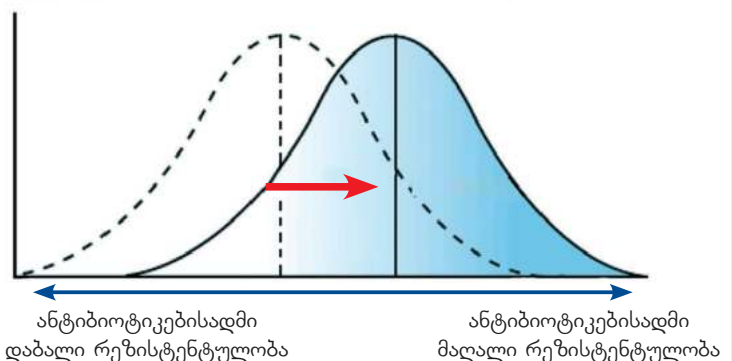
ცვლილებების დროს ან როცა პოპულაციის წევრები ახალ, განსხვავებულ არეალს იკავებენ. მამოძრავებელი გადარჩევის მოქმედების მაგალითია ანტიბიოტიკებისადმი მდგრადი ბაქტერიების, პესტიციდებისადმი გამძლე მწერების სახეობების ჩამოყალიბება და ა.შ.

ანტიბიოტიკებისადმი მდგრადი/რეზისტენტული ბაქტერიების სახეობების წარმოქმნა მამოძრავებელი ბუნებრივი გადარჩევის კლასიკური მაგალითია (სურ. 2.33). მუტაციები ყოველთვის ხდება და შესაძლებელია 1940 წლამდეც (სანამ ფლემინგი პენიცილინს აღმოაჩენდა) ზოგიერთი ბაქტერია გარკვეული ხარისხით იყო მდგრადი ანტიბიოტიკებისადმი, მაგრამ ამ დროისთვის ეს თვისება მათ

მამოძრავებელი ბუნებრივი გადარჩევა მოქმედებს ერთ-ერთი კიდურა ფენოტიპის სასარგებლოდ

- საწყისი პოპულაცია
- ბაქტერიის პოპულაციაზე ზეწოლას ახდენს ანტიბიოტიკები
- მამოძრავებელი ბუნებრივი გადარჩევის ზემოქმედებით წარმოქმნილი ახალი პოპულაცია

სურ. 2.33



რაიმე სახის უპირატესობას არ ანიჭებდა. როგორც კი ინტენსიურად დაიწყეს ანტიბიოტიკების გამოყენება, ანტიბიოტიკებისადმი რეზისტენტულმა ბაქტერიებმა უპირატესობა მოიპოვეს.

ინფექციური დაავადების სამკურნალოდ ანტიბიოტიკების გამოყენების წარმატებამ ამ პრეპარატების გადაჭარბებული მოხმარება, ბაქტერიებში კი ანტიბიოტიკებისადმი რეზისტენტული ფენოტიპის უპირატესობა გამოიწვია. ფარმაკოლოგები რეზისტენტულ ბაქტერიებთან საბრძოლველად ქმნიან ახალ-ახალ სამკურნალო პრეპარატებს; შედეგად, გაჩნდნენ „სუპერბაქტერიები“: მათ სხვადასხვა პრეპარატისადმი მაღალი მდგრადობა აქვთ. დღეს ბაქტერიების 200-მდე სახეობა ავლენს ანტიბიოტიკებისადმი რეზისტენტულობას.

ბუნებაში მამოძრავებელი და მასტაბილიზებული გადარჩევის ფორმები მუდმივად მოქმედებს და ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად არ მიმდინარეობს — მასტაბილიზებული ინახავს და ამყარებს იმ ევოლუციურ ცვლილებებს, რომლებიც მამოძრავებელი გადარჩევის შედეგად მიიღება.

დიზრუპტული (დამანანევრებელი) ბუნებრივი გადარჩევა იწვევს კიდურა ფენოტიპების ინდივიდების შენარჩუნებას პოპულაციაში და გაცხრილავს შუალედური ფენოტიპის ინდივიდებს. მას დამანანევრებელ გადარჩევასაც უწოდებენ. შუალედური ფორმების



სურ. 2.34

გაცხრილვის შედეგად პოპულაცია რამდენიმე ჯგუფად იყოფა. თუ რალაც მიზეზით ამ ჯგუფებს შორის გენთა ნაკადი შეწყდა, თითოეულმა მათგანმა შეიძლება დასაბამი მისცეს ახალ სახეობას. მაგალითად, კამერუნში გავრცელებული მარცვლეულით მკვებავი მთიულების პოპულაციაში გვხვდება ორგვარი, მეტად განსხვავებული ნისკარტის მქონე ფრინველები. პატარა ნისკარტიანი ინდივიდები იკვებებიან, ძირითადად, რბილი მარცვლებით. დიდნისკარტიანი ფრინველები კი დიდი ზომის მკვრივ მარცვლებს ნისკარტით ამტვრევენ (სურ. 2.34). როგორც ჩანს, საშუალო ნისკარტიან ფრინველებს უჭირთ ორივე ტიპის მარცვლებით კვება. ამრიგად, დიზრუპტული გადარჩევა იწვევს ნიშან-თვისებათა დაცილებას — დივერგენციას და იგი, მამოძრავებელი გადარჩევის მსგავსად, პროგრესულ ფუნქციას ასრულებს.



რას ნიშნავს სქესობრივი გადარჩევა და რა როლს ასრულებს იგი ევოლუციაში?

სქესობრივი გადარჩევა გულისხმობს, რომ შეჯვარების დროს პოპულაციის ინდივიდები უპირატესობას ანიჭებენ სანინააღმდეგო სქესის რომელიმე წარმომადგენელს და ამგვარად, შეჯვარება შემთხვევითი კი არ არის, არამედ შერჩევის საფუძველზე ხდება. სქესობრივი გადარჩევის პროცესში წარმატებული ორგანიზმების გენები ბუნებრივი გადარჩევის გზით ძლიერდება — მრავლდება პოპულაციაში. ძალიან ბევრ სახეობაში პარტნიორს მდედრები ირჩევენ. არჩევენ სქესობრივი გადარჩევის ორ ტიპს:

- ინტრასქესობრივი გადარჩევა, როდესაც მამრებს შორის მიმდინარეობს კონკუ-

რენცია მდედრისთვის და ზოგჯერ ფიზიკურად უპირისპირდებიან ერთმანეთს, კონკურსში გამარჯვებული კი მდედრს უწყვილდება.

- ინტერსქესობრივი გადარჩევა, როდესაც მამრებს მდედრების მისაზიდად უვითარდება სპეციფიკური ნიშნები. მაგალითად, ზოგ მამრს გაცილებით კაშკაშა შეფერილობა აქვს მდედრთან შედარებით (სურ. 2.35).

ნიშნები, რომლებიც მამრს შეჯვარების უპირატესობას ანიჭებს, ზოგჯერ ინდივიდის გადარჩენისთვის საზიანოა. მაგალითად, მამრი ხოხობი თავისი კაშკაშა ფერებით უფრო

ადგილი შესამჩნევია მტაცებლისა და მონადირისთვის, ვიდრე მდედრი. მაშინ როგორ შენარჩუნდება ასეთი ნიშნები პოპულაციის მამრებში? კვლევებმა აჩვენეს, რომ ასეთი ეფექტის ნიშნები (კაშკაშა შეფერილობა, ლომებში დიდი ფაფარი, ხარიერეში დიდი და ძლიერი რქები, ფრინველებში გრძელი საჭის ბუმბული) შეიძლება დაკავშირებული იყოს კარგ ჯანმრთელობასთან, მაღალნაყოფიერებასთან, შთამომავლობაზე ზრუნვისა და მტაცებლებისგან დაცვის განმსაზღვრელ გენებთან. მაგალითად, ლომების პოპულაციაში მდედრები უპირატესობას ანიჭებენ მამრებს უკეთ განვითარებული ფაფრით. რაც მეტია მამრის ორგანიზმში მამრობითი ჰორმონების რაოდენობა, მით უფრო კარგად ვითარდება არა მარტო ფაფარი, არამედ კუნთოვანი სისტემაც. ამგვარად, ფაფრის ზომების მიხედვით



სურ. 2.35

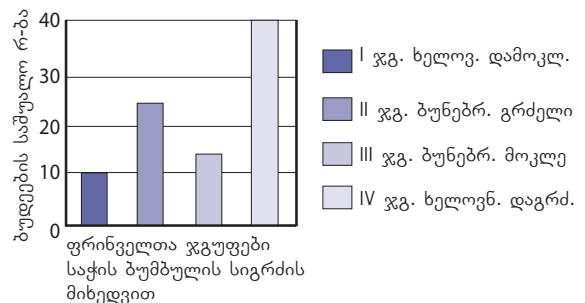
სქესობრივი გადარჩევა ფიზიკურად ძლიერი შთამომავლობის დატოვების საწინდარია.

ასეთი ეფექტური ნიშნების მქონე მამრებთან მდედრების უპირატესად შეჯვარებამ შეიძლება გამოიწვიოს ამ ნიშნის გადაჭარბებული განვითარებაც კი.



მონაცემების ანალიზი

გრაფიკზე მოცემული მონაცემები შეგროვდა კენიაში ჩატარებული ექსპერიმენტის საფუძველზე. მეცნიერები ცდილობდნენ ფრინველების ერთ-ერთ სახეობაში განესაზღვრათ კავშირი მამრის საჭის ბუმბულის სიგრძესა და მის რეპროდუქციულ წარმატებას შორის. რეპროდუქციული წარმატების საზომად გამოიყენეს ბუდეების რიცხვი, რომელიც განსაზღვრეს ფრინველთა ოთხი ჯგუფისთვის: I ჯგუფი: მამრებს ხელოვნურად დაუმოკლეს საჭის ბუმბული უფრო მეტად, ვიდრე ბუნებრივად ჰქონდა მოკლე საჭის ბუმბულიან ფრინველს, II ჯგუფი: ბუნებრივად გრძელი საჭის ბუმბულიანი, III ჯგუფი: ბუნებრივად მოკლე საჭის ბუმბულიანი, IV ჯგუფი: მამრებს ხელოვნურად დაუგრძელეს საჭის ბუმბული იმაზე მეტად, ვიდრე ბუნებრივად ჰქონდა გრძელი საჭის ბუმბულიან ფრინველს.



გაანალიზე გრაფიკზე მოცემული მონაცემები:

- დაასახელე დამოუკიდებელი და დამოკიდებული ცვლადები აღწერილი ექსპერიმენტისთვის;
- ფრინველთა რომელ ჯგუფს/ჯგუფებს ჩათვლი საკონტროლოდ? ახსენი, რატომ?
- ფრინველებს შორის არსებობისათვის ბრძოლის რომელი ფორმა მიმდინარეობს?
- ცვალებადობის რომელი ფორმა განაპირობებს საჭის ბუმბულის სიგრძის ცვლილებას?
- რა მნიშვნელობა აქვს ევოლუციის პროცესისათვის ცვალებადობის ამ ფორმას?
- გამოავლინე კანონზომიერება: როგორი ფენოტიპის მამრი ინდივიდები მოიპოვებენ უპირატესობას? შენი პასუხი დაასაბუთე ექსპერიმენტის შედეგად მოპოვებული მონაცემების საფუძველზე.
- რომელი ევოლუციური ფაქტორის მოდელს წარმოადგენს მოცემული ექსპერიმენტი?

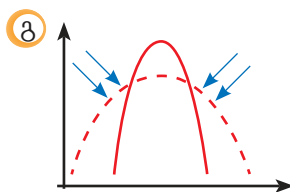
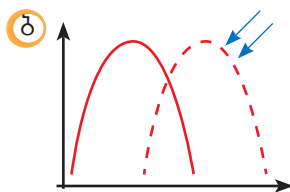
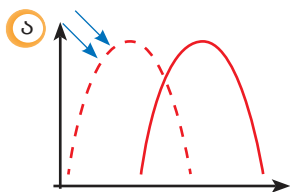


1. იპოვე შესაბამისობა ბუნებრივი გადარჩევის ფორმებსა და მათ მახასიათებლებს შორის:

- | | |
|-------------------------------|---|
| 1. მასტაბილიზებული გადარჩევა; | ა) მოქმედებს გარემოს ცვალებად პირობებში და ხელს უწყობს შუალედური ფენოტიპიდან გადახრების შენარჩუნებას; |
| 2. მამოძრავებელი გადარჩევა; | ბ) ხელს უწყობს ჩამოყალიბებული ფენოტიპის შენარჩუნებას გარემოს შედარებით მუდმივ პირობებში; |
| 3. დიზრუპტული გადარჩევა. | გ) მოქმედებს გარემოს განსხვავებულ პირობებში და ხელს უწყობს კიდურა ფენოტიპების ჩამოყალიბებას. |

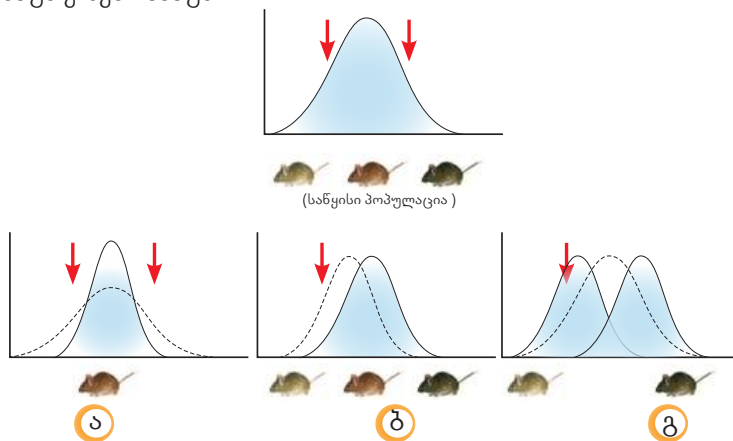
	1	2	3
ა	×	×	×
ბ	×	×	×
გ	×	×	×

2. რაზე დამოკიდებული ორგანიზმების რეპროდუქციული წარმატება?
3. რა შედეგით მთავრდება ბუნებრივი გადარჩევა პოპულაციაში?
4. ქვემოთ ჩამოთვლილი მაგალითები მიუსადაგე მრუდებით გამოსახულ ევოლუციურ მოვლენებს.
- 1) კუნძულზე, სადაც განუწყვეტლივ ქროდა ქარი, გადაშენდნენ მაღალტანიანი და უპირატესად გადარჩნენ მინაზე გართხმული მცენარეები. 2) უდაბნოს პირობებში გადაშენდნენ მოკლეფესვიანი და უპირატესად გადარჩნენ გრძელფესვიანი მცენარეები. 3) ხშირ ქარიშხლიან პირობებში უპირატესად გადარჩნენ საშუალოფრთიანი, ხოლო დაიღუპნენ გრძელ და მოკლეფრთიანი ბელურები.
- შენიშვნა:** აბსცისაზე გადაზომილია ფენოტიპების ცვალებადობა, ორდინატაზე გადაზომილია ინდივიდთა რიცხვი. ისრებით მითითებულია ბუნებრივი გადარჩევის ზეწოლის მიმართულება.



	1	2	3
ა	×	×	×
ბ	×	×	×
გ	×	×	×

5. ამოიცანი სურათებზე გამოსახული მამოძრავებელი, მასტაბილიზირებელი და დიზრუპტული გადარჩევა და დაასაბუთე შენი პასუხი.



6. დაასახელე უპირატესობა და ნაკლი, რომლებიც, შენი შეხედულებით, ცხოველებში „თავის მონონების“ მექანიზმებს/საშუალებებს აქვს.

7. როგორც ზემოთ განვიხილეთ, მასტაბილიზებული ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედების შედეგად მწერიმტვერია მცენარეების ყვავილებს მცირე ცვალებადობა ახასიათებს. როგორ ფიქრობ, ამ დროს მასტაბილიზებული გადარჩევა მხოლოდ ყვავილებზე მოქმედებს თუ დამმტვერავ ორგანიზმებზეც? დაასაბუთე შენი პასუხი.
8. რატომ მოქმედებს ბუნებრივი გადარჩევა უშუალოდ ფენოტიპზე და არა გენოტიპზე?
9. ფლემინგი მოგვინოვებს: სანამ დაავადების დიაგნოზი არ დაისმება, პენიცილინის გამოყენება არ ღირს; მაგრამ თუ ამას ვერ აარიდეთ თავი, ნუ გამოიყენებთ მას მცირე დოზებითა და ხანმოკლე ვადით. ახსენი, რას გულისხმობდა ფლემინგი, როდესაც ასეთ რჩევას გვაძლევდა.



კვლევის ანგარიშის მომზადება

დავალების პირობა: წარმოიდგინე, რომ შენ ხარ სამეცნიერო ჯგუფის წევრი. თქვენი მიზანია კვლევის შედეგად სქესობრივი გადარჩევის მოქმედების დასაბუთება. რომ გაგერკვიათ მდედრი გუპიები უპირატესობას ანიჭებდნენ თუ არა მამრებს კუდის ფარფლის ზომის მიხედვით, თქვენ ჩაატარეთ სამი ექსპერიმენტი გუპიებზე. ყოველ ექსპერიმენტში მდედრ გუპიებს აძლევდით კუდის ფარფლის სიგრძის მიხედვით ორი ტიპის მამრებს შორის არჩევანის საშუალებას: I. გრძელი კუდის ფარფლიანები და მოკლე კუდის ფარფლიანები, II. გრძელი კუდის ფარფლიანები და საშუალო ზომის კუდის ფარფლიანები, III. საშუალო ზომის კუდის ფარფლიანები და მოკლე კუდის ფარფლიანები.

თითოეული ექსპერიმენტისთვის თქვენ გამოთვალეთ მდედრის არჩევანის პროცენტი და ასეთი შედეგი მიიღეთ: I. 80%/20%, II. 65%/30%, III. 60%/40%.

ზემოთ აღწერილი ექსპედიციის შედეგების მიხედვით მოამზადე **კვლევის ანგარიში**, რომელშიც უნდა წარმოადგინო ექსპედიციის კვლევის მონაცემების საფუძველზე შექმნილი სვეტოვანი დიაგრამა და კვლევის შედეგების ანალიზი: 1) დაასახელე დამოუკიდებელი და დამოკიდებული ცვლადები; 2) თეგებს შორის არსებობისათვის ბრძოლის რომელი ფორმა მიმდინარეობს? 3) ცვალებადობის რომელი ფორმა განაპირობებს კუდის ფარფლის სიგრძის ცვლილებას? ევოლუციის პროცესისათვის რა მნიშვნელობა აქვს ცვალებადობის ამ ფორმას? 4) რა ნიშან-თვისების მატარებელი მამრი ინდივიდები მოიპოვებენ უპირატესობას? შენი პასუხი დაასაბუთე ექსპედიციის შედეგად მოპოვებული მონაცემების საფუძველზე. 5) გამოიტანე დასკვნა: რა კავშირია მამრების კუდის ფარფლის სიგრძესა და მდედრების მიერ გაკეთებულ არჩევანს შორის? რატომ არის მდედრების არჩევანის პროცენტების თანაფარდობა უფრო დიდი I ექსპერიმენტში II ექსპერიმენტთან შედარებით?

კვლევის ანგარიშის პრეზენტაციისას ხაზგასმით წარმოაჩინე:

- როგორია სახეობის სტრუქტურა?
- რატომ არის ევოლუციის ელემენტარული ერთეული პოპულაცია და არა ინდივიდი?
- დარეინმა მეცნიერული კვლევებისა და დაკვირვების საუძველზე რატომ მიიჩნია ორგანიზმთა რეპროდუქციის მაღალი დონე და არსებობისათვის ბრძოლა ბუნებრივი გადარჩევის წინაპირობად?
- დარეინმა მეცნიერული კვლევებისა და დაკვირვების საუძველზე რატომ მიიჩნია მემკვიდრული მასალა ბუნებრივი გადარჩევის საფუძველად?
- რა არის მიკროევოლუციის მამოძრავებელი ფაქტორები?
- რა მნიშვნელობა აქვს ბუნებრივ გადარჩევას სახეობათა მრავალფეროვნების წარმოქმნაში?
- ექსპედიციის მონაცემების ანალიზის საფუძველზე როგორ დააკავშირებ ერთმანეთთან გენეტიკური და ევოლუციური ფაქტორების როლს ევოლუციის პროცესში?
- ჩატარებული ექსპედიციის შედეგები რამდენად ასაბუთებს ბუნებაში სქესობრივი გადარჩევის მიმდინარეობას?



- ევოლუციის ფაქტორებიდან მხოლოდ ბუნებრივი გადარჩევაა მიმართულებითი ხასიათის, რადგან უპირატესად გადაირჩევა სასარგებლო მემკვიდრული ნიშან-თვისებების მქონე ინდივიდები და მალღდება პოპულაციის შეგუება საარსებო პირობებთან;
- ბუნებრივი გადარჩევის ფორმებია მამოძრავებელი, მასტაბილიზებული და დიზრუპტული;
- სქესობრივი გადარჩევის პროცესში წარმატებული ორგანიზმების გენები ძლიერდება — მრავლდება პოპულაციაში.

2.6. შეგუებულობა

შეგუებულობის რა ფორმები გვხვდება ბუნებაში?



● **ბიომრავალფეროვნება:** მიკროეკოლოგიის შედეგი – შეგუებულობა (სტრუქტურული, ფიზიოლოგიური და ქცევითი).



● რას ნიშნავს ბუნებრივი გადარჩევის მიმართულებითი ხასიათი?

- სურათ 2.36-ის მიხედვით აღწერე, როგორ მოიპოვებს ქამელეონი საკვებს.
- აღწერე პროცესი, რომელიც ასახავს ბუნებრივი გადარჩევის როლს ქამელეონში საკვების მოპოვებასთან დაკავშირებული შეგუებულობის განვითარებაში.



სურ. 2.36

მიკროეკოლოგიის ერთ-ერთი შედეგია **შეგუებულობა (ადაპტაცია)**. ევოლუციის პროცესში ორგანიზმები იძენენ სხვადასხვა ნიშან-თვისებას, რაც საშუალებას აძლევთ მათ უფრო წარმატებით შეეგუონ საარსებო პირობებს. მაგალითად, ხშირი და თეთრი შეფერილობის ჩრდილოეთის ცხოველების (პოლარული მელიების, დათვების) ბეწვი, რომელიც მათ სიცვიდან იცავს და შეუმჩნეველს ხდის თოვლის ფონზე; ცხოველების პირის აპარატის აგებულება შეესაბამება კვების ფორმასა და საკვების ტიპს; სელაპების სხეულის ფორმა და ფეხ-ფარფლები ხელს უწყობს მათ წყალში გადაადგილებას; ჟირაფები ცხოვრობენ სავანეებში და იკვებებიან მაღალი ხეების ფოთლებით, რაშიც მათ ეხმარება გრძელი კისერი.

შეგუებულობის ასეთი მაგალითების მოყვანა ბევრი შეიძლება. შეგუებულობა ზრდის ორგანიზმების გადარჩენისა და შთამომავლობის დატოვების შესაძლებლობას. შეგუებულობა ეხება ორგანიზმების გარეგან და შინაგან ნიშან-თვისებებს, გამრავლებისა და ქცევების თავისებურებებს, რაც განაპირობებს გარემოსთან ორგანიზმთა შეგუებულობის სხვადასხვა ფორმას: ფიზიოლოგიურ, ქცევით და მორფოლოგიურ, ანუ სტრუქტურულ ადაპტაციებს. ამრიგად, **შეგუებულობა, ანუ ადაპტაცია არის ორგანიზმის მორფოლო-**

გიურ, ფიზიოლოგიურ, ქცევით თავისებურებათა ერთობლიობა, რომელიც ხელს უწყობს კონკრეტულ საარსებო გარემოში სახეობის არსებობას.

ფიზიოლოგიური ადაპტაციები მნიშვნელოვანია შეცვლილ გარემო პირობებში ორგანიზმის სიცოცხლისთვის. ფიზიოლოგიური ადაპტაციის მაგალითია ჰომეოსტაზი — ორგანიზმის უნარი, შეინარჩუნოს შინაგანი გარემოს სტაბილურობა მუდმივად ცვალებად გარემო პირობებში (სხეულის ტემპერატურა, წყლის შემცველობა, pH და სხვ.); მაგალითად, თეთრი დათვი ეძლევა ზამთრის ძილს და იგი ერთი თვე ძლებს საკვების გარეშე; ზოგიერთი ორგანიზმი სპეციფიკური სუნის მქონე ნივთიერებას გამოიმუშავებს, მაგ., ყვავილოვანი მცენარეები დამმტვერავეების, ხოლო ცხოველები სქესობრივი პარტნიორის მისაზიდად; ცხიმის დაგროვება სხეულში; ფოთოლცვენა და ზამთარში ტრანსპირაციის შემცირება; ფრინველებსა და ქვეწარმავლებს აქვთ სპეციალური ჯირკვლები, რომლებიც უზრუნველყოფს ჭარბი მარილების სწრაფ გამოყოფას. დელფინებსა და ღამურებს აქვთ ექოლოკაციის უნარი.

ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედების შედეგია **ქცევითი ადაპტაციებიც**. ქცევითი ადაპტაციები ძალიან მრავალფეროვანია: საკვების მოპოვებასთან დაკავშირებული ქცევები, შიშისა და აგრესიის გამოხატვა (მაგ., კატა საშიშროების მომენტში იღებს მუქარის — გამაფრთხილებელ პოზას; ავსტრალიური

ლაბადიანი ხვლიკი ფართოდ გაშლის მკაფიო ლაქებით დაფარულ საცელოს და ამ ქცევით ცდილობს მოახლოებული მტერი დააფრთხოს), ცხოველთა მიგრაციები, გამრავლებასთან დაკავშირებული საქორწინო

რიტუალები (იგი ძალიან რთულია და მკვეთრად გამოხატული ფრინველებში, ძუძუმწოვრებში), ორთაბრძოლა მდედრისთვის, ზრუნვა შთამომავლობაზე და ა.შ. (სურ. 2.37).

ქცევითი ადაპტაციები



ბრძოლა მამრ ინდივიდებს შორის



საქორწინო ცეკვა



ზრუნვა შთამომავლობაზე



სავანის ცხოველთა მიგრაცია გვალვის პერიოდში



უდაბნოს ცხელ დღეს სოროში დამალვა



მუქარის პოზა

სურ. 2.37

მორფოლოგიური (სტრუქტურული) ადაპტაციები (სურ. 2.38) — ეს შეგუებულობანი დაკავშირებულია სხეულის აგებულების თავისებურებებთან. მაგალითად, ციყვი ტყეში ხეზე ცხოვრებას არის შეგუებული: თვლების განლაგება ეხმარება შორს მყოფი საგნების დანახვაში, გრძელი უკანა ფეხები ტოტიდან ტოტზე ხტომაში, ბასრი კლანჭებით ხეს ეჭიდება, გრძელი ფუმფულა კუდი ნონასნორობას უნარჩუნებს; თევზებს წყალში ცხოვრებასთან დაკავშირებით აქვთ სხეულის

თითისტარისებური ფორმა, ლაყუჩები, ფარფლები და სხვ. ხმელეთზე ცხოვრებასთან დაკავშირებით ქვეწარმავლების კანი რქოვანი ქერცლებით დაიფარა, ფილტვები კარგად აქვთ განვითარებული, კვერცხი კირიანი ნაჭუჭითაა დაფარული და ა.შ. მცენარეებშიც უამრავი სტრუქტურული ადაპტაცია აღინიშნება. ყვავილოვან მცენარეებში ყვავილის წარმოქმნამ ხმელეთზე მათ ფართო გავრცელებას შეუწყო ხელი, წარმოექმნათ დამტვერვის სხვადასხვა საშუალება. მწერიმტვერია

სტრუქტურული ადაპტაციები



სურ. 2.38

მცენარეები, მკაფიოდ შეფერილი დიდი ყვავილით ან ყვავილედით გამოირჩევიან, ყვავილები მდიდარია სანექტრეებით, რაც იზიდავს დამმტვერავ მწერებსა და სხვა ცხოველებს.

მფარველობითი შეფერილობა (სურ. 2.39) — ასეთი შეფერილობა ცხოველებს ნაკლებ შესამჩნევს ხდის და წარმატებით იცავს მტრებისგან, ანდა მტაცებელ ცხოველს შეუშინებელს ხდის მსხვერპლისთვის. მწვანე გარემოში მცხოვრები ცხოველების უმეტესობა მწვანეა.

მაგალითად, კუტკალია, მწვანე ბაყაყი, ვასაკა, მწვანე ხვლიკი და სხვ. უდაბნოს ცხოველები მოყვითალო ან მურა-ყვითელია, პოლარულ მხარეში ცხოველები თეთრად არიან შეფერილნი (თეთრი დათვი, თეთრი მელა, თეთრი ბუ და სხვ.). ზოგ ცხოველს შეფერილობა გარემოს ფონის მიხედვით ეცვლება (ქამელეონი). ჩრდილოეთის ცხოველებს ახასიათებთ შეფერილობის სეზონური ცვლილება (სიასამური, კურდღელი, გნოლი და სხვ.).

მფარველობითი შეფერილობა



სურ. 2.39

გამაფრთხილებელი შეფერილობის (სურ. 2. 40) შემთხვევაში ორგანიზმს აქვს მკვეთრი, თვალშისაცემი შეფერილობა. მკვეთრად შეფერილი სხეულით ორგანიზმი თითქოს აფრთხილებს სხვებს, არ მომეკაროთო. ასეთი შეფერილობის ორგანიზმებს აქვთ მსუსხავი

უჯრედები (აქტინიები), შხამიანი ჯირკვლები (გველები, ობობები) და ეკლები (ზოგიერთი თევზი), შხამიანი სხეული (მაგ., შხამიანი ბაყაყები, სოკოები), არასასიამოვნო სუნის ან მწველი სითხის გამოყოფის უნარი (ჭიამაია, ზოგიერთი პეპელა).

გამაფრთხილებელი შეფერილობა



სურ. 2.40

მიმიკრია (მიმბაძველობა) (სურ. 2.41) — თავდაცვის უუნარო სახეობის ორგანიზმები გარეგნულად ემსგავსებიან კარგად თავდაცული სახეობის ორგანიზმებს, ან ორგანიზმი სხეულის ფორმითა და შეფერილობით ემსგავსება არაცოცხალი ბუნების საგნებს. მაგალითად, მიმიკრიის არსი მდგომარეობს იმაში, რომ ევოლუციის პროცესში უწყინარი

ცხოველები იძენენ მსგავსებას საშიშ (მაგ., შხამიან) ცხოველებთან. ამით ისინი თავიდან იცილებენ მტაცებლებისაგან თავდასხმას. მაგალითად, ბუზების ზოგიერთი სახეობა ემსგავსება კრაზანებს; სამხრეთაფრიკული ქვის ყვავილი მიწისზედა ნაწილებით ნამდვილ ქვებს ჰგავს, ამიტომ ცხოველები მას გარს უვლიან და არ ჭამენ.



შეგუებულობა რამდენად უზრუნველყოფს ორგანიზმის აბსოლუტურ დაცულობას?

ნებისმიერი ადაპტაცია ყალიბდება საარსებო გარემოს კონკრეტულ პირობებში. ამ პირობების შეცვლის დროს (განსაკუთრებით, მკვეთრი ცვლილებისას) ადაპტაცია შესაძლებელია საზიანოც კი აღმოჩნდეს. მაგალითად, ცხოველების თეთრი შეფერილობა გათვლილია გარემოს თოვლიან საფარველზე, მაგრამ თოვლის უეცარი დნობის შედეგად შეცვლილ გარემოს ან ხის მუქი ქერქის ფონზე ისინი შესამჩნევნი ხდებიან (სურ. 2.42). ამრიგად, **ყველა ადაპტაციას აქვს შეფარდებითი ხასიათი**. ეს პრობლემა განსაკუთრებით მწვავედ დგას ხმელეთზე ბინადარ ორგანიზმებთან დაკავშირებით, რადგან საარსებო გარემოს პირობები ხმელეთზე სწრაფად იცვლება.



სურ. 2.42



1. ქვემოთ მოცემულია მცენარეთა და ცხოველთა ადაპტაციები გვალვასთან. მათ შორის ამოიცანი ფიზიოლოგიური, სტრუქტურული და ქცევითი ადაპტაციები: 1) ფოთლები გადაქცეულია ეკლებად; 2) ცვილით დაფარული ფოთლები; 3) ფოთოლცვენა გვალვისას; 4) ბაგეები დღისით იხურება, ღამით კი იხსნება; 5) ცხოველთა მიგრაცია; 6) ტრანსპირაციისა და ოფლის გამოყოფის შემცირება; 7) ცხოველების დამალვა სოროებში; 8) გრძელი ფესვები; 9) ზაფხულის ძილი.
2. ბუზის ბევრი სახეობა დაემსგავსა კრაზანას, მაგალითად, ისე ბუზის, როგორც კრაზანა. გამოიყენე შენი ცოდნა გენეტიკასა და ევოლუციაში და წამოაყენე ჰიპოთეზები ბუზებში ასეთი შეგუებულობის წარმოქმნის ასახსნელად.
3. შეგუებულობის რომელი ფორმის მაგალითია ბაქტერიებში ანტიბიოტიკებისადმი რეზისტენტულობის განვითარება?
4. მცენარეჭამია ცხოველებისგან დამცველი ქიმიური ნივთიერებები არის მკვასხე და არა მნიფე ნაყოფებში. ახსენი, რატომ განუვითარდა მცენარეებს ასეთი შეგუებულობა?



როგორია შეგუებულობის წარმოქმნის ევოლუციური მექანიზმი?

შეგუებულობითი შეფერილობის წარმოქმნის მექანიზმი არის ბუნებრივი გადარჩევა. მაგალითად, განვიხილოთ გამაფრთხილებელი შეფერილობის წარმოქმნის მექანიზმი (სურ. 2.43). პოპულაციის ევოლუციის პროცესში ხდება მუტაციები, მაგალითად, მუტაციის შედეგად ზოგიერთ მწერს განუვითარდა შხამის გამომუშავების უნარი, რომელიც მწერიჭამია ცხოველებისგან იცავს მას. ასევე, მუტაციის შედეგად პოპულაციაში წარმოიქმნება სხეულის შეფერილობის ფართო სპექტრი (ა). დასაწყისში ფრინველები ადვილად პოულობენ და ჭამენ მკვეთრი შეფერილობის მწერებს (ბ). თუ

ეს მწერები შხამიანი აღმოჩნდება, ფრინველები ადვილად იმახსოვრებენ, რომ მათ არ უნდა მიეკარონ და უპირატესობას აძლევენ უფრო შეუმჩნეველი შეფერილობის მწერებს (გ, დ). შედეგად, კაშკაშა შეფერილობის მწერების იდენტიფიცირება შხამიანებთან გაადვილებულია, ამიტომ უპირატესად ისინი გადარჩებიან და დატოვებენ შთამომავლობას. შედეგად, შესაბამისი გენოტიპების წილი პოპულაციაში იზრდება (ე). შემდგომში კი ფენოტიპი და შესაბამისი გენოტიპი დროთა განმავლობაში მასტაბილიზებული ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედებით განმტკიცდება პოპულაციაში (ვ).



- რა შეგუებულობანი აქვს განვითარებული ყვავილოვან მცენარეებს, რომლებიც – 1) ქარით იმტვერებიან; 2) მწერებით და ან სხვა ცხოველებით იმტვერებიან.
- შოშიებში ზრდასრულ ასაკს უმეტესად აღწევნა იმ ფრინველების ბარტყები, რომლებიც ნაკლებ კვერცხს დებენ (9-10 კვერცხის ნაცვლად, 4-5 კვერცხს). ეს იმიტომ, რომ შოშიას არ შეუძლია 5-ზე მეტი ბარტყის გამოკვება. ამგვარად, საკვების სიმცირის პირობებში გადარჩებიან იმ შოშიების ბარტყები, რომლებსაც ცოტა კვერცხის დადების განმაპირობებელი გენები აქვთ. ეს გენები მათ ბარტყებსაც გადაეცემა. გაეცანი ზემოთ აღწერილ მაგალითს და უპასუხე კითხვებს: 1) არსებობისათვის ბრძოლის რომელი ფორმებია მოხსენიებული ტექსტში? 2) რა ტიპის შეგუებულობაზეა საუბარი? 3) რა კავშირს ხედავ გენეტიკურ და ევოლუციურ ფაქტორებს შორის?
- ყურადღებით გაეცანი გამაფრთხილებელი შეფერილობის წარმოქმნის მექანიზმს ხოჭოების მაგალითზე (სურ. 2.43.), რვეულში გადაიტანე მოცემული მიზეზშედეგობრივი სქემა და შეავსე:





მონაცემების ანალიზი

მეცნიერებმა აღმოაჩინეს მცენარეები, რომლებიც იზრდებოდნენ სპილენძის, თუთიის ან ტყვიის შემცველ ნიადაგზე. ეს ნივთიერებები ტოქსიკურია მცენარეების დიდი ნაწილისთვის. მეზობელ ტერიტორიაზე გავრცელებული ამავე სახეობის სხვა პოპულაცია ამ ტოქსიკური მეტალების მიმართ ტოლერანტული არ არიან. როდესაც ასეთი მცენარეების 7000 თესლი დათესეს სპილენძის შემცველ ნიადაგზე, მხოლოდ ერთი თესლიდან აღმოცენებულმა მცენარემ შეძლო განვითარება.

ასევე, მეცნიერებმა ჩაატარეს სხვა კვლევებიც და შემდეგი მონაცემები შეაგროვეს: სპილენძის მიმართ ტოლერანტული მარცვლეულის ყოველ მომდევნო თაობაში ილუპება მცენარეთა გარკვეული ნაწილი. ეს იმას ნიშნავს, რომ ყოველ ახალ თაობაში ჩნდებიან გარკვეული გენოტიპის ინდივიდები, რომლებიც ვერ გადაარჩებიან. ამგვარად, ნიადაგში ლითონის (ამ შემთხვევაში სპილენძი) არსებობა თაობიდან თაობაში მხოლოდ იმ მცენარეებს გადაარჩევს, რომელთა გენოტიპი სპილენძის მიმართ გამძლეობას განაპირობებს.

გაანალიზე ზემოთ აღწერილი კვლევების აღწერილობა და უპასუხე კითხვებს:

- რა იყო კვლევის მიზანი?
- არსებობისათვის ბრძოლის რა ფორმაა აღწერილი? ახსენი შენი პასუხი.
- შეგუებულობის რა ფორმის მაგალითია მძიმე მეტალებისადმი მცენარეებში გამოჩენილი ტოლერანტობა?
- როგორ ფიქრობ, სპილენძისადმი ტოლერანტობას დომინანტური ალელი განაპირობებს თუ რეცესიული? დაასაბუთე შენი პასუხი კვლევაში აღწერილი შედეგების საფუძველზე.



ტიქსტის გააზრებული კითხვა

უდაბნო დედამიწის ყველაზე მშრალი ადგილია. აქ ძალიან ცოტა მდინარეა და იშვიათად წვიმს. მაგალითად, საჰარაში არის ადგილები, სადაც წლობით არ მოდის წვიმა. მიწის ზედაპირი ქვიშიანი ან ქვიანია, რაც გარემოს მოყვითალო ან მორუხო შეფერილობას აძლევს. უდაბნოში ხშირია ცხელი ქარები. ქარი ხვეტავს ქვიშას და გორაკებად ახვავებს. უდაბნოები მეტწილად ცხელია. ზაფხულში საშუალო ტემპერატურა 35°C -ზე ზევითაა, განსაკუთრებით ცხელი დღის საათებში – ტროპიკულ უდაბნოებში $56\text{--}58^{\circ}\text{C}$ -მდეც აღის. დღე-ღამის განმავლობაში ტემპერატურა დიდ ფარგლებში მერყეობს – სხვაობა $15\text{--}20^{\circ}\text{C}$ -მდე აღწევს. შუა აზიის უდაბნოებში ზამთარი ძალიან ცივია – ყინვიანი და თოვლიანი.



უდაბნოში ცხოვრება ყველა ორგანიზმს არ შეუძლია. აქ ცხოვრობენ ის ორგანიზმები, რომლებიც უდაბნოს მკაცრ პირობებთან არიან შეგუებული. ასეთია მაგალითად, აქლემი. აქლემს აქვს მოყვითალო შეფერილობის ხშირი ბეწვი. ხშირი ბეწვი ზამთარში გაცივებისგან იცავს. ჩლიქით დაფარული განიერი ტერფი უადვილებს ქვიშაში გადაადგილებას. ისინი სიცხეში გამოყოფენ მცირე რაოდენობის შარდს და არ ოფლიანობენ. შეუძლიათ დაკარგონ 30% სითხე, რაც სხვა ორგანიზმებისათვის მომაკვდინებელია. აქლემი წყლის გარეშე 45 დღე ძლებს, მაგრამ ერთაშაბად 50 ლიტრამდე წყლის დაღევა შეუძლია და სწრაფად აღიდგენს დაკარგულ ძალებს. დღე-ღამის განმავლობაში აქლემის სხეულის ტემპერატურა დიდ ფარგლებში მერყეობს – დღისით მზეზე $40,5^{\circ}\text{C}$ შეიძლება მიაღწიოს, ღამით კი $34\text{--}35^{\circ}\text{C}$ -მდე მცირდება. კუზში იგროვებს 110-120 კგ-მდე ცხიმს, რომელსაც აქვს საკვებისა და წყლის მარაგის ფუნქცია. აქლემს აქვს ნესტოების სარქველები და ქვიშიანი ქარების დროს ცხვირის ღრუ იხურება, რაც მის ფილტვებს იცავს ქვიშის მოხვედრისაგან, თვალებს კი ქვიშისგან იცავს ხშირი წამწამები.



1) გაეცანი 173-ე გვ.-ზე მოცემულ ტექსტს, ცხრილი გადაიტანე სამუშაო რვეულში და შეავსე:

უდაბნო	
გარემოს ფაქტორები	აქლემის შეგუებულობანი
გარემოს მოყვითალო ან მორუხო შეფერილობა	
	ჩლიქით დაფარული განიერი ტერფი
ქვიშიანი ქარები	
ტენიანობის ნაკლებობა	
	მცირე რაოდენობის შარდს გამოყოფს, არ ოფლიანობს; დღე-ღამის განმავლობაში მისი სხეულის ტემპერატურა დიდ ფარგლებში მერყეობს
ზამთარი ყუნულიანი და თოვლიანი	

2) განსაზღვრე, ამ შეგუებულობებიდან რომელი მიეკუთვნება სტრუქტურულ და ფიზიოლოგიურ შეგუებას. მონაცემები შეიტანე მონაცემთა ცხრილში.

შეგუებულობა	
სტრუქტურული	ფიზიოლოგიური
×	×



- შეგუებულობა არის მიკროვეოლუციის ერთ-ერთი შედეგი;
- შეგუებულობა ყალიბდება არსებობისათვის ბრძოლის საფუძველზე მიმდინარე ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედებით;
- მთავარი მოქმედი ძალა არის ბუნებრივი გადარჩევა, რადგან მისი ზემოქმედების შედეგად სუსტი და საარსებო პირობებს ცუდად შეგუებული ორგანიზმები ილუპებიან. ძირითადად, სიცოცხლეს ინარჩუნებენ და შთამომავლობას ტოვებენ მოცემულ საარსებო პირობებში სასარგებლო მემკვიდრული ნიშან-თვისებების მქონე ინდივიდები; ამის საფუძველზე მალდება გარემოსთან შეგუებულობა.



რა არის ახალი სახეობათწარმოქმნის მთავარი მიზეზი?



ბიომრავალფეროვნება:

სახეობათწარმოქმნა – მიკროე-ვოლუციის შედეგი; რეპროდუქციული იზოლაცია; სახეობათწარმოქმნის გზები: ალოპატრიული, სიმპატრიული.



- რა განსხვავებაა სახეობასა და პოპულაციას შორის?
- რა არის გენოფონდი?
- მიკროევოლუციის ფაქტორებმა როგორ შეიძლება შეცვალოს გენოფონდი?
- რა მოხდება, თუ ორ პოპულაციას შორის შეწყდა გენთა ნაკადი?

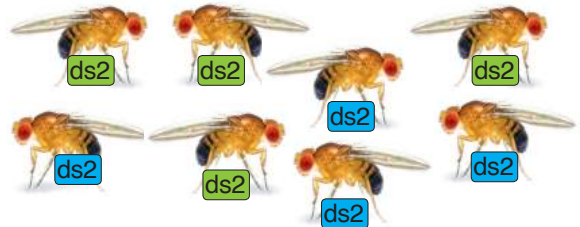


მონაცემების ანალიზი

მეცნიერებმა შეისწავლეს ხილის ბუზის **ds2** გენი. ეს გენი განაპირობებს ბუზების შეგუებას გარემოს ტემპერატურასთან. ხილის ბუზებს, რომლებიც ბინადრობენ ტროპიკულ რეგიონებში, აქვთ ამ გენის ე.წ. ტროპიკული ალელი. იგი ხელს უწყობს მათ არსებობას მაღალ ტემპერატურაზე. ხილის ბუზებს, რომლებიც ბინადრობენ უფრო გრილ რეგიონებში, აქვთ ამ გენის ე.წ. ზომიერი ალელი. იგი ხელს უწყობს მათ არსებობას დაბალ ტემპერატურაზე. აღმოჩნდა, რომ **ds2** გენი, ასევე, აკონტროლებს ფეროვნების წარმოქმნას. ფეროვანი არის სუნის მქონე ქიმიური ნივთიერება, რომელიც ხილის ბუზებში იზიდავს სანინალმდეგო სქესის ინდივიდს (ექსპერიმენტი აღწერილია სურათზე).

შენიშვნა:

- ds2** – ტროპიკული ალელი
ds2 – ზომიერი ალელი



ხილის ბუზს აქვს **ds2** გენის ტროპიკული ალელი



ხილის ბუზს აქვს **ds2** გენის ზომიერი ალელი

1 მეცნიერებმა გამოიყენეს გენეტიკურად მსგავსი ლაბორატორიული ხილის ბუზები; ხილის ბუზის ყოველ ინდივიდში შეცვალეს **ds2** გენი ისე, რომ ზოგიერთში იყო ამ გენის ტროპიკული ალელი, ხოლო ზოგიერთში – ზომიერი ალელი.



2 მამრები, რომლებმაც მიიღეს ტროპიკული ალელი, იზიდავდნენ და უწყვილდებოდნენ მხოლოდ იმ მდედრებს, რომელთაც ასევე მიიღეს ტროპიკული ალელი; მამრები, რომლებმაც მიიღეს ზომიერი ალელი, იზიდავდნენ და უწყვილდებოდნენ, ასევე, მხოლოდ ამ ალელის მატარებელ მდედრებს.

ეს ექსპერიმენტი უჩვენებს, თუ როგორ შეიძლება წარმოიქმნას ახალი სახეობა ხილის ბუზის ბუნებრივ პოპულაციებში. ხილის ბუზები სამხრეთიდან, სადაც უფრო მაღალი ტემპერატურაა, გავრცელდნენ ჩრდილოეთში, სადაც უფრო დაბალი ტემპერატურაა. **ds2** გენში შეიძლება მოხდამუტაცია, რომელმაც გამოიწვია ზომიერი ალელის წარმოქმნა. ამ ალელმა განაპირობა ხილის ბუზების დაბალ ტემპერატურასთან შეგუება. რადგანაც **ds2** გენი ასევე გავლენას ახდენს ფეროვნების



წარმოქმნაზე, მათში გამრავლებასთან დაკავშირებული ქცევებიც შეიცვალა. ზომიერი ალელის მატარებელი ბუზები და ტროპიკული ალელის მატარებელი ბუზები სულ უფრო იშვიათად ევჯვარე-ბოდნენ ერთმანეთს. საბოლოოდ ეს პოპულაციები რეპროდუქციულად იზოლირებულნი გახდნენ.

გაცანი ექსპერიმენტის შინაარსს და უპასუხე კითხვებს:

- რა არის ექსპერიმენტის მიზანი?
- გენი, რომელსაც იკვლევდნენ მეცნიერები, რამდენ ნიშან-თვისებას აკონტროლებს? რა ეწო-დება გენის ასეთ მოქმედებას?
- რა არის ახალი სახეობის წარმოქმნის პროცესის საწყისი ეტაპი?
- ახსენი ახალი სახეობის წარმოქმნის პროცესში მიკროევოლუციის ფაქტორების როლი.
- **ds2** გენის მუტაცია მუტაციების რომელი სახეობის მაგალითია? ახსენი შენი პასუხი.
- რა არის ახალი სახეობის წარმოქმნის პროცესის ბოლო ეტაპი?

პოპულაციებს შორის გენთა ნაკადის შეწყვეტა ახალი სახეობის/სახეობების წარ-მოქმნის ერთ-ერთი მიზეზია. საწყისი სახეო-ბიდან ორი ან მეტი სახეობის წარმოქმნის პროცესს **სხეობათწარმოქმნა** ეწოდება. ახალი სახეობის წარმოქმნა მიკროევოლუციის კიდევ ერთი შედეგია.

თუ ორ პოპულაციას შორის რომელიმე მი-ზეზით შეწყდა გენთა ნაკადი, ამბობენ, რომ პოპულაციები ერთმანეთისგან იზოლირებუ-ლია. პოპულაციების ერთმანეთისგან იზოლა-ციამ შეიძლება გამოიწვიოს სახეობათწარ-მოქმნა, რადგან თანდათან მათი გენოფონდი იცვლება. შემთხვევით პროცესებს, როგორი-

ცაა მუტაციები და გენთა დრეიფი, შეუძლიათ გენოფონდის ცვლილება. ყველა ეს ცვლილე-ბა გროვდება მრავალი თაობის განმავლობა-ში. დროთა განმავლობაში ორ იზოლირებულ პოპულაციას შორის ყალიბდება გენეტიკური განსხვავება, შესაბამისად, ხდება ნიშან-თვისე-ბათა დაცილება – **დივერგენცია**. გენეტიკურ-მა განსხვავებამ კი შეიძლება პოპულაციებს შორის რეპროდუქციული იზოლაცია გამოიწ-ვიოს. რეპროდუქციული იზოლაციის დროს სხვადასხვა პოპულაციის წარმომადგენლები ერთმანეთს აღარ ევჯვარებიან. **სახეობათწარ-მოქმნის პროცესში პოპულაციებს შორის რეპ-როდუქციული იზოლაცია არის ბოლო ეტაპი.**



რამ შეიძლება გამოიწვიოს პოპულაციების იზოლაცია?

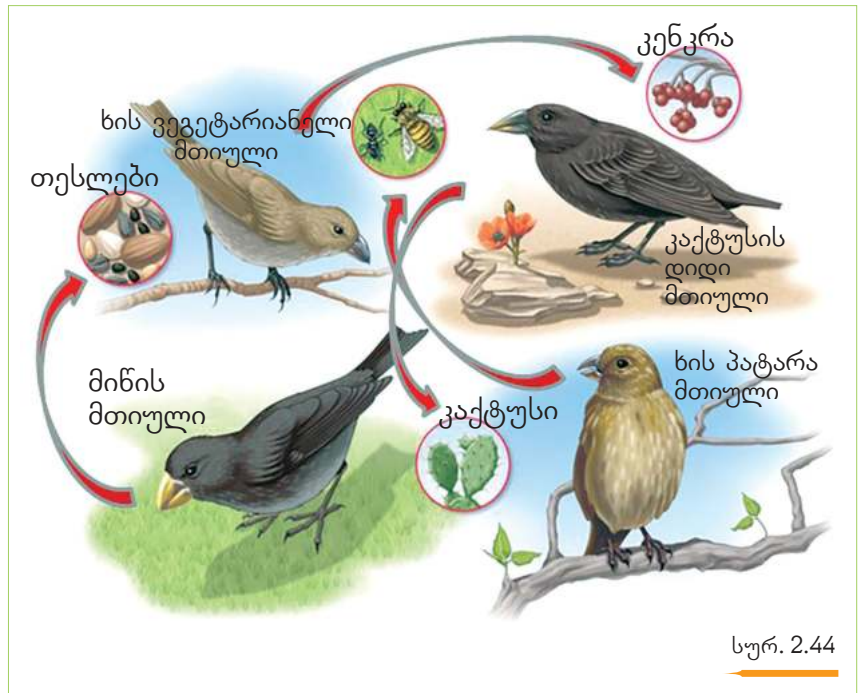
პოპულაციების იზოლაცია ერთმანეთისგან და მათგან ახალი სახეობების ჩამოყალიბება რამდენიმე გზით შეიძლება. ეს შეიძლება იყოს გეოგრაფიული/ალოპატრიული (**allos** – სხვა, **patris** – სამშობლო) და სიმპატრიული (**sym** – ერთად, **patris** – სამშობლო). **ალოპატრიული, ანუ გეოგრაფიული** სახეობათწარმოქმნა არის სივრცობრივად იზოლირებული პოპულაციე-ბისგან სხვადასხვა სახეობის ჩამოყალიბება. იგი შესაძლებელია განხორციელდეს არეალის გაფართოებით ან საარსებო არეალის დანაწე-ვრებით სხვადასხვა ზღუდით (მდინარე, ზღვა, მთები).

არეალის გაფართოების შემთხვევაში პო-პულაციები განსხვავებულ საარსებო გარე-მოში (მაგ., განსხვავებული კლიმატური პი-რობები, საკვები და სხვ.) აღმოჩნდებიან.

პოპულაციის ინდივიდებში მუდმივად ჩნდება მუტაციები, შეჯვარების შედეგად წარმოიქ-მნება გენთა ახალი კომბინაციები. ბუნებრივი გადარჩევა ახალ საარსებო პირობებში უპი-რატესობას ანიჭებს საწყისი პოპულაციისგან განსხვავებულ ფენოტიპებს. რადგან პოპუ-ლაციები აღმოჩნდებიან ერთმანეთისგან გეო-გრაფიული ზღუდით იზოლირებული, ამიტომ წყდება მათ შორის გენთა ნაკადი. ხანგრძლი-ვი დროის განმავლობაში მიკროევოლუციური ფაქტორების მოქმედება ხელს უწყობს პოპუ-ლაციებს შორის მკვეთრი გენეტიკური გან-სხვავებების ჩამოყალიბებას და საბოლოოდ ბიოლოგიური/რეპროდუქციული იზოლაციის წარმოქმნას. შედეგად, წარმოიქმნება ახალი სახეობა/სახეობები.

გავრცელების არეალის ფარგლებს გარეთ განსახლების გზით სახეობათა წარმოშობის მნიშვნელოვანი მაგალითია გალაპაგოსის არქიპელაგზე გავრცელებული დარვინისეული მთიულების სახეობები. დნმ-ის ანალიზმა დაადასტურა, რომ, მიუხედავად დიდი მორფოლოგიური განსხვავებისა, გალაპაგოსის მთიულები ერთი წინაპრის შთამომავლები არიან. ისინი სამხრეთ ამერიკის კონტინენტიდან აქ შემთხვევით მოხვდნენ, გამრავლდნენ და სხვადასხვა კუნძულზე განსახლდნენ. სივრცობრივად იზოლირებული პოპულაციების კონკრეტულ საარსებო გარემოსთან შეგუებამ ახალი სახეობების წარმოქმნა გამოიწვია. მაგ., მთიულების სახეობები განსხვავდებიან ნისკარტის ფორმითა და ზომით, რაც განსხვავებულმა საკვებმა გამოიწვია (სურ. 2.44.).

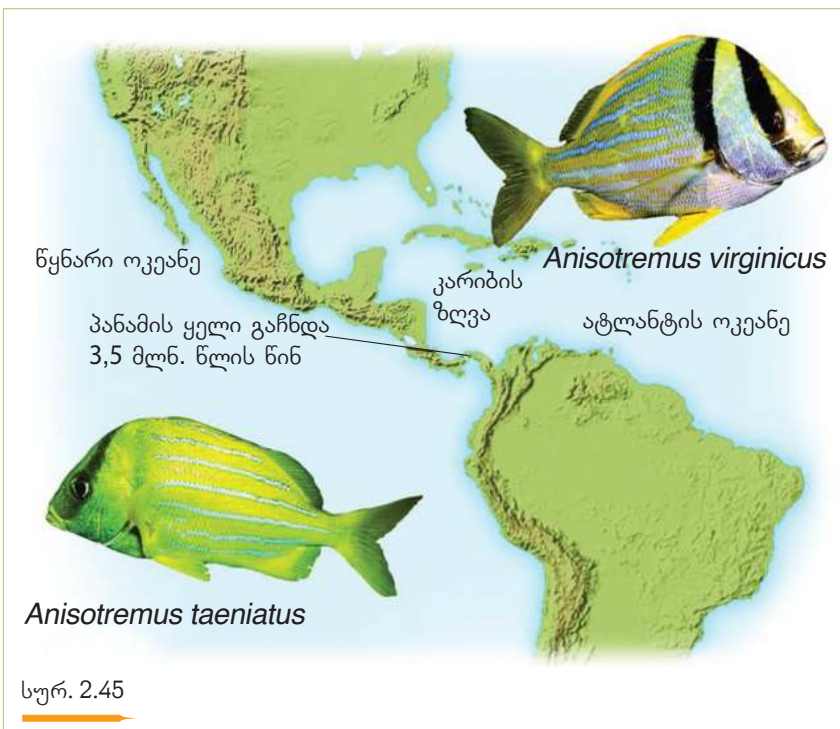
ასეთივე გზით ახალი სახეობის წარმოქმნის მაგალითია ლარიქსის სახეობები. ციმბი-



სურ. 2.44

რული ლარიქსი საკმაოდ შორს გავრცელდა აღმოსავლეთით. მისი პოპულაციები ურალიდან ბაიკალამდე არსებულ ტერიტორიაზე განსახლდა და არსებობის განსხვავებულ პირობებში აღმოჩნდა. ხანგრძლივი დროის განმავლობაში მიკროეოვოლუციური ფაქტორების მოქმედებამ ხელი შეუწყო პოპულაციებს შორის მკვეთრი გენეტიკური განსხვავებების გაჩენასა და, საბოლოოდ, ბიოლოგიური იზოლაციის წარმოქმნას. ამის შედეგად ჩამოყალიბდა ახალი სახეობა დაურული ლარიქსი.

შესაძლებელია სახეობათწარმოქმნის მიზეზი იყოს გავრცელების არეალში გეოგრაფიული ბარიერის წარმოქმნა. მაგ., პანამის ყელის გაჩენამ შექმნა გეოგრაფიული ბარიერი ატლანტისა და წყნარი ოკეანის პოპულაციებს შორის. დროთა განმავლობაში იზოლირებული პოპულაციები გენეტიკურად განსხვავებული გახდა და დამოუკიდებელ სახეობებად ჩამოყალიბდა (სურ. 2.45.).



სურ. 2.45

ეს სახეობები შეიძლება გარეგნულად მსგავსად გამოიყურებოდნენ, მაგრამ როდესაც მეცნიერებმა სპეციალურად ერთად მოათავსეს

ატლანტისა და წყნარი ოკეანეების კრევეტების ახლომდგომი სახეობები, ისინი ერთმანეთს არ შეეჯვარნენ.



თქმის გააზრებული კითხვა

ალუბლის ყვავილის ნექტრით მკვებავი მწერების პოპულაციაში ზოგიერთ ინდივიდს გაუჩნდა მუტაცია, რომლის გამო ისინი მგრძნობიარენი გახდნენ ვაშლის ყვავილის სუნის მიმართ. ამიტომ ეს მწერები მაშინვე ვაშლის ხეზე გადასახლდნენ. პოპულაცია ორად გაიყო. იზოლაციას ხელი შეუწყო არა მხოლოდ იმან, რომ სხვადასხვა მცენარის ყვავილის ნექტრით იკვებებიან, არამედ იმანაც, რომ სადაც იკვებებიან, იქვე მრავლდებიან და დებენ კვერცხებს. მწერების მომნიშვნის პერიოდი ემთხვევა მათი მკვებავი ხის ყვავილობის პერიოდს. ვაშლის ყვავილობა ალუბალზე გვიან იწყება. ამიტომ მათი გამრავლების პერიოდის დროში იზოლირებაც მოხდა. ამის შედეგად ამ ორ პოპულაციას შორის გაჩნდა რეპროდუქციული იზოლაცია და ორ დამოუკიდებელ სახეობად ჩამოყალიბდა.

გაეცანი სახეობათწარმოქმნის ზემოთ აღწერილ მაგალითს და უპასუხე კითხვებს:

- მიკროევილუციის რომელი ფაქტორით იწყება სახეობათწარმოქმნის პროცესი?
- აღწერე პოპულაციებს შორის იზოლაციის მიზეზები?
- არის ეს გეოგრაფიული სახეობათწარმოქმნის მაგალითი? დაასაბუთე შენი პასუხი.

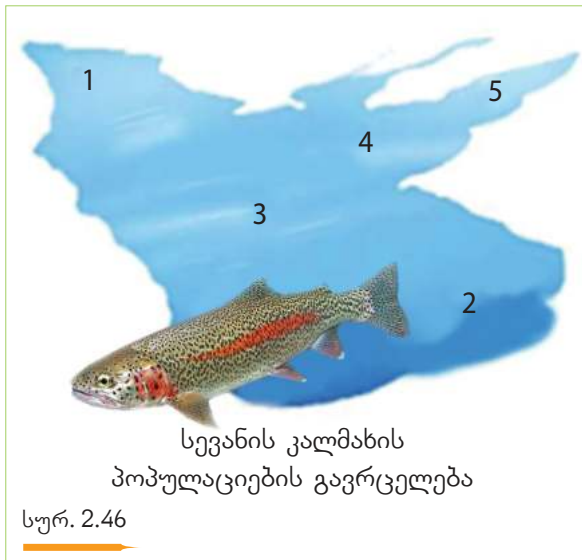
სიმპატრიული სახეობათწარმოქმნა ხორციელდება სანყისი სახეობის საარსებო არეალის ფარგლებში. არსებობს რამდენიმე გზა:

1. **მუტაცია.** მაგ., პოლიპლოიდიის გზით ახალი სახეობის სწრაფად წარმოქმნა — თამბაქოს სახეობაში ქრომოსომთა სანყისი რაოდენობაა 12, მაგრამ არსებობს ფორმები, რომლებსაც აქვთ 24, 48, 72 ქრომოსომა, ბუნებრივი პოლიპლოიდური რიგები გვხვდება ვარდის, მარწყვის, ჭანგას, შვრიისა და სხვა გვარში. ისინი რეპროდუქციულად იზოლირებულნი არიან სანყისი დიპლოიდი სახეობისგან.
2. **სახეობათაშორისი ჰიბრიდიზაციის შედეგად** მიიღება უნაყოფო ჰიბრიდები, რადგან სხვადასხვა სახეობის ქრომოსომები ვერ წარმოქმნიან ჰომოლოგიურ წყვილებს და მეიოზი ირღვევა. მაგრამ თუ ასეთ ჰიბრიდში მოხდა პოლიპლოიდია, მაშინ მეიოზი ნორმალურად მიმდინარეობს, ჰიბრიდული ფორმა ნაყოფიერ შთამომავლობას წარმოქმნის და მშობლიურ ფორმებთან შეჯვარების უნარს კარგავს. სახეობათაშორისი ჰიბრიდიზაციით ახალი სახეობების წარმოშობა აღმოჩენილია ზოგიერთი სახეობის ცხოველებშიც (ზოგიერთ ხვლიკში, ამფიბიასა და თევზ-

ში). მაგალითად, ზოგიერთ კავკასიურ ქვეწარმავალს აქვს ჰიბრიდოგენური წარმოშობა, არიან ტრიპლოიდური და გაუნაყოფიერებელი კვერცხუჯრედით (პარტენოგენეზურად*) მრავლდებიან.

3. **სეზონური იზოლაცია** — მცენარე ხრიალაში გვხვდება ადრემოყვავილე და გვიანმოყვავილე ფორმები. სევანის კალმახის პოპულაციები განსხვავდება ტოფობის ვადებით, საქვირით ადგილითა და სიღრმით (სურ. 2.46.). ისინი ერთმანეთისგან გენეტიკურად იზოლირებულები არიან. აფრიკაში, ტბა ვიქტორიაში, რომლის ასაკი მხოლოდ 12 ათასი წელია, ცხოვრობს თევზ ციქლიდების 500-ზე მეტი სახეობა, რომლებიც ერთმანეთისგან განსხვავდება მორფოლოგიურად, ცხოვრების ნირით, ქცევით (სურ. 2.47.). თუმცა მოლეკულურ-გენეტიკური ანალიზი აჩვენებს, რომ ისინი საერთო წინაპრისგან წარმოიშვნენ.

მიკროევილუციის სხვადასხვა ეტაპზე ერთ გზას ცვლის მეორე ან ისინი ერთობლივად მოქმედებენ. ალპატრიულ სახეობათწარმოქმნას შესაძლოა შემდეგში თან დაერთოს სიმპატრიული სახეობათწარმოქმნა, ამიტომ ძნელია სახეობათა წარმოქმნის ყოველი გზის საზღვრების დადგენა.



- რა არის დივერგენცია?
- შეადარე ერთმანეთს სახეობათწარმოქმნის გზები. აღმოაჩინე მსგავსება და განსხვავება. შედარების მონაცემები წარმოადგინე სქემის სახით.
- მოიყვანე ახალი სახეობის სხვადასხვა გზით წარმოქმნის მაგალითები და განმარტე მიმდინარე პროცესები.
- გეოგრაფიულმა იზოლაციამ რა გავლენა მოახდინა გალაპაგოსის მთიულებზე?
- თანმიმდევრულად დაალაგე სახეობათწარმოქმნის სტადიები: 1. პოპულაციებს შორის დგება რეპროდუქციული იზოლაცია. 2. ახალი სახეობების წარმოქმნა. 3. ორივე შემთხვევაში ახალი სახეობის წარმოქმნისათვის აუცილებელია პოპულაციების გარკვეული ხნით რაიმე ფორმის იზოლაცია. 4. ყოველ იზოლირებულ პოპულაციაში მიკროვეოლუციის ფაქტორების (მუტაციები, გენთა დრეიფი, გენთა ნაკადი, ბუნებრივი გადარჩევა) ზემოქმედებით გენოფონდის ცვლილება.
- რატომ თვლიან პოპულაციებს შორის რეპროდუქციულ იზოლაციას სახეობათწარმოქმნის ბოლო სტადიად?
- 1) პოპულაციებს შორის გენთა ნაკადის შეწყვეტამ რატომ შეიძლება გამოიწვიოს სახეობათწარმოქმნა? 2) დაასახელე ბარიერის სამი ტიპი, რომლებიც პოპულაციებს შორის რეპროდუქციულ იზოლაციას იწვევს.
- როგორ ფიქრობ, სახეობათწარმოქმნის რომელი გზით წარმოიქმნა სურათზე გამოსახული სახეობები? შენი თვალსაზრისით აღწერე ამ სახეობების წარმოქმნის სტადიები.

შეგუებულია ტუტე ნიადაგში
არსებობასთან



Viola arvensis

შეგუებულია მჟავა ნიადაგში
არსებობასთან



Viola tricolor

- რა არის მიკროვეოლუციის შედეგები?



კოგნიტური სქემის შექმნა

დავალების პირობა:

ბუნებაში ზოგიერთი ახალი სახეობის წარმოქმნა ადამიანის საქმიანობასთან არის დაკავშირებული. მაგალითად, მრავალი თაობის განმავლობაში მწერების ზოგიერთი სახეობა უფრო და უფრო მდგრადი/რეზისტენტული გახდა პესტიციდებისადმი. ასეთივე მაგალითია ანტიბიოტიკებისადმი რეზისტენტული ბაქტერიების სახეობების წარმოქმნა. ასეთი ბაქტერიები უფრო გავრცელებულია საავადმყოფოებში და დიდ საფრთხეს უქმნის ადამიანის ჯანმრთელობას. შხამქიმიკატებისადმი რეზისტენტული მწერების სახეობების წარმოქმნის პარალელურად, ადამიანი მავნე მწერების საწინააღმდეგოდ ქმნის ახალ-ახალ შხამქიმიკატებს, რომლებმაც შეიძლება ადამიანის ჯანმრთელობასა და ბიომრავალფეროვნებაზე იმოქმედოს. ასევე, ანტიბიოტიკებისადმი რეზისტენტული ბაქტერიების გამრავლების გამო, ფარმაცოლოგები ბაქტერიული ინფექციების სამკურნალოდ ქმნიან ახალ-ახალ პრეპარატებს.

შემეჩნი **კოგნიტური სქემა**, რომლის საშუალებით წარმოადგენ ანტიბიოტიკებისადმი რეზისტენტული ბაქტერიის სახეობის წარმოქმნის პროცესის ეტაპებს, ასევე, ახსნი მიზეზშედეგობრივ კავშირს ბაქტერიების პოპულაციის გენეტიკურ მრავალფეროვნებას, არსებობისათვის ბრძოლას, ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედების მიმართულებასა და გარემო ფაქტორთან შეგუების წარმოქმნას შორის.

კოგნიტური სქემის პრეზენტაციისას ხაზგასმით წარმოაჩინე:

- შეგუებულობის რა ფორმა ჩამოუყალიბდა ანტიბიოტიკებისადმი რეზისტენტულ ბაქტერიებს და რა მნიშვნელობა აქვს მას სახეობის მდგრადობის შენარჩუნებაში?
- ბუნებრივი გადარჩევის რომელი ფორმის მოქმედების შედეგია ანტიბიოტიკებისადმი რეზისტენტული ბაქტერიების სახეობების წარმოქმნა და რით განსხვავდება ბუნებრივი გადარჩევის სხვა ფორმებისგან?
- ანტიბიოტიკებისადმი რეზისტენტული ბაქტერიების სახეობების წარმოქმნა სახეობათწარმოქმნის რომელი ფორმის მაგალითია?
- სახეობათწარმოქმნის რა ეტაპებს გაივლის ანტიბიოტიკებისადმი რეზისტენტული ბაქტერიების სახეობის წარმოქმნის პროცესი?
- თანამედროვე ტექნოლოგიები, კერძოდ, ფარმაცოლოგია და ინფექციური დაავადებების სამკურნალოდ ანტიბიოტიკების ფართოდ გამოყენება რა გავლენას ახდენს მიკროორგანიზმების ევოლუციაზე?
- ანტიბიოტიკებისადმი რეზისტენტული ბაქტერიები რა საფრთხეს უქმნის ადამიანის ჯანმრთელობას?



- მიკროევოლუციის შედეგებია: გარემო პირობებთან ორგანიზმთა შეგუებულობა; სახეობათწარმოქმნა და სახეობათა მრავალფეროვნება;
- სახეობათწარმოქმნის პროცესი იწყება პოპულაციათა იზოლაციით;
- პოპულაციის გეოგრაფიული იზოლაციის მიზეზი შეიძლება იყოს სანყისი სახეობის მიერ ახალი გეოგრაფიული არეალის დაკავება ან არეალის ფარგლებში რაიმე ტიპის გეოგრაფიული ბარიერის წარმოქმნა;
- ყოველ იზოლირებულ პოპულაციაში მიკროევოლუციის ფაქტორების (მუტაციები, გენთა დრეიფი, გენთა ნაკადი, ბუნებრივი გადარჩევა) ზემოქმედებით გენოფონდის ცვლილება იწვევს პოპულაციებს შორის რეპროდუქციულ იზოლაციას.

2.8.

ევოლუციის კანონზომიერებები და დამამტკიცებელი საბუთები

რა კანონზომიერებები ახასიათებს ევოლუციის პროცესს?

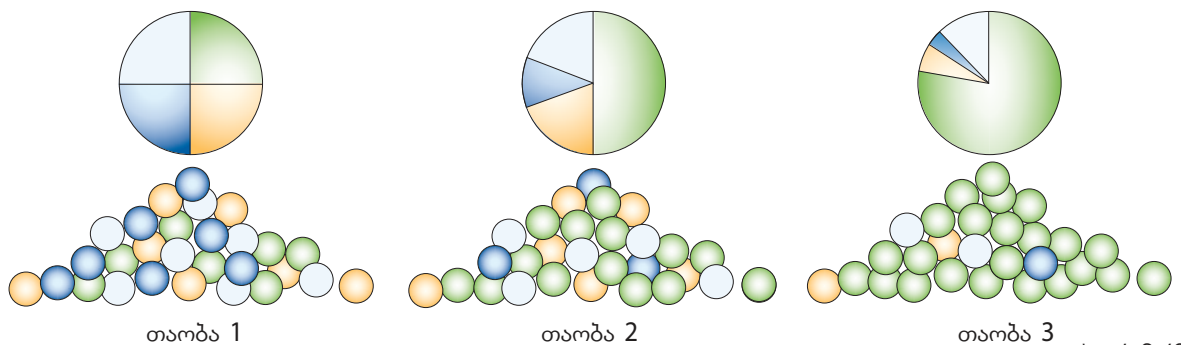


- **ბიომრავალფეროვნება:** ევოლუციის ძირითადი კანონზომიერებები – დივერგენცია, კონვერგენცია; ევოლუციის ძირითადი მიმართულებები – აროგენეზი, ალოგენეზი, კატაგენეზი.
- **სტრუქტურა და ფუნქცია:** ევოლუციის დამამტკიცებელი საბუთები – მოლეკულური ბიოლოგია, ციტოლოგია, შედარებითი ანატომია და ემბრიოლოგია, პალეონტოლოგია.



- რა არის მიკროევოლუცია და მისი შედეგები?
- რით განსხვავდება ბუნებრივი გადარჩევა ევოლუციის სხვა ფაქტორების მოქმედებისგან?
- სურათ 2.48-ზე ბურთულები აღნიშნავენ სხეულის შეფერილობის მაკოდირებელი გენის ალელებს. აღწერე პოპულაციის გენოფონდის ცვლილება თაობებში. სხეულის როგორი შეფერილობის სასარგებლოდ მოქმედებს ბუნებრივი გადარჩევა? სურათზე აღწერილი გენოფონდის ცვლილება ბუნებრივი გადარჩევის რა ხასიათზე მეტყველებს? ბუნებრივი გადარჩევის რომელი ფორმის მაგალითია წარმოდგენილი სურათზე?

ვირტუალური პოპულაციის გენოფონდის ცვლილება თაობათა განმავლობაში



ევოლუციას აქვს მკვეთრად გამოხატული კანონზომიერებები. ბუნებრივი გადარჩევის გზით მიმდინარე ევოლუციას შემთხვევითი ხასიათი არ აქვს. რამდენადაც მუტაციებისა და გენთა დრეიფის მიმდინარეობის პროგნოზირება არ შეიძლება, მათ შემთხვევით მოვლენებს უწოდებენ. ეს შემთხვევითი მოვლენები არის გენეტიკური მრავალფეროვნების წყარო. სამაგიეროდ, ბუნებრივი გადარჩევა, რომელიც ზემოქმედებს გენეტიკურ მრავალფეროვნებაზე, შემთხვევითი არ არის. ინდივიდებს, რომელთა ნიშან-თვისებები გარემოსთან უკეთ შეგუებულობას უზრუნველყოფს, აქვთ გადარჩენისა და შთამომავლობის დატოვების მეტი შანსი იმ ინდივიდებთან შედარებით, რომელთაც ასეთი ნიშან-თვისებები არ აქვთ. შენ ისწავლე ბუნებრივი გადარჩე-

ვის ფორმები – მამოძრავებელი, მასტაბილიზებული და დიზრუპტული. ყოველი ფორმის ბუნებრივი გადარჩევის შედეგები ბევრი თაობის განმავლობაში გროვდება. **სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, ბუნებრივი გადარჩევა პოპულაციის ნიშან-თვისებებს აძლევს სასარგებლო მიმართულებას.**

გარემო პირობები აკონტროლებს ბუნებრივი გადარჩევის მიმართულებას. ბუნებრივი გადარჩევა პროცესია, რომელიც პოპულაციას უნარჩუნებს ადაპტაციურ ნიშან-თვისებებს. თუმცა გარემოში მომხდარი მოულოდნელი მკვეთრი ცვლილებები სწრაფად ანადგურებს სახეობას. ამრიგად, ევოლუციური პროცესის შედეგი არა მარტო ახალი სახეობების წარმოქმნაა, არამედ ზოგიერთი სახეობის **გადაშენებაც**. ეს შეიძლება მაშინ მოხდეს, როდესაც

გარემო პირობები სწრაფად იცვლება და სახეობა ვერ ასწრებს შეგუებულობის განვითარებას. მაგ., გადაშენდა ხენაირი გვიმრები და შვიტები, უძველესი ამფიბიები და ქვეწარმავლები. ამრიგად, ევოლუციის პროცესი იწვევს ზოგიერთი სახეობის რიცხოვნობის ზრდასა და მისი არეალის გაფართოებას, ანუ სახეობა განიცდის **ბიოლოგიურ პროგრესს**. ზოგიერთ სახეობაზე კი ევოლუციური პროცესი საწინააღმდეგოდ მოქმედებს: სახეობის რიცხოვნობა მცირდება და მისი არეალი იზღუდება. ამ შემთხვევაში სახეობა განიცდის **ბიოლოგიურ რეგრესს** და მას გადაშენება ემუქრება.

სხვადასხვა სახეობა ხშირად შეგუებულია მსგავს საარსებო გარემოში არსებობასთან და მსგავსი ნიშან-თვისებები ახასიათებთ. ეს აიხსნება იმით, რომ ბუნებრივი გადარჩევა მათზე ერთი მიმართულებით მოქმედებს. ხდება ნიშან-თვისებათა დამთხვევა, რასაც **კონვერგენცია** ეწოდება (სურ. 2.49). ეს ევოლუციის კიდევ ერთი კანონზომიერების გამოხატულებაა.

როდესაც ახლონათესაური სახეობები განსხვავებულ გარემო პირობებში ვითარდებიან სხვადასხვა მიმართულებით, მათი ნიშან-თვისებები სცილდება ერთმანეთს. ამ

შემთხვევაში მჟღავნდება ევოლუციის კანონზომიერება – დივერგენცია (სურ. 2.50). დივერგენცია იწვევს ახალი სახეობებისა და სხვა სისტემატიკური ჯგუფების წარმოქმნას.

ევოლუციის პროცესი სამი მიმართულებით მიმდინარეობს: **აროგენეზი**, **ალოგენეზი** და **კატაგენეზი** (ცხრ. 2.3). ბიოლოგიური პროგრესი შეიძლება სამივე მიმართულებამ გამოიწვიოს. ევოლუციის პროცესის კანონზომიერებების კვლევა აჩვენებს, რომ ევოლუციის პროცესში ერთმანეთს ცვლის ევოლუციის სხვადასხვა მიმართულება.

კონვერგენცია



ზვიგენის კუდის ფარფლი



დელფინის კუდის ფარფლი

სურ. 2.49

დივერგენცია



რუხი მგელი



წითელი მგელი



წინაპარი

სურ. 2.50

ცხრილი 2.3. ევოლუციის ძირითადი მიმართულებები		
ევოლუციის მიმართულება	დამახასიათებელი ნიშნები	მაგალითები
აროგენეზი	ინვეეს ცოცხალ არსებათა ორგანიზაციის საერთო ამაღლებას, სასიცოცხლო პროცესების ინტენსივობის ზრდას. მნიშვნელოვან უპირატესობას აძლევს ორგანიზმს არსებობისათვის ბრძოლაში და შესაძლებელს ხდის მის გადასვლას ახალ საარსებო გარემოში. ხელს უწყობს მსხვილი სისტემატიკური ჯგუფების — სამეფოს, ტიპების, კლასების წარმოქმნას.	ფოტოსინთეზის წარმოქმნა; მრავალუჯრედოვნობა და ქსოვილების ჩამოყალიბება; ყვავილის, ნაყოფის, თესლის გაჩენა; ფილტვების, გულის გართულება, სისხლის მიმოქცევის ორი წრის გაჩენა, შინაგანი განაყოფიერება, ცოცხალმშობიარობა და სხვ.
ალოგენეზი	მცირე ევოლუციური ცვლილებები, რომლებიც ხელს უწყობს კონკრეტულ გარემო პირობებთან ვიწრო შეგუებულობების წარმოქმნას. არ იცვლება ორგანიზაციის ძირითადი ნიშნები და არ იზრდება ცხოველქმედების ინტენსივობა. წარმოიქმნება მცირე სისტემატიკური ჯგუფები – სახეობები, გვარები, ოჯახები, რიგები.	კვების თავისებურებებთან დაკავშირებით მწერებში სხვადასხვა ტიპის პირის აპარატებისა და ფრინველებში სხვადასხვა ფორმის ნისკარტის, ქართა და მწერებით ყვავილის დამტვერვის მრავალრიცხოვანი შეგუებულობების წარმოქმნა; ნაყოფებისა და თესლების გავრცელების, ტრანსპირაციის შემცირების შეგუებულობები და სხვ.
კატაგენეზი	ინვეეს ორგანიზაციის დონის გამარტივებას. ხშირად დაკავშირებულია პარაზიტულ ცხოვრებაზე, აქტიური კვებიდან პასიურზე გადასვლასთან. ორგანიზმის გამარტივებას, ჩვეულებრივ, თან ახლავს საარსებო გარემოსთან სხვადასხვა შეგუებულობის წარმოქმნა.	ენდოპარაზიტული ჭიები – სუსტად აქვთ განვითარებული ნერვული სისტემა, არ აქვთ სუნთქვის სისტემა, თუმცა მათ პარაზიტულ ცხოვრებასთან დაკავშირებით განუვითარდათ მისაწოვრები და კაუჭები; პარაზიტულ მცენარე აბრეშუმას – არ აქვს ქლოროპლასტები და ფოთლები, სამაგიეროდ ფესვების ნაცვლად უვითარდება მისაწოვრები; თხუნელა, გამოქვაბულის თევზები – თვალების ატროფია.



რის მიხედვით მსჯელობენ ევოლუციის მიმდინარეობის შესახებ?

მაკროევოლუცია ზესახეობრივი ევოლუციაა. იგი მიმდინარეობს ისტორიულად დროის გრანდიოზულ შუალედებში და უშუალო შესწავლისათვის მიუწვდომელია. მაკროევოლუციის მიმდინარეობაზე მსჯელობენ იმ ფაქტების მიხედვით, რომლებიც დაგროვდა ბიოლოგიის სხვადასხვა დარგსა და პალეონტოლოგიაში. ასეთ ფაქტებს ევოლუციის დამამტკიცებელ საბუთებს უწოდებენ.

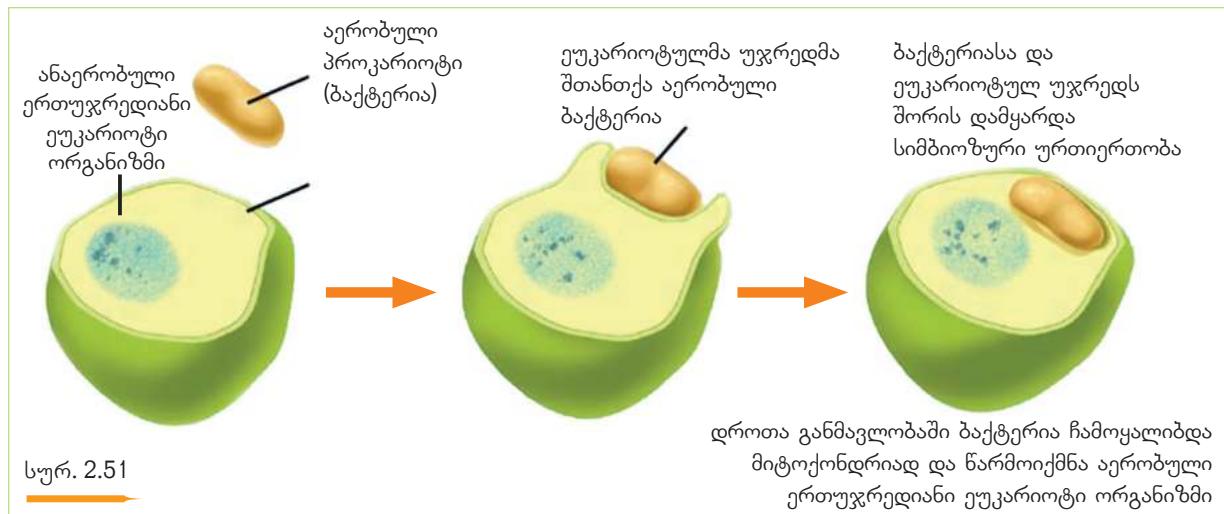
მოლეკულური ბიოლოგიის არგუმენტები – სხვადასხვა ორგანიზმის უჯრედების ქიმიური შედგენილობისა და ნივთიერებათა ცვლის მსგავსება მიუთითებს ორგანული სამყაროს ერთიან წარმოშობაზე. მაგ., ერთიანი გენეტიკური კოდი: ვირუსებიდან დაწყებული ადამიანის ჩათვლით მემკვიდრეობითი ინფორმაციის შენახვა და გადაცემა ნუკლეინის მჟავებთან არის დაკავშირებული, ხოლო ნიშან-თვისებების

გამოვლენა – ცილებთან. დნმ-ის ანაბეჭდების შესწავლით შესაძლებელია სხვადასხვა სახეობის ორგანიზმებს შორის ნათესაური კავშირის დადგენა. მაგალითად, დნმ-ის ანალიზმა აჩვენა, რომ უმალესი მაიმუნების თანამედროვე სახეობებს ერთი წინაპარი ჰყავდათ.

ციტოლოგიური არგუმენტები – ადგენს სხვადასხვა ორგანიზმის უჯრედებს შორის მსგავსებას. მიუხედავად იმისა, რომ ბუნებაში არსებობს უჯრედთა დიდი მრავალფეროვნება, ყველა სახის უჯრედს აგებულების ერთიანი გეგმა ახასიათებს: აქვთ ციტოპლაზმა, რომელიც გარე გარემოდან პლაზმური მემბრანითაა შემოსაზღვრული. ყველა ორგანიზმის პლაზმურ მემბრანას აქვს მსგავსი სტრუქტურა და ფუნქციები. ამ კუთხით საინტერესოა ენდოსიმბიოტური ჰიპოთეზა, რომელიც ხსნის აერობული და ფოტოავტოტროფული ორგა-

ნიზმების ევოლუციას (სურ. 2.51). რა ფაქტები მეტყველებს ენდოსიმბიოტური ჰიპოთეზის სასარგებლოდ? 1) ქლოროპლასტებსა და მიტოქონდრიაში საკუთარი დნმ-ის არსებობა; 2) ქლოროპლასტსა და მიტოქონდრიას,

ბაქტერიების მსგავსად, აქვთ წრიული ფორმის დნმ; 3) ქლოროპლასტი და მიტოქონდრია შეიცავს ბაქტერიის მსგავს რიბოსომებს. 4) ეს ორგანოიდები გაყოფით მრავლდებიან.



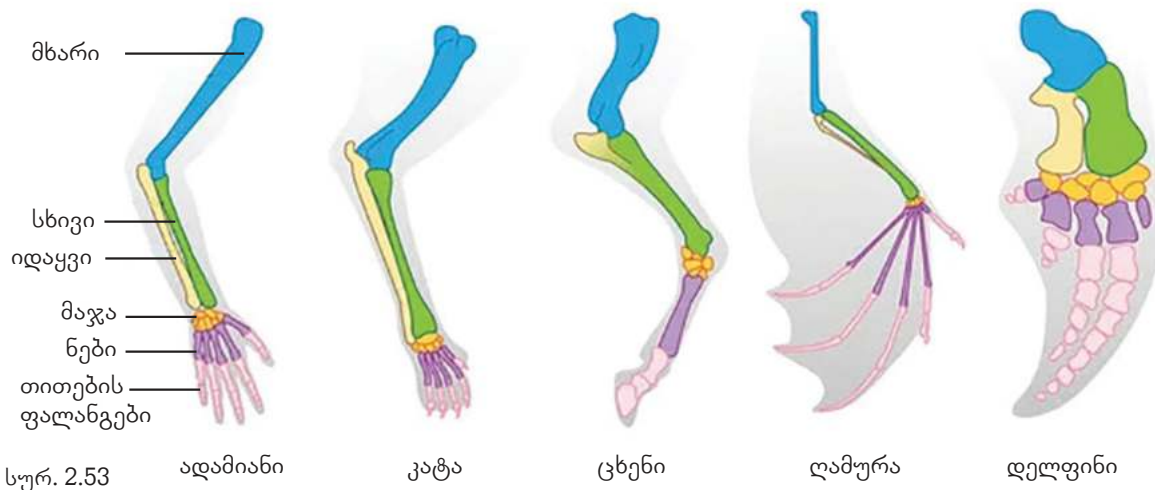
შედარებითი ემბრიოლოგიის არგუმენტები – ემბრიოლოგია ორგანიზმებს ჩანასახის სტადიაზე შეისწავლის. სქესობრივი გამრავლებისას ყველა მრავალუჯრედიანი ორგანიზმი განვითარებას ერთი უჯრედიდან — ზიგოტიდან იწყებს, რაც მრავალუჯრედიანების ერთუჯრედიანებიდან წარმოშობაზე მეტ-

ყველებს. მრავალუჯრედიანი ცხოველური ორგანიზმების ორშრიანი ჩანასახი გასტრულის სტადიაზე ნაწლავლურიანებს მოგვაგონებს. ხერხემლიანების ჩანასახები ადრეულ სტადიაზე ერთმანეთს ძალიან ჰგავს (სურ. 2.52): სხეულის ფორმა, კუდი, ხახის ორივე მხარეს ლაყურების ჯიბეები და სხვ. ჩანასახების განვითარებასთან ერთად, მათ შორის მსგავსება სუსტდება და თანდათან გამოვლინდება იმ კლასის ნიშნები, რომელთაც ისინი ეკუთვნიან და ბოლოს, გამოვლინდება სახეობის ნიშნები.



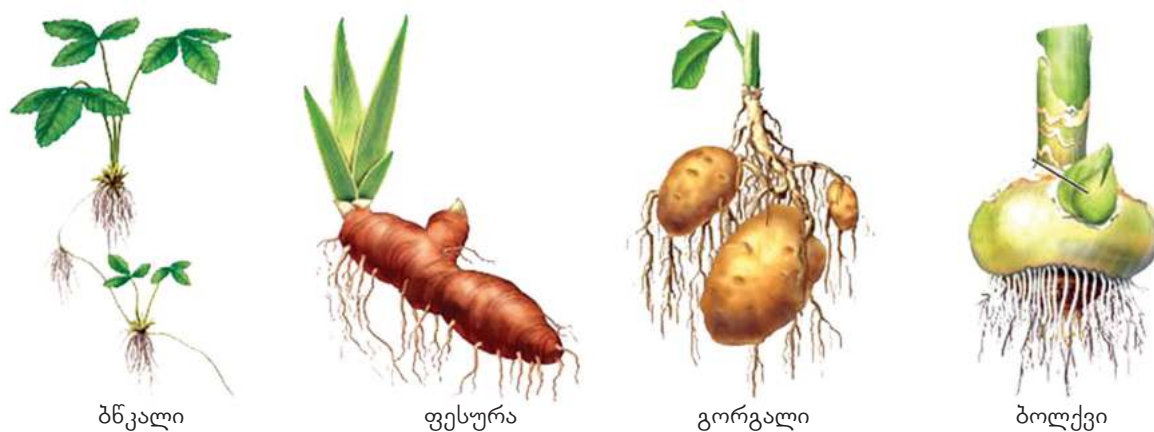
შედარებითი ანატომიის არგუმენტები – შედარებითი ანატომია შეისწავლის და ადარებს სხვადასხვა სისტემატიკური ჯგუფის ორგანიზმის აგებულებას. ორგანიზმების ერთიანი წარმოშობა დასტურდება ჰომოლოგიური ორგანოების არსებობით. **ჰომოლოგიური ორგანოები**, რომელთაც შესრულებული ფუნქციის მიუხედავად, ერთნაირი აგებულება და წარმოშობა აქვთ. მაგალითად, ძუძუმწოვართა კიდურების აგებულებისა და წარმოშობის მსგავსება, მიუხე-

წინა კიდურების ჰომოლოგიური სტრუქტურები



ღეროს ჰომოლოგიური ორგანოები

სურ. 2.54



დავად იმისა, რომ ამ კიდურებით ზოგიერთი ცხოველი დახოხავს, ცურავს, დარბის, დადის, დახტის, ფრენს (სურ. 2.53). მცენარეებში ჰომოლოგიური ორგანოების მაგალითია ღეროს (სურ. 2.54), ფოთლის, ფესვის სახეცვლილებები.

ორგანოებს, რომელთაც აქვთ გარეგნული მსგავსება და ერთნაირ ფუნქციებს ასრულებენ, მაგრამ განსხვავდებიან აგებულებისა და წარმოშობის მიხედვით, **ანალოგიური ორგანოები** ეწოდება. მაგალითად, კიბოსა და თევზის ლაყუჩები, თევზისა და დელფინის კუდის ფარფლი (სურ. 2.49), ფრინველისა და პეპლის ფრთები, თხუნელასა და მახრას წინა კიდურები, მცენარის

ანალოგიური ორგანოები

სურ. 2.55



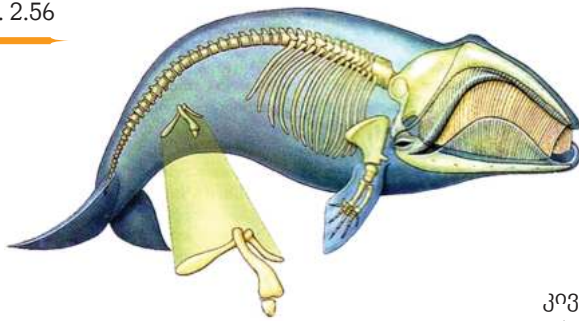
ფესვგორგლები და გორგლები (სურ. 2.55) და სხვ. ანალოგიური ორგანოები კონვერგენციის მაგალითია.

ევოლუციის პროცესში, შეცვლილ გარე-

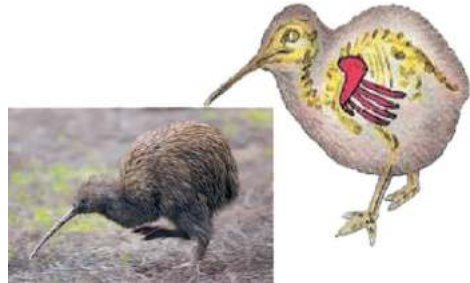
მო პირობებში, ზოგიერთი ორგანო კარგავს თავის ფუნქციას და თანდათან კნინდება, გადაგვარდება და ქრება. ზოგჯერ ორგანიზმში რჩება ფუნქციადაკარგული ორგანოს ნაშთი

და მას **რუდიმენტი** ეწოდება (სურ. 2.56). მაგალითად, ვეშაპებში უკანა კიდურის სარტყლის ნაშთი, ადამიანში კუდუსუნის მალეები, ყურის ნიჟარის კუნთები, სიბრძნის კბილები და სხვ.

სურ. 2.56



მენჯის სარტყლის ნაშთი ვეშაპში



კივის გარეგნულად გამოხატული ფრთები არ აქვს, მაგრამ ჩონჩხში შენარჩუნებულია წინა კიდურის ჩონჩხის ნაშთი

ზოგჯერ ორგანიზმში ჩნდება ისეთი ნიშანი, რომელიც მისი შორეული წინაპრისთვის იყო დამახასიათებელი, ამ მოვლენას **ატავიზმი** ეწოდება. მაგალითად, ცხენში – ზებრისებური შეფერილობა და სამთითიანობა, ადამიანში – კუდი, მთელი სხეულის თმით დაფარვა და სხვ.

გამოვლენილია ისეთი ორგანიზმები, რომელთაც სხვადასხვა კლასის ნიშნები ახასია-

თებს. მათ **გარდამავალი ფორმები** ეწოდება. მაგალითად, კვერცხისმდებელი ძუძუმწოვრებისთვის (სურ. 2.57) დამახასიათებელია ქვეწარმავლებისა (კლოაკა, კვერცხის დება) და ძუძუმწოვრების (კანის აგებულება, ნაშიერს რძით კვებავენ) ნიშნები; ეგვლენას ახასიათებს მცენარისა და ცხოველისათვის დამახასიათებელი ნიშნები.

იხენიკარტა



სურ. 2.57

იქედნა

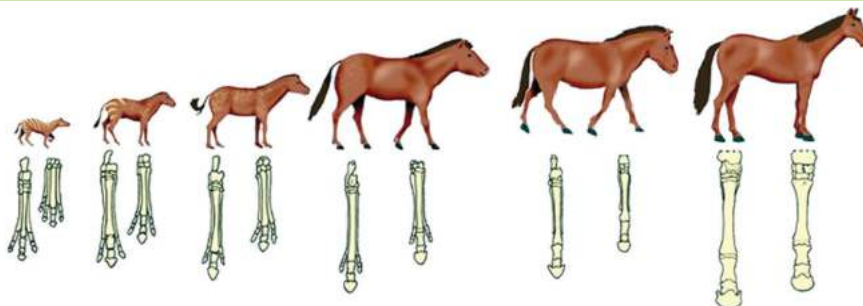


პალეონტოლოგიური არგუმენტები – პალეონტოლოგია გადაშენებული ორგანიზმების ნამარხ ფორმებს შეისწავლის და ადგენს მათ მსგავსება-განსხვავებას თანამედროვე ფორმებთან. უფრო ძველ ქანებში აღმოჩენილია დაბალი ორგანიზაციის ორგანიზმები, ხოლო ახალგაზრდა ქანებში – უფრო მაღალორგანიზებული ფორმები. ეს მიუთითებს იმაზე, რომ ევოლუციის შედეგად ორგანული სამყარო **იცვლებოდა** და თანდათან **რთულდებოდა**. პალეონტოლოგია ადგენს **ნამარხ გარდამავალ**

ფორმებს. მაგ., არქეოპტერიქსი არის გარდამავალი ფორმა ქვეწარმავლებსა და ფრინველებს შორის (სურ. 2.58), ხოლო მხეცკილა ქვეწარმავლებსა და ძუძუმწოვრებს შორის (იგი ძუძუმწოვრებს ემსგავსება თავის ქალის, ხერხემლის, კიდურებისა და კბილების აგებულებით), ფსილოფიტები წყალმცენარეებსა და გვიმრანაირებს შორის. ზოგიერთი სახეობისათვის აღდგენილია **ფილოგენეზური რიგები**, რომლებიც კონკრეტული სახეობის ევოლუციური განვითარების გზას ასახავს (სურ. 2.59).



სურ. 2.59



ცხენის შორეული წინაპარი იყო მცირე ზომის, ჰქონდა ოთხთითიანი წინა და სამთითიანი უკანა კიდური, ცხოვრობდა მაღალბალახიან გარემოში, რომელიც მისთვის საკვებიც იყო და თავშესაფარიც. შემდეგ ჰავა უფრო მშრალი გახდა და მათ საცხოვრებელ გარემოში მაღალი ბალახი შეიცვალა დაბალით, ამიტომ მათი თავდაცვის საშუალება გახდა სწრაფი სირბილი. სწრაფი სირბილის განვითარებას ხელი შეუწყო კიდურების დაგრძელებამ და თითების რაოდენობის ერთ თითამდე შემცირებამ.



1. ახსენი, მუტაციები და გენთა დრეიფი რატომ ითვლება შემთხვევით მოვლენებად.
2. ახსენი, რას ნიშნავს მტკიცება: ბუნებრივი გადარჩევა არ არის შემთხვევითი პროცესი.
3. პინგვინებისა და ვეშაპების სისხლში ჰემოგლობინის, ხოლო ჩონჩხის კუნთებში მიოგლობინის ძალიან მაღალი კონცენტრაცია (მიოგლობინის ფუნქციაა ჟანგბადის დაგროვება და მისი უჯრედშიდა ტრანსპორტის ხელშეწყობა). ახსენი: 1) რაში ეხმარება ამ ორგანიზმებს ასეთი შეგუებულობა? 2) აღწერილი მაგალითი კონვერგენციის მაგალითია თუ დივერგენციის? 3) შეგუებულობის რა ფორმის მაგალითია?
4. იპოვე შესაბამისობა ევოლუციის მიმართულებებსა და მოყვანილ მაგალითებს შორის:

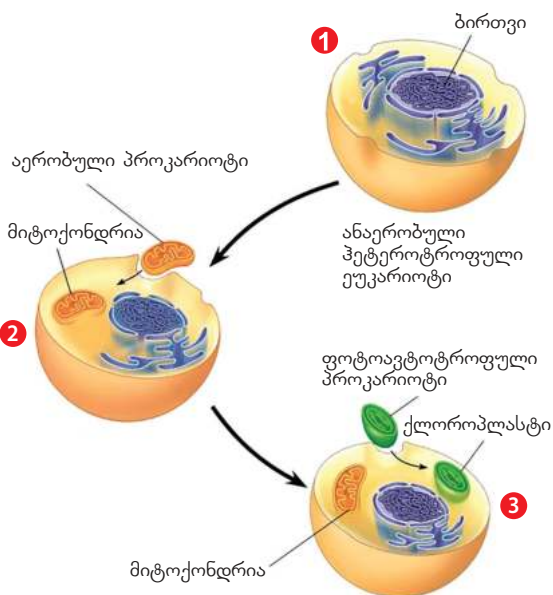
ევოლუციის მიმართულება	მაგალითები
აროგენეზი	1. დამტვერვის სხვადასხვა ფორმის გაჩენა; 2. ხერხემლიანების პარკუჭში ტიხრის გაჩენა; 3. ნაყოფისა და თესლის გავრცელების საშუალებების წარმოქმნა; 4. სისხლის მიმოქცევის ორი წრის განვითარება;
ალოგენეზი	5. მცენარე აბრეშუმაში ფოთლებისა და ფესვების განვითარებლობა; 6. შინაგანი განაყოფიერების განვითარება; 7. ცოცხალმშობიარობის გაჩენა; 8. მფარველობითი და გამაფრთხილებელი შეფერილობის წარმოქმნა; 9. სქესობრივი გამრავლების წარმოქმნა;
კატაგენეზი	10. ერთი გვარის ფრინველებში განსხვავებული ფორმის ნისკარტის განვითარება; 11. მრავალუჯრედიანობის წარმოქმნა; 12. პარაზიტ ჭიებში ნერვული და საჭმლის მომნელებელი სისტემების სუსტი განვითარება.



5. ჰაეაის მეთაფლიების, დაახლოებით, 40-მდე სახეობა, დიდი ალბათობით, საერთო წინაპრისგან წარმოიქმნა. ეს სახეობები ჰაეაის კუნძულებზე ბევრ განსხვავებულ ნიშს იკავებს. ისინი ერთმანეთისგან განსხვავდებიან ნისკარტის ფორმით, გალობითა და გამრავლებასთან დაკავშირებული ქცევებით. 1) ახსენი, ეს კონვერგენციის თუ დივერგენციის მაგალითია; 2) როგორ ფიქრობ, რამ გამოიწვია ასეთი მრავალფეროვანი სახეობების წარმოქმნა ერთი გვარის ფარგლებში? 3) რომელი ევოლუციური მიმართულების მაგალითია? 4) რა ტიპის შეგუებულობებზეა საუბარი ტექსტში?



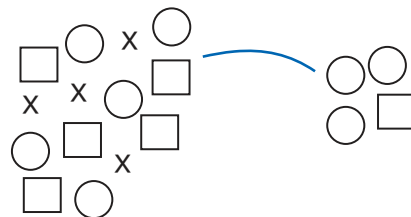
6. ანალოგიური ორგანოები კონვერგენციის მაგალითია თუ დივერგენციის?
7. ჰომოლოგიური ორგანოები კონვერგენციის მაგალითია თუ დივერგენციის?
8. როგორი ორგანოებია – ჰომოლოგიური თუ ანალოგიური: 1) მერცხლისა და ფუტკრის ფრთები? 2) ფესურა და ძირხვეწა?
9. რაზე მეტყველებს ჰომოლოგიური ორგანოების არსებობა?
10. რა არის ანალოგიური ორგანოების წარმოქმნის მიზეზი?
11. კუს ჯავშანი და ვაზის ლოკოკინას ნიჟარა კონვერგენციის მაგალითია თუ დივერგენციის? ახსენი შენი პასუხი.
12. ახსენი, კონვერგენცია და დივერგენცია როგორ ახდენს ბუნებრივი გადარჩევის მიმართულებითი ხასიათის დემონსტრირებას?
13. სურათ 2.52-ზე წარმოდგენილია ხერხემლიანთა სხვადასხვა კლასის ჩანასახების განვითარების სტადიები. 1) რა მსგავსება-განსხვავებაა მათ შორის? 2) რაზე მეტყველებს ადრეულ ეტაპზე ჩანასახების მსგავსება?
14. რაზე მიუთითებს პეპლების მუხლუხის მსგავსება რგოლოვან ქიებთან?
15. გაანალიზე სურათზე მოცემული ინფორმაცია და უპასუხე კითხვებს: 1) ევოლუციის დამამტკიცებელ რომელ არგუმენტს ასახავს სურათი? 2) რას უწოდებ სურათზე ციფრებით – 2 და 3 – აღნიშნულ ორგანიზმებს? რატომ? 3) შენთვის უკვე ნაცნობ რომელ ჰიპოთეზას ასახავს სურათი? 4) რა ფაქტებზე დაყრდნობით შეიქმნა ეს ჰიპოთეზა?
16. რა მნიშვნელობა აქვს ფილოგენეზური რიგების გამოკვლევას?



17. დღეისთვის ყველა სახეობისთვის არ არის დადგენილი ფიოლოგენეზური რიგები. როგორ ფიქრობ, რა შეიძლება იყოს ამის მიზეზი?

18. არქეოპტერიქსს განვითარებული ჰქონდა ფრთები და ბუმბულით დაფარული სხეული, ფეხზე ოთხი თითი, სამი – წინ მიმართული, ერთი – უკან, ხერხემლის კუდის განყოფილებაში მალეების გრძელი რიგი, ყბებზე კბილები, უტროპო მკერდის ძვალი. ჩამოთვლილთაგან რომელია ფრინველებისა და რომელი ქვეწარმავლების ნიშნები?

19. ქვემოთ დასახელებული ტერმინებისთვის გამოიყენე მარტივი ფიგურები, ხაზები ან ისრები იმისთვის, რომ აღწერო მათი მნიშვნელობა. შენ მიერ შექმნილი სურათის ქვეშ გააკეთე მოკლე წარწერა ისე, როგორც სურათზეა მოცემული. 1. გენთა ნაკადი; 2. გეოგრაფიული იზოლაცია; 3. დივერგენცია; 4. კონვერგენცია; 5. გენთა დრეიფი.



გენთა დრეიფი: ორგანიზმთა მცირე ჯგუფი ქმნის მცირე ზომის პოპულაციას.



ევოლუციის დამაბტოქსებალ ფაქტებზე მუშაობა

ევოლუციონისტი ბიოლოგები და პალეონტოლოგები იშვიათად პოულობენ საკვლევი ობიექტის ყველა ნაწილს.

ჯგუფში ამ სამუშაოს შესრულების დროს მასწავლებლისგან მიიღებთ სურათის ფრაგმენტებს, როგორც ფაქტებს, რომ აწარმოთ მათზე დაკვირვება, გამოთქვათ ვარაუდები და დასკვნები მის შესახებ.

საჭირო მასალა: სიგრძივ ზოლებად დაჭრილი სურათის ფრაგმენტები.

საკვლევი კითხვა: როგორ განიცდის მეცნიერული დასკვნები ცვლილებას/მოდიფიცირებას ახალ-ახალი ფაქტების აღმოჩენისა და ინფორმაციის მიღების შედეგად?

პროცედურა:

1. გამოიყენე მასწავლებლისგან მიღებული სურათის სამი ფრაგმენტი დაკვირვებისთვის, ჩაინერე დაკვირვების შედეგად მოპოვებული შედეგები და დასკვნები, რომლებიც შეგიძლიათ ამ ეტაპზე გამოიტანოთ ამ სურათის შესახებ;
2. შენი დაკვირვების შედეგები გამოიყენეთ, როგორც „მტკიცებულებანი/ფაქტები“ და გამოთქვი ვარაუდი, თუ რა თემას შეეხება სურათი;
3. როდესაც მასწავლებლისგან მიიღებთ სურათის დანარჩენ ფრაგმენტებსაც, დააკვირდით ყოველ ახალ ფრაგმენტს, ჩაინერეთ დაკვირვების შედეგები, დასკვნები და ვარაუდები ამ ფრაგმენტებზე, როგორც „ახლად მოპოვებულ მტკიცებულებებზე/ფაქტებზე“ დაყრდნობით.

გაანალიზე და გამოიტანე დასკვნა:

1. **ანალიზი** – როგორ შეიცვალა თქვენი დასკვნები, როდესაც მეტი მტკიცებულებები მიიღეთ?
2. **დასკვნა** – ევოლუციის მიმდინარეობის დასამტკიცებლად რატომ იყენებენ მეცნიერები ბიოლოგიასა და პალეონტოლოგიაში მოპოვებულ მრავალ ფაქტს?
3. **მოიყვანე მაგალითი:** პალეონტოლოგებმა რა სახის მტკიცებულებები უნდა მოიპოვონ, რომ დაინახონ სახეობის ევოლუციის ზოგადი სურათი?



- ევოლუციას აქვს მკვეთრად გამოხატული კანონზომიერებები: ბუნებრივი გადარჩევის მიმართულებითი ხასიათი, დივერგენცია, კონვერგენცია, გადაშენება;
- ევოლუციის პროცესის მიმართულებები: აროგენეზი, ალოგენეზი, კატაგენეზი;
- მაკროევოლუციის მიმდინარეობაზე მსჯელობენ იმ ფაქტების მიხედვით, რომლებიც დაგროვდა ბიოლოგიის სხვადასხვა დარგსა და პალეონტოლოგიაში. ასეთ ფაქტებს ევოლუციის დამამტკიცებელ საბუთებს უწოდებენ;
- ევოლუციური პროცესის მნიშვნელოვანი შედეგებია: 1) ორგანიზმების შეგუება საარსებო გარემოსთან; 2) სახეობათა მრავალფეროვნება.

საკითხის მიმოხილვა

მთავარი იდეები

- ორგანიზმთა კლასიფიკაცია აადვილებს მრავალფეროვანი ორგანული სამყაროს შესწავლას;
- თანამედროვე სისტემატიკით ორგანიზმებს აჯგუფებენ სამ დომენად და ექვს სამეფოდ;
- სისტემატიკა იცვლება და პროგრესირებს ბიოლოგიაში მეცნიერული აღმოჩენების კვალდაკვალ;
- მაღალი რეპროდუქციულობა იწვევს არსებობისათვის ბრძოლას, რომელიც ბუნებრივი გადარჩევის წინაპირობაა;
- არსებობისათვის ბრძოლის ფორმებია: შიდასახეობრივი, სახეობათაშორისი და ბრძოლა გარემოს არახელსაყრელ არაცოცხალ ფაქტორებთან;
- ბუნებრივი გადარჩევა და მემკვიდრული ცვალებადობა არის ევოლუციის ძირითადი მამოძრავებელი ფაქტორები; ბუნებრივი გადარჩევა არის მექანიზმი, რომლის საშუალებითაც უმეტესად გადარჩებიან და უფრო მეტ შთამომავლობას ტოვებენ სასარგებლო მემკვიდრული ცვლილებების მატარებელი ინდივიდები; ევოლუცია თანდათანობით მიმდინარე ხანგრძლივი პროცესია;
- ევოლუციის ელემენტარული ერთეულია პოპულაცია; ევოლუციის მასალას წარმოადგენს მემკვიდრული ცვალებადობა – მუტაციები, რომლებიც შემთხვევით და არამიმართულ ხასიათს ატარებს; ევოლუციის არამიმართული ფაქტორებია, ასევე, გენთა ნაკადი, გენთა დრეიფი და იზოლაცია; ევოლუციის ფაქტორებიდან მხოლოდ ბუნებრივი გადარჩევაა მიმართულებითი ხასიათის, რადგან უპირატესად გადაირჩევა სასარგებლო მემკვიდრული ნიშან-თვისებების მქონე ინდივიდები და მაღლდება პოპულაციის შეგუება საარსებო პირობებთან;
- ბუნებრივი გადარჩევის ფორმებია: მამოძრავებელი, მასტაბილიზებელი და დიზრუპტული; სქესობრივი გადარჩევის პროცესში წარმატებული ორგანიზმების გენები ბუნებრივი გადარჩევის გზით ძლიერდება — მრავლდება პოპულაციაში;
- შეგუებულობა ყალიბდება არსებობისათვის ბრძოლის საფუძველზე მიმდინარე ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედებით; მიკროევოლუციის შედეგებია: გარემოს პირობებთან ორგანიზმთა შეგუებულობა; სახეობათწარმოქმნა და სახეობათა მრავალფეროვნება;
- სახეობათწარმოქმნის პროცესი იწყება პოპულაციათა იზოლაციით;
- პოპულაციის გეოგრაფიული იზოლაციის მიზეზი შეიძლება იყოს სანაპირო სახეობის მიერ ახალი გეოგრაფიული არეალის დაკავება, ან არეალის ფარგლებში რაიმე ტიპის გეოგრაფიული ბარიერის წარმოქმნა;
- ყოველ იზოლირებულ პოპულაციაში მიკროევოლუციის ფაქტორების (მუტაციები, გენთა დრეიფი, გენთა ნაკადი, ბუნებრივი გადარჩევა) ზემოქმედებით გენოფონდის ცვლილება იწვევს პოპულაციებს შორის რეპროდუქციულ იზოლაციას; ევოლუციას აქვს მკვეთრად გამოხატული კანონზომიერებები: ბუნებრივი გადარჩევის მიმართულებითი ხასიათი, დივერგენცია, კონვერგენცია, გადაშენება;
- ევოლუციის პროცესის მიმართულებებია: აროგენეზი, ალოგენეზი, კატაგენეზი;
- მაკროევოლუციის მიმდინარეობაზე მსჯელობენ იმ ფაქტების მიხედვით, რომლებიც დაგროვდა ბიოლოგიის სხვადასხვა დარგსა და პალეონტოლოგიაში. ასეთ ფაქტებს ევოლუციის დამამტკიცებელ საბუთებს უწოდებენ;
- ევოლუციური პროცესის მნიშვნელოვანი შედეგებია: 1) ორგანიზმთა ორგანიზაციის

თანდათან გართულება და ამაღლება; 2) ორგანიზმების შეგუება საარსებო გარემოს-
თან; 3) სახეობათა მრავალფეროვნება.

დავალებები თვითშეფასებისთვის

ტესტური დავალებები

1. პოპულაციის არასწორი მახასიათებელია:
 - ა. შედგება სხვადასხვა სახეობის ორგანიზმებისგან;
 - ბ. სახეობის ყოველი პოპულაცია არეალში გარკვეულ ტერიტორიას იკავებს;
 - გ. შედგება სხვა პოპულაციებისგან შეფარდებით იზოლირებული ინდივიდებისაგან;
 - დ. თითოეულ პოპულაციას აქვს გენების დამახასიათებელი ნაკრები;
 - ე. ახსიათებს ამავე სახეობის სხვა პოპულაციებთან გენების გაცვლა.
2. სხვადასხვა პოპულაციის ინდივიდების შეჯვარებისას ნაყოფიერი შთამომავლობის მიღების ყველაზე ხელის შემშლელი ბარიერი იქნება:
 - ა. ნიშან-თვისებების დივერგენცია;
 - ბ. გეოგრაფიული იზოლაცია;
 - გ. განსხვავება საქორწინო რიტუალებში;
 - დ. განსხვავება კარიოტიპში (ქრომოსომულ ნაკრებში).
3. ევოლუციის ერთეული არის:
 - ა. ცალკეული ინდივიდი;
 - ბ. პოპულაცია;
 - გ. ორგანიზმების სახეობა;
 - დ. ორგანიზმის გენოტიპი.
4. ორგანიზმთა ჯგუფები შეიძლება ჩაითვალოს ერთი სახეობის სხვადასხვა პოპულაციად, თუ ისინი ერთმანეთისგან განსხვავდებიან:
 - ა. მხოლოდ დაკავებული ტერიტორიით;
 - ბ. მხოლოდ გენოფონდით;
 - გ. დაკავებული ტერიტორიითა და გენოფონდით;
 - დ. გენოფონდითა და გენოტიპით.
5. შემთხვევითი მოვლენების შედეგები ყველაზე შესამჩნევი იქნება პოპულაციაში, რომელშიც ინდივიდების რიცხვი არის:
 - ა. 21;
 - ბ. 120;
 - გ. 2100;
 - დ. 12 ათასი;
 - ე. 120 ათასი.
6. მენდელის კანონები უფრო ზუსტად გამოიყენება იმ პოპულაციებში, რომლებშიც ინდივიდების რიცხვი არის:
 - ა. 21;
 - ბ. 120;
 - გ. 2100;
 - დ. 12 ათასი;
 - ე. 120 ათასი.
7. შეზღუდულ პოპულაციაში გენების დრეიფის შესაძლო შედეგია:
 - ა. პოპულაციის ჰომოზიგოტურობის ამაღლება;
 - ბ. ალელის შენარჩუნება, რომელიც ამცირებს სიცოცხლისუნარიანობას;
 - გ. იშვიათი ალელების კონცენტრაციის მკვეთრი გაზრდა;
 - დ. ყველა პასუხი სწორია.
8. პოპულაციაში ინდივიდების რიცხვის გაზრდისას საკვები რესურსის შემცირება იწვევს:
 - ა. არსებობისათვის ბრძოლის გამძაფრებას;
 - ბ. მუტაციას;
 - გ. გენების დრეიფს;
 - დ. კომბინაციურ ცვალებადობას.

9. პოპულაციაში მუტაციებიდან მემკვიდრული ცვალებადობის ფარულ რეზერვს ქმნის:
 ა. დომინანტური; ბ. რეცესიული; გ. გენომური; დ. ციტოპლაზმური.
10. როგორი ნიშნები ახასიათებს მამოძრავებელ ბუნებრივ გადარჩევას?
 ა. მოქმედებს სიცოცხლისათვის შედარებით მუდმივ პირობებში;
 ბ. გაცხრილავს ნიშან-თვისების საშუალო მნიშვნელობის მქონე ინდივიდებს;
 გ. ხელს უწყობს შეცვლილი გენოტიპის მქონე ინდივიდების გამრავლებას;
 დ. ინარჩუნებს ნიშან-თვისების საშუალო მნიშვნელობიდან გადახრილ ინდივიდებს;
 ე. ინარჩუნებს ნიშან-თვისების ჩამოყალიბებული რეაქციის ნორმის მქონე ინდივიდებს;
 ვ. მოქმედებს შეცვლილ გარემო პირობებში.

პასუხი:

×

×

×

×

11. პოპულაციაში ინდივიდების გენეტიკურ მრავალფეროვნებას აძლიერებს:
 ა. მუტაციური ცვალებადობა; გ. ბრძოლა არსებობისათვის;
 ბ. გეოგრაფიული იზოლაცია; დ. ხელოვნური გადარჩევა.
12. სახეობათა წარმოშობა მოხდა:
 ა. ბუნებრივი გადარჩევის გზით;
 ბ. ხელოვნური გადარჩევის გზით;
 გ. განვითარებისაკენ ორგანიზმთა შინაგანი სწრაფვის შედეგად.
13. სახეობის გადარჩენისათვის უფრო მნიშვნელოვანია:
 ა. დებს 10 კვერცხს და ზრდასრულ ფორმას 2 ინდივიდი აღწევს;
 ბ. დებს 3 კვერცხს და ზრდასრულ ფორმას 3 აღწევს.
14. მელიის ლეკვებიდან გადარჩენის მეტი შანსი აქვს მას, რომელიც:
 ა. კარგად ხედავს, სწრაფად დარბის და კარგი მონადირეა;
 ბ. კარგად ხედავს, ვერ დარბის და უჭირს მონადირება;
 გ. ცუდად ხედავს, კარგად დარბის და კარგი მონადირეა.
15. სევანის კალმახის პოპულაციების განსხვავება ტოფობის ვადების მიხედვით არის მაგალითი:
 ა. გეოგრაფიული იზოლაციის; გ. გენების დრეიფის;
 ბ. სეზონური იზოლაციის; დ. პოპულაციური ტალღების.
16. სამრეწველო რაიონებში მუქი პეპლები უფრო გავრცელებულია, ვიდრე ღია ფერის, რადგან:
 ა. უფრო მდგრადები არიან დაბინძურებული გარემოსადმი;
 ბ. ნაკლებ შესამჩნევნი არიან ფრინველებისათვის;
 გ. ბევრ კვერცხს დებენ;
 დ. გარემოდან შთანთქავენ ჭუჭყს.
17. თოვლიანი ქარიშხლის შედეგად უპირატესად გადარჩნენ საშუალო ფრთიანი ფრინველები, ხოლო მოკლე და გრძელფრთიანები დაიღუპნენ. ბუნებრივი გადარჩევის რომელი ფორმა მოქმედებს ამ შემთხვევაში?
 ა. მამოძრავებელი; ბ. მასტაბილიზებელი; გ. დიზრუპტული.

18. მწვანე მინდორზე მიმდინარეობს სხეულის შეფერილობის მიხედვით მწვანე კალიების გადარჩევა. ბუნებრივი გადარჩევის რომელი ფორმა მოქმედებს ამ შემთხვევაში?
ა. მამოძრავებელი; ბ. მასტაბილიზებელი; გ. დიზრუპტული.
19. მიკროევოლუციის ფაქტორებიდან მიმართულებითი ხასიათისაა:
ა. მუტაცია; გ. ბუნებრივი გადარჩევა; ე. იზოლაცია.
ბ. გენთა დრეიფი; დ. გენთა ნაკადი.
20. იპოვეთ მცდარი დებულება – ინდივიდების ერთ პოპულაციად გამაერთიანებელი მთავარი ფაქტორია:
ა. ერთ ტერიტორიაზე ბინადრობა;
ბ. არეალში მათი თანაბარი განაწილება;
გ. ინდივიდთა თავისუფალი შეჯვარება ერთმანეთთან;
დ. ინდივიდთა შორის ხანგრძლივი დროის განმავლობაში ჩამოყალიბებული ურთიერთობები.
21. იპოვეთ მცდარი დებულება – არსებობისათვის სახეობათშორისი ბრძოლა მიმდინარეობს:
ა. ერთი პოპულაციის ინდივიდებს შორის;
ბ. მტაცებლებსა და მსხვერპლს შორის;
გ. პარაზიტსა და მასპინძელს შორის.
22. სახეობათშორის არსებობისათვის ბრძოლას ასახავს:
ა. ავსტრალიაში ევროპიდან ჩაყვანილი ფუტკრის მიერ ადგილობრივი უნესტრო ფუტკრის გაძევება;
ბ. უდაბნოში მცენარეების „ბრძოლა“ გვალვის მიმართ;
გ. მეთოვლიების მიერ მართვეების ნაწილის მოსპობა, როცა შთამომავლობაში ინდივიდების დიდი რაოდენობაა;
დ. მეტოქეობა მდედრისათვის.
23. ბრძოლა გარემოს არახელსაყრელ პირობებთან გულისხმობს:
ა. ბრძოლას პოპულაციის ინდივიდებს შორის;
ბ. ბრძოლას ერთი გვარის სხვადასხვა სახეობას შორის;
გ. ბრძოლას გვალვასთან, სიცივესთან, ჭარბ ტენიანობასთან;
დ. ბრძოლას სხვადასხვა პოპულაციის ინდივიდებს შორის.
24. ბუნებრივი გადარჩევის მამოძრავებელი ფორმა მოქმედებს:
ა. გარემოს მეტ-ნაკლებად მუდმივ პირობებში;
ბ. გარემო ფაქტორთა ოპტიმალური ინტენსივობის დროს;
გ. გარემო ფაქტორთა მინიმალური ინტენსივობის დროს;
დ. გარემოს ცვალებად პირობებში.
25. ბუნებრივი გადარჩევის მასტაბილიზებელი ფორმა მოქმედებს:
ა. გარემოს მეტ-ნაკლებად მუდმივ პირობებში;
ბ. გარემო ფაქტორების ოპტიმალური ინტენსივობის დროს;
გ. გარემო ფაქტორთა მინიმალური ინტენსივობის დროს;
დ. გარემოს ცვალებად პირობებში.

სწორია თუ მცდარი?

განსაზღვრე დებულება/მტკიცებულება სწორია თუ მცდარი. თუ სწორად მიგაჩნია, დანერე „სწორია“; თუ მცდარად, გახაზული სიტყვა შეცვალე ისეთი სიტყვით/სიტყვებით, რომ მტკიცებულება სწორი იყოს.

1. ჩარლზ დარვინი თვლიდა, რომ ორგანიზმზე შეცვლილი გარემო პირობების ხანგრძლივი ზემოქმედება ყოველთვის იწვევს სასარგებლო მემკვიდრულ ცვლილებებს.
2. ლამარკმა და ჩ. დარვინმა ჩამოაყალიბეს ევოლუციური თეორია, რომლის მიხედვითაც ევოლუციის მთავარი მამოძრავებელი ფაქტორი არის ბუნებრივი გადარჩევა.
3. გენოფონდი არის პოპულაციის ცალკეული წევრის ალელური გენების ერთობლიობა.
4. პოპულაციაში შემთხვევითი პროცესებით გამოწვეულ ალელთა სიხშირის ცვლილებას სახეობათწარმოქმნა ეწოდება.
5. მიკროევოლუციის შედეგია შეგუებულობისა და ახალი სახეობების წარმოქმნა.
6. დივერგენციამ გამოიწვია თანამედროვე ორგანიზმებში ბევრი ანალოგიური ორგანოს არსებობა.
7. პალეონტოლოგები ნამარხ ფორმებს შეისწავლიან.
8. ერთი სახეობის პოპულაციათა შორის გენების მიმოცვლას გენთა დრეიფი ეწოდება.
9. ემბრიონი არის ორგანიზმის განვითარების ადრეული ეტაპი.
10. როდესაც ხეების ქერქი გამუქდა ფაბრიკა-ქარხნების გამონაბოლქვით გარემოს დაბინძურების გამო, პოპულაციაში უფრო მოიმატა სხეულის მუქი შეფერილობის მწერებმა. ეს არის დიზრუპტული ბუნებრივი გადარჩევის მაგალითი.

დავალებები კრიტიკული და შემოქმედებითი აზროვნებისთვის

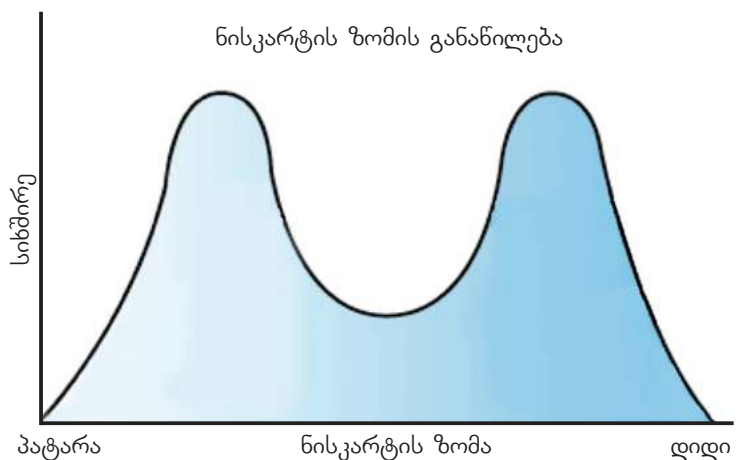
1. შინაური ფრინველები საჭიროებენ ადამიანისგან მზრუნველობას, რადგან თავიანთი ნიშან-თვისებებით შეგუებულნი არიან ადამიანის ინტერესებთან; ისინი ბევრი ნიშან-თვისებით განსხვავდებიან თავიანთი ველური წინაპრისგან, მაგ., მათ არ შეუძლიათ კარგად ფრენა. წარმოიდგინე, რომ შინაური ქათამების გარკვეული ნაწილი გაიქცა ფერმიდან და აღმოჩნდა ტყეში. 1) ახსენი, რა პრობლემები შეხვდებათ მათ თავიანთი ნიშან-თვისებებიდან გამომდინარე? 2) რა ნიშან-თვისებების მატარებელი ინდივიდების სასარგებლოდ შეიძლება იმოქმედოს ბუნებრივმა გადარჩევამ?
2. ადამიანების მხრიდან ზრუნვა გადაშენების პირას მდგომი სახეობების მიმართ ხომ არ ეწინააღმდეგება ბუნებრივ გადარჩევას? ახსენი შენი პასუხი.
3. გიგანტური პანდა, რომელიც მხოლოდ ბამბუკით იკვებება, იკავებს ძალიან პატარა საარსებო ნიშას. ასეთ მცირე ნიშასთან შეგუება როგორ შეიძლება დაემუქროს ამ სახეობის არსებობას?
4. ახსენი, გენოფონდის ერთფეროვნებამ როგორ შეიძლება სახეობა მიიყვანოს გადაშენებამდე?
5. ახსენი, ბუნებრივი გადარჩევის განმარტებაში რატომ არის ეს ფრაზა: „უპირატესად გადარჩებიან გარემოსთან უკეთესად შეგუებული ორგანიზმები“?
6. როგორც ისწავლე, გარემო პირობების ზემოქმედებით ორგანიზმები თანდათან იცვლებიან თაობათა განმავლობაში. როგორ ახსნი დღეს არსებობას ისეთი სახეობებისას, რომლებიც არ შეცვლილან მილიონობით წლების განმავლობაში?
7. ჰერბიციდების გამოყენებამ სარეველების პოპულაციის 99% გაანადგურა. ახსენი, რა უნდა იყოს პოპულაციაში ზოგიერთი ინდივიდის გადარჩენის მიზეზი?

8. ირლანდიურ მამრ ლოსებს (გადაშენებულია ეს სახეობა) ჰქონდათ, დაახლოებით, 3,65 მ სიგანის რქები. ახსენი: 1) გადარჩევის რომელი ფორმის მოქმედების შედეგად შეიძლება განვითარებოდა მათ ასეთი სიგრძის რქები? 2) როგორ შეიძლებოდა გადარჩევის ამ ფორმას გამოეწვია ასეთი გრანდიოზული ზომის რქების განვითარება?
9. ფრინველებიც და ნიანგებიც აშენებენ ბუდეს, ზრუნავენ თავიანთ შთამომავლობაზე და „მღერაინ“, რომ დაიცვან ტერიტორია და მიიზიდონ პარტნიორი. ეს ქცევები მათ მემკვიდრეობით მიიღეს საერთო წინაპრისგან. როგორ ფიქრობ, ეს ანალოგიური ქცევის მაგალითია თუ ჰომოლოგიურის? ახსენი შენი პასუხი.

მონაცემების განსჯა (ანალიზი და დასკვნა)

ქვემოთ მოცემულია ნისკარტის ზომის სიხშირის განაწილება ფრინველების ჰიპოთეტურ პოპულაციაში. ისარგებლე მოცემული გრაფიკით, რომ კითხვებს უპასუხო.

- 1) გრაფიკი ბუნებრივი გადარჩევის რომელი ფორმის დემონსტრირებაა? ახსენი შენი პასუხი.
- 2) რომელი ფენოტიპებია უფრო მეტად გავრცელებული ამ პოპულაციაში?
- 3) აღწერე სცენარი, რომელიც შეიძლება რეალურად მომხდარიყო ფრინველების პოპულაციაში ასეთი ტიპის ბუნებრივი გადარჩევის მოქმედების დროს.



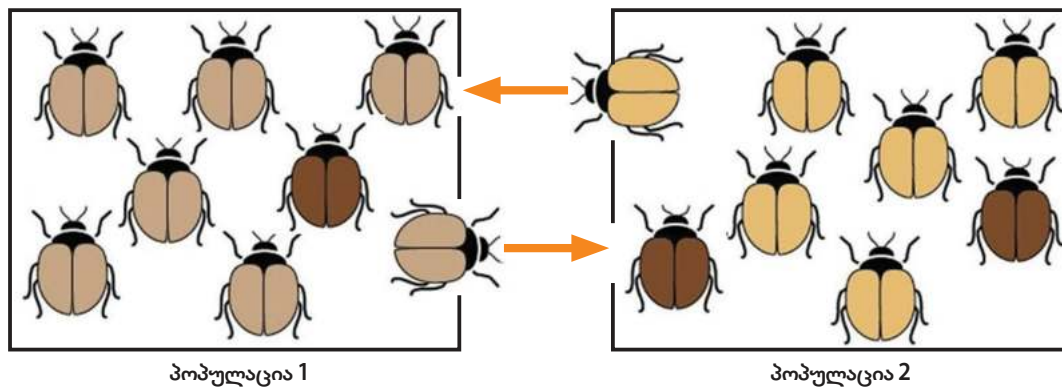
ვიზუალური მასალის განსჯა

1. 1) რა ტიპის შეგუებულობას ასახავს სურათი? 2) სურათის მიხედვით ახსენი, რამდენად უზრუნველყოფს ცხოველის აბსოლუტურ დაცულობას ასეთი შეგუებულობა?

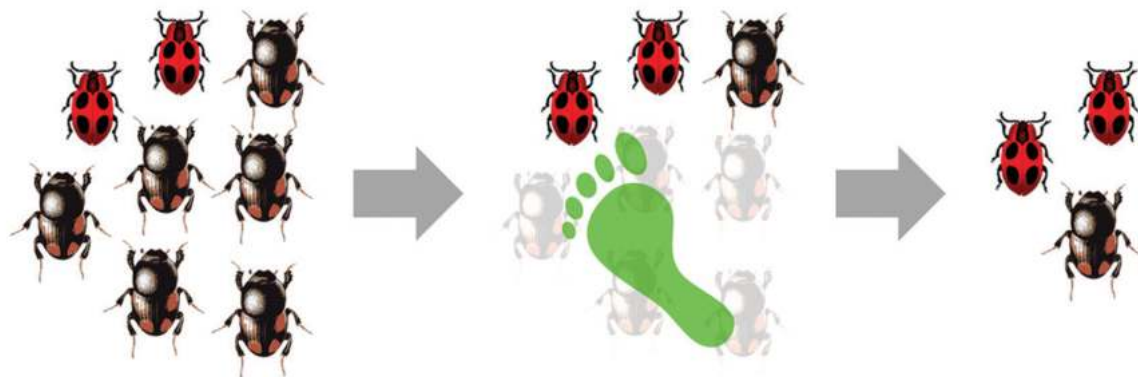


2. სურათებზე ამოიცანი მიკროევილუციის ფაქტორები და ახსენი თითოეული მათგანის როლი პოპულაციის ევოლუციაში.

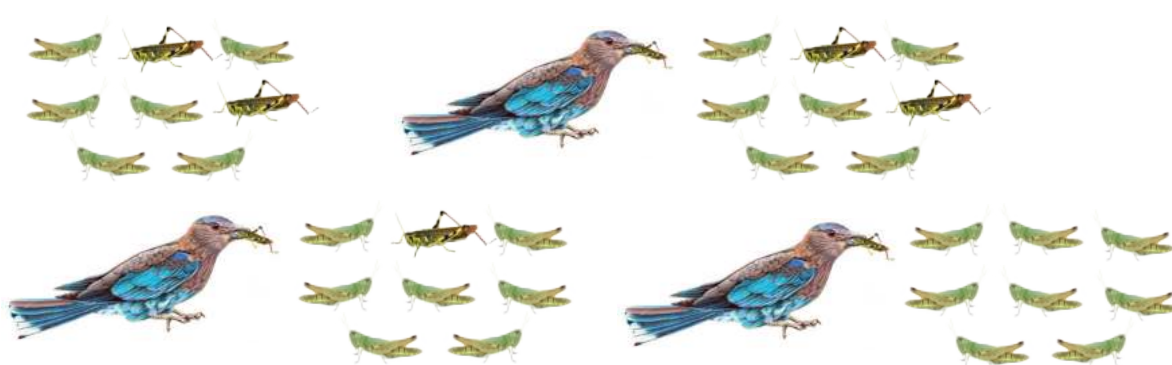
1.



2.



3. სურათი ბუნებრივი გადარჩევის რომელ ფორმას ასახავს? რა მნიშვნელობა აქვს ბუნებრივი გადარჩევის ამ ფორმას ევოლუციის პროცესში?



სქემა გადაიტანე რვეულში და ქვემოთ მოცემული ტექსტი სქემაში ისე გაანაწილე, რომ თანმიმდევრულად აღწერდეს გეოგრაფიული გზით სახეობათწარმოქმნას.



- ხანგრძლივი დროის განმავლობაში მიკროევოლუციური ფაქტორების მოქმედება ხელს უწყობს პოპულაციებს შორის მკვეთრი განსხვავებების გაჩენას – ნიშან-თვისებათა დივერგენციას.
- პოპულაციის ინდივიდები ხვდებიან განსხვავებულ საარსებო პირობებში.
- თანდათან იცვლება პოპულაციის გენოფონდი და, შესაბამისად, ფენოტიპი.
- პოპულაციის ზოგიერთი ინდივიდი იკავებს ახალ გეოგრაფიულ არეალს.
- წარმოიქმნება პოპულაციებს შორის რეპროდუქციული იზოლაცია.
- პოპულაციაში გამუდმებით წარმოიქმნება მუტაციები, პოპულაციაში ინდივიდებს შორის თავისუფალი შეჯვარება წარმოქმნის გენთა ახალ კომბინაციებს.
- შედეგად, ყალიბდება ახალი სახეობა/სახეობები.

დანართი 1 – ელექტრონული სასწავლო რესურსები

ვირტუალური ლაბორატორია:

„მენდელის მემკვიდრეობის კანონზომიერებები“
(„Mendel's Law of Heredity“) –



<https://bit.ly/3X8GQIK>

„სისხლის ABO ჯგუფები“ –



<https://bit.ly/3I7Utuv>

„დიჰიბრიდული შეჯვარება“ („Dihybrid cross“) –



<https://bit.ly/3JFoivC>

გენური მუტაციების სიმულაცია (ექსპერიმენტი 4) –



<https://bit.ly/3DBeHTV>

ბიოლოგიური პროცესების ამსახველი ანიმაციური ფილმები:

ქრომოსომული მუტაციები –



<https://bit.ly/3wZ6jtH>

რეკომბინანტული დნმ-ის მიღება –



<https://bit.ly/3wUo9xl>

გენური ინჟინერია –



<https://bit.ly/3JGwtZR>

დოლის კლონირება –



<https://bit.ly/3DGHTcc>

დამხმარე მასალა:

კვლევის გეგმისა და ანგარიშის ნიმუშები –



<https://bit.ly/3hC7KYC>

სამეცნიერო მოხსენება –



<https://bit.ly/3lipvJe>

კვლევის ანგარიში –



<https://bit.ly/3lpMPMd>

გამოკითხვა –



<https://bit.ly/3HWII7u>

ზოგიერთი ნიშნის მემკვიდრეობა ადამიანში

ნიშნები	მემკვიდრეობითი ტიპი	
	დომინანტური	რეცესიული
1	2	3
თვალის ფერი	ყავისფერი (თაფლისფერი)	ცისფერი
თვალის ქრილი	სწორი	არაბა
თავის ზომა	დიდი	პატარა
თვალის ტიპი	მონგოლოიდური	ჩვეულებრივი
მხედველობა	ახლომხედველი	მხედველობის პრობლემა არ არის
ცხვირის ზომა	დიდი	საშუალო ან პატარა
ცხვირის ფორმა	კეხიანი („რომაული“)	სწორი
ნესტოები	ფართო	ვინრო
ყურის სიგანე	ფართო	ვინრო
ყურის სიგრძე	გრძელი	მოკლე
ყურის ბიბილო	შეზრდილი	არ არის შეზრდილი
ლოყის ღრმულები	არის	არ არის
თმის ფორმა	პატარა კულულებით	სწორი ან ტალღოვანი
თმის ფერი	მუქი ფერის	ღია ფერის
სიქაჩლე	მამაკაცებში	ქალებში
თმის გათეთრება	25 წლის ასაკში	40 წლის შემდეგ
თეთრი თმის კულულები შუბლთან	არის	არ არის
სახის ფორმა	მრგვალი	ოვალური
ქვედა ტუჩი	მსხვილი	თხელი
გაბურძენილი წარბები	არის	არ არის
ენის ჩაზნექა მილისებურად	არის	არ არის
ენის უკან მოხრის უნარი	არის	არ არის
კბილები დაბადებისას	არის	არ არის
ჭორფლიანობა	არის	არ არის
ქალას ფორმა	მოკლე	წაგრძელებული
სიმაღლე	ასაკის შესაფერისი	პროპორციული ჯუჯა
სიმაღლე	დისპროპორციული ჩონჩხი (აქონდროპლაზია)	ასაკის შესაფერისი და პროპორციული ჩონჩხი
ხელის ხმარება	მემარჯვენე	მემარცხენე
თითების ზომა	მოკლე (ბრაქიდაქტილია)	ნორმის ფარგლებში
ჰიპერტრიქოზი	არის	არ არის
ხმა (ქალებში)	სოპრანო	ალტი
ხმა (კაცებში)	ბანი	ტენორი
კანის პიგმენტაცია	კანის პიგმენტაციის პრობლემა არ არის	ალბინიზმი
თითების რაოდენობა	პოლიდაქტილია	ხუთი თითი
სმენა	სმენის პრობლემა არ არის	სიყრუე
სისხლში გლუკოზის შემცველობა	ნორმის ფარგლებში	შაქრიანი დიაბეტი
სისხლი	რეზუსდადებითიანი	რეზუსუარყოფითიანი
მტევანი	სინდაქტილია (თითების შეზრდა)	თითები არ არის შეზრდილი
თვალის რქოვანა	მოგვიანებითი დეგენერაცია (ვითარდება 50 წლის შემდეგ)	ნორმის ფარგლებში
თვალის ფერადი გარსი	არ არის – ანირიდია	არის

დანართი 3.

დამოკიდებულება ალელური წყვილი გენების რიცხვსა და F_2 – ში ფენოტიპური და გენოტიპური კლასების რიცხვს შორის

გენების წყვილების რაოდენობა	გამეტები	F_2	კლასების რაოდენობა	
	სხვადასხვა ტიპების რაოდენობა	შესაძლო კომბინაციების რაოდენობა	ფენოტიპური (სრული დომინირებისას)	გენოტიპური
1	2	4	2	3
2	4	16	4	9
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
n	2^n	4^n	2^n	3^n

ა

ალელი — გენის არსებობის ფორმა, ანუ ერთი და იმავე გენის ალტერნატიული ფორმები, რომლებიც ალტერნატიულ (ურთიერთგამომრიცხავ) ნიშანთვისებებს განსაზღვრავს.

ალოგენეზი — ევოლუციური ცვლილებები, რომლებიც განაპირობებს კონკრეტულ საარსებო პირობებთან ორგანიზმების ვიწრო შეგუებულობას.

ალტერნატიული ნიშან-თვისებები — ურთიერთგამომრიცხავი, კონტრასტული ნიშან-თვისებები.

***ალცჰაიმერი** — ნეიროდეგენერაციული პათოლოგიაა, რომლისთვისაც კოგნიტური (მათშორის, მეხსიერების) და ქცევითი ფუნქციის დარღვევა არის დამახასიათებელი; ალცჰაიმერის დაავადების შემთხვევათა უმრავლესობა შეძენილია, მაგრამ ალცჰაიმერის დაავადების შემთხვევათა 5%-ზე ნაკლები აუტოსომურ დომინანტური მუტაციითაა გამოწვეული, რომელიც, თითქმის ყოველთვის ადრეულ ასაკში ვლინდება.

ამნიონური სითხე — პლაცენტის შიგნით ნაყოფის გარშემო არსებული სითხე.

ამნიოცენტეზი — ამნიონური სითხის ამოღება კვლევისთვის.

ანალოგიური ორგანოები — რომელთაც აქვთ გარეგნული მსგავსება და ერთნაირ ფუნქციებს ასრულებენ, მაგრამ განსხვავდებიან აგებულებისა და წარმოშობის მიხედვით.

ანეუპლოიდია — ნორმალურ ქრომოსომულ ნაკრებთან შედარებით აკლია ერთი ან მეტი ქრომოსომა, ან ერთი ან მეტი ქრომოსომაა დამატებული.

არასრული დომინირება — ერთი ალელი სრულად ვერ თრგუნავს მეორეს.

აროგენეზი — ევოლუციური ცვლილებები, რომლებიც ორგანიზმების ორგანიზაციის საერთო ამაღლებასა და მაღალი სისტემატიკური ჯგუფების წარმოქმნას იწვევს.

აუტბრიდინგი — ერთი სახეობის არანათესაური ფორმების შეჯვარება.

აუტოსომები — არასასქესო ქრომოსომები, რომლებიც ერთნაირია ერთი სახეობის სხვადასხვა სქესის ინდივიდის კარიოტიპში.

აუტოსომური მუტაცია — არასასქესო ქრომოსომაში ლოკალიზებული გენის მუტაცია.

ბ

ბიოლოგიური ევოლუცია — ცოცხალი ბუნების შეუქცევადი და მიმართული ისტორიული განვითარება.

თარება.

ბიოტექნოლოგია — სრულყოფილ ბიოლოგიურ პროცესებზე დამყარებული წარმოება.

გ

გამაანალიზებელი შეჯვარება — რეცესიული ალელის მიხედვით ჰომოზიგოტური ინდივიდის შეჯვარება უცნობი გენოტიპის დომინანტურ ინდივიდთან.

გამეტა — სასქესო უჯრედი. მცენარის, სოკოების და ცხოველების რეპროდუქციული უჯრედი.

გამრავლება — ყველა ცოცხალი ორგანიზმის ერთ-ერთი ძირითადი თვისება, წარმოქმნას თავისი მსგავსი ახალი ორგანიზმი.

გენი — დნმ-ის უბანი (ზოგიერთ ვირუსში რნმ-ის), რომელიც შეიცავს ინფორმაციას განსაზღვრული ცილის პირველადი სტრუქტურის, სატრანსპორტო ან რიბოსომული რნმ-ის შესახებ.

გენების შეჭიდულობა — ერთ ქრომოსომაში ლოკალიზებული გენების მემკვიდრეობის ფორმა.

გენერაციული მუტაცია — გამეტებსა და სპორებში მომხდარი მუტაცია.

გენეტიკური კოდი — ნუკლეინის მჟავების მოლეკულაში მემკვიდრული ინფორმაციის ჩანერის სისტემა. ვიწრო გაგებით, ი-რნმ-ის ტრიპლეტების ლექსიკონი, რომელიც აკოდირებს განსაზღვრულ ამინომჟავას ან ასრულებს ტრანსლაციის დამთავრების სიგნალის ფუნქციას.

გენტა დრეიფი — პოპულაციაში ალელთა სიხშირის შემთხვევითი ცვლილება.

გენტა ნაკადი — პოპულაციათა შორის გენტა მიმოცვლა.

გენომი — მოცემული სახეობის ორგანიზმის სომატური უჯრედის მთელი დნმ-ის საერთო რაოდენობა.

გენომური მუტაცია — კარიოტიპში ქრომოსომების რიცხვის ცვლილება.

გენოტიპი — ინდივიდის ყველა გენის ერთობლიობა. ვიწრო გაგებით, იგულისხმება მხოლოდ ის გენები, რომლებიც გამოსაკვლევ ნიშან-თვისებებს განსაზღვრავენ.

გენოფონდი — მოცემული პოპულაციის ან სახეობის შემადგენელი ინდივიდების გენების ერთობლიობა.

გენმოდულიცირებული ორგანიზმი /ტრანს-გენური — გენური ინჟინერიით მიღებული ორგანიზმი, რომლის გენომი შეიცავს უცხო გენს.

გენური თერაპია — ადამიანის გენომში დეფექ-

ტური გენის შეცვლა ნორმალური/თერაპიული გენით.

გენური ინჟინერია — ერთი ორგანიზმის გენის ჩაშენება სხვა ორგანიზმის გენომში.

გენური მუტაცია — ცალკეული გენის სტრუქტურის ცვლილება.

დ

დეზოქსირიბონუკლეაზა — ფერმენტი, რომელიც დნმ-ის პოლიმერს შლის.

დელეცია — ქრომოსომის უბნის დაკარგვა.

დნმ-ის რეპლიკაცია — დნმ-ის გაორმაგება.

დივერგენცია — ნიშან-თვისებათა დაცილება.

დიზრეგულირებული (დამანაწევრებელი) ბუნებრივი

გადარჩევა — ბუნებრივი გადარჩევა მოქმედებს შუალედური ფორმების/ფენოტიპის სანინალ-მდეგოდ და კიდურა ფორმების/ფენოტიპის სასარგებლოდ.

დიპრიდული შეჯვარება — ორი სხვადასხვა ალტერნატიული ნიშან-თვისების წყვილის მემკვიდრეობის შესწავლა.

დიპლოიდური კომპლექტი — ქრომოსომების ორმაგი კომპლექტი.

***დიუშენის კუნთური დისტროფია** — X-ქრომოსომასთან შეჭიდული იშვიათი გენეტიკური დაავადებაა, რომელიც კუნთების ატროფიით (განლევიით) და სისუსტით გამოიხატება. გვხვდება უმეტესად ბიჭებში (სტატისტიკის თანახმად, მსოფლიოში ყოველი 3000 ბიჭიდან ერთს ეს სინდრომი აქვს) და საკმაოდ მძიმედ მიმდინარეობს.

დნმ-პოლიმერაზა — ფერმენტი, რომელიც დნმ-ის ჯაჭვების სინთეზში ლებულობენ მონაწილეობას.

დომინანტური — ალელი, რომელიც ფენოტიპს განსაზღვრავს როგორც ჰომოზიგოტურ, ისე ჰეტეროზიგოტურ მდგომარეობაში.

დუპლიკაცია — ქრომოსომის ერთ-ერთი უბნის გაორმაგება.

ე

ევოლუცია ბიოლოგიური — ცოცხალი ბუნების შეუქცევადი და მიმართული ისტორიული განვითარება.

ემბრიოგენეზი — ორგანიზმის ჩანასახოვანი განვითარების პერიოდი.

***ემბრიონული ღეროვანი უჯრედები** — მათგან ემბრიონის განვითარების პროცესში მრავალ-უჯრედიანი ორგანიზმისთვის დამახასიათებელი ყველა ტიპის უჯრედი ვითარდება.

ეუკარიოტული უჯრედი — ბირთვიანი უჯრედი (ბერძნ. karyon — ბირთვი).

ეპისტაზი — გენების ურთიერთქმედების ტიპი, რომლის დროსაც ერთი გენის ალელები ახშობენ მეორე გენის ალელების გამომჟღავნებას.

ვ

ვარიაციული რიგი — რიცხობრივი მონაცემების რიგი, რომელიც გამოხატავს ნიშან-თვისების განსაზღვრული მნიშვნელობის შეხვედრის სიხშირეს.

ზ

ზიგოტა — უჯრედი, რომელიც წარმოიქმნება სასქესო უჯრედების (გამეტების) პერწყმის შედეგად.

***ზრდასრული (სომატური) ღეროვანი უჯრედები** — სხვადასხვა ქსოვილსა და ორგანოში განლაგებული ნაწილობრივ არადიფერენცირებული უჯრედები, რომლებიც მხოლოდ გარკვეული ტიპის უჯრედებად დიფერენცირდება.

ი

ინბრიდინგი — ერთი სახეობის მონათესავე ფორმების შეჯვარება.

ინვერსია — ქრომოსომის ერთ-ერთ უბანში გენების განლაგების თანმიმდევრობა 180°-ით შებრუნებულია.

კ

კარიოტიპი — ქრომოსომული კომპლექტის ნიშან-თვისებების (რიცხვი, ზომა, ფორმა, ქრომოსომების სტრუქტურა) ერთობლიობა, რომელიც დამახასიათებელია მოცემული სახეობის სომატური უჯრედებისათვის.

კატაგენეზი — ევოლუციური ცვლილებები, რომლებიც ორგანიზმების ორგანიზაციის დონის გამარტივებას იწვევს.

კლონი — გენის, უჯრედის ან ორგანიზმის გენეტიკურად იდენტური ასლი.

კლონირება — გენეტიკურად იდენტური გენის, უჯრედის ან ორგანიზმის გენეტიკურად იდენტური რამდენიმე ასლის მიღების პროცესი.

კლონირებადი ვექტორი — საშუალება, რითაც უჯრედში ხდება უცხო გენის შეტანა.

კოდომინანტობა — ჰეტეროზიგოტაში ნიშან-თვისების განსაზღვრაში ერთი გენის ორი სხვადასხვა დომინანტური ალელის მონაწილეობა. ამ შემთხვევაში გენის ორივე ალელი ტოლფასოვანია.

კომბინაციური ცვალებადობა — რომლის საფუძველია გენპოტიპში გენების ახალი კომბინაციის წარმოქმნა.

კომპლემენტარული ურთიერთქმედება — არაალელური გენების ურთიერთქმედების ტიპი, რომლის დროსაც ჩნდება სრულიად ახალი ნიშან-თვისება გენოტიპში სხვადასხვა გენის დომინანტური ალელების ერთდროული არსებობის შედეგად.

კონვერგენცია — ნიშან-თვისებათა დამთხვევა.

კონიუგაცია (ზოგადად) — გენეტიკური მასალის მიმოცვლის გზა.

კონიუგაცია ბაქტერიებში — ბაქტერიების უშუალო კონტაქტის მეშვეობით ერთი ბაქტერიის გენეტიკური მასალის მეორე ბაქტერიაში გადაცემის გზა.

კონიუგაცია ქრომოსომების — ჰომოლოგიური ქრომოსომების ქრომატიდების ერთმანეთთან გადაჭდობა/გადაჯვარედინება.

კროსინგოვერი — კონიუგაციის დროს ჰომოლოგიური ქრომოსომების ქრომატიდებს შორის ჰომოლოგიური უბნების გაცვლა, რაც გენების რეკომბინაციას იწვევს.

*** კროსოვერული გამეტა** — გამეტა, რომელიც შეიცავს კროსინგოვერის შედეგად წარმოქმნილი გენების ახალ კომბინაციას.

*** კროსოვერული ინდივიდი** — რომელიც წარმოიქმნება კროსოვერული გამეტის/გამეტების მონაწილეობით.

ლ

ლეტალური გენი — გენი, რომელიც ორგანიზმის სიკვდილს იწვევს.

ლოკუსი — ქრომოსომის უბანი, რომელშიც გენია ლოკალიზებული.

*** ლუმინესცენცია ანუ ცივი ნათება** — ზოგიერთი ნივთიერების გახურების გარეშე, ოთახის ტემპერატურაზე ნათების უნარი.

მ

მაკროევოლუცია — ევოლუციური გარდაქმნები, რომლებიც მიმდინარეობს ზესახეობრივ დონეზე და განაპირობებს ზესახეობრივი სისტემატიკური ჯგუფების წარმოქმნას.

მეიოზი — უჯრედის ორი თანმიმდევრული გაყოფა, რომლის დროსაც ქრომოსომების რიცხვი განახევრდება და შედეგად ოთხი ჰაპლოიდიური უჯრედი წარმოიქმნება.

მემკვიდრეობითობა — ორგანიზმის თვისება, შეინარჩუნოს მშობლებისაგან მიღებული ნიშან-თვისებები და გადასცეს იგი თავის შთამომავლობას.

მემკვიდრული ცვალებადობა — როდესაც ნიშან-თვისების ცვლილება გამოწვეულია გენოტიპის ცვლილებით.

მიკროევოლუცია — სახეობის შიგნით მიმდინარე ევოლუციური გარდაქმნები, რომელთა შედეგია შეგუებულობის ამაღლება და ახალი სახეობის წარმოქმნა.

მიტოზი — ეუკარიოტული უჯრედების არაპირდაპირი გაყოფა, რომელიც უზრუნველყოფს შვილეულ უჯრედებში დედისეული უჯრედისათვის დამახასიათებელი ქრომოსომული ნაკრებისა და, შესაბამისად, იმავე მემკვიდრეობითი ინფორმაციის გადაცემას.

მოდულირება ცვალებადობა — ფენოტიპის ცვლილება გენოტიპის ცვლილების გარეშე, ანუ გენოტიპის რეაქცია გარემო ფაქტორის ცვლილებაზე.

მონოსომია — ნორმალური დიპლოიდიური ქრომოსომული ნაკრებისგან განსხვავებით, ქრომოსომათა რომელიმე წყვილში ერთი ქრომოსომა (2n - 1).

მორგანიდა/სანტიმორგანიდა — ერთ ქრომოსომაში ლოკალიზებულ გენებს შორის მანძილის საზომი პირობითი ერთეული.

მრავლობითი ალელიზმი — ერთი გენი არსებობს ორზე მეტი ალელის სახით.

მუტაცია — გენოტიპის ცვლილება, რომელიც გამოწვეულია ქრომოსომის რიცხვის, მისი რომელიმე უბნის ან ცალკეული გენის ცვლილებით.

მუტაგენები — მუტაციის გამომწვევი ფაქტორები.

ნ

*** ნანოტექნოლოგია** — მეცნიერების მიმართულება, რომელიც მანიპულირებს ნანომეტრულ სკალაზე შექმნილი სტრუქტურებით (ნანომეტრი (ნმ) მეტრის მემილიარდედი ნაწილია).

*** ნანომედიცინა** — ნანოტექნოლოგიით შექმნილი უმცირესი სტრუქტურების გამოყენება ადამიანის ჯანმრთელობის სამსახურში.

ნიშან-თვისება — ორგანიზმის (უჯრედის) აგებულების, ფიზიოლოგიური, ბიოქიმიური პროცესების თავისებურებები.

ო

ოოგენეზი — კვერცხუჯრედის წარმოქმნის პროცესი.

ონტოგენეზი — ინდივიდის ინდივიდუალური განვითარების პერიოდი ზიგოტიდან სიცოცხლის ბოლომდე.

პ

პანმიქსია — პოპულაციაში ინდივიდებს შორის თავისუფალი შეჯვარება.

***პართენოგენეზი** — სქესობრივი გამრავლების სახეობა — ახალი ორგანიზმის განვითარება გაუნაყოფიერებელი კვერცხუჯრედიდან.

***პესტიციდი** — ქიმიური ნივთიერება მცენარეთა მავნე ორგანიზმებისგან (მაგ., მავნე მწერებისგან, ტკიპებისა და მღრღნელებისგან) დასაცავად.

***პიგმენტური რეტინიტი** - X-ქრომოსომასთან შეჭიდული გენეტიკური დაავადება, რომელიც იწვევს ბადურის დაზიანებას.

პლეოტროპია — გენების მრავლობითი მოქმედება: გენის უნარი, გავლენა მოახდინოს რამდენიმე ნიშანზე.

პოლიმერია — მოვლენა, რომლის დროსაც რამდენიმე ერთნაირი მოქმედების არაალელური გენი ერთი და იმავე ნიშან-თვისების განვითარებას განსაზღვრავს.

პოლიპლოიდია — როდესაც კარიოტიპში ქრომოსომების ერთი ან რამდენიმე ნაკრებია დამატებული.

პოპულაციური გენეტიკა — გენეტიკის განყოფილება, რომელიც პოპულაციების გენურ და გენოტიპურ შემადგენლობას შეისწავლის.

პოპულაცია — ერთი სახეობის თავისუფლად შეჯვარებად ინდივიდთა ერთობლიობა, რომელიც ხანგრძლივად არსებობს გარკვეულ ტერიტორიაზე და ხასიათდება ერთიანი გენეტიკური სისტემით – გენოფონდით.

***პრაიმერი** — რნმ-ის მცირე ზომის სეგმენტი, რომელიც აუცილებელია დნმ-ის რეპლიკაციის დასაწყებად.

პროკარიოტული უჯრედი — ბირთვამდელი/უბირთვო უჯრედი (ლათ. pro — წინარე, ბერძნ. karyon — ბირთვი).

რ

რეაქციის ნორმა — ნიშან-თვისების ფენოტიპის ცვლილების ფარგლები გენოტიპის ცვლილების გარეშე.

რეზისტენტობა — (ლათ. „რესისტო“ წინააღმდეგობის გაწევა) — აქ ბაქტერიების მდგრადობა ანტიბიოტიკებისადმი.

რეკომბინაცია — ქრომოსომების, გენების ახალი კომბინაციის წარმოქმნა.

რეკომბინანტული დნმ — შეიცავს სხვა ორგანიზმის გენს — უცხო გენს.

რეპარაცია — დაზიანებული ადგილის აღდგენა.

რეპლიკაცია — ნუკლეინის მჟავების თვითგაორმაგება.

რეპროდუქციული ორგანო — გამრავლების ორგანო.

რესტრიქტაზები — ფერმენტები, რომლებიც

ამოიცნობენ დნმ-ის შესაბამის უბნებს და მას ჭრიან ფრაგმენტებად.

რეცესიული — ალელი, რომელიც ფენოტიპს განსაზღვრავს მხოლოდ ჰომოზიგოტურ მდგომარეობაში.

ს

სასქესო ქრომოსომები — რომლებიც განსხვავებულია ერთი სახეობის სხვადასხვა სქესის ინდივიდში.

***სინდრომი** — ბიოლოგიასა და მედიცინაში ნიშნავს რაიმე დაავადებისთვის დამახასიათებელი ტიპური ნიშნებისა და სიმპტომების ერთობლიობას.

სომატური უჯრედი — მრავალუჯრედიან ორგანიზმებში არასასქესო უჯრედები.

სომატური მუტაცია — სომატურ უჯრედში მომხდარი მუტაცია.

სპერმატოგენეზი — სპერმატოზოიდების წარმოქმნის პროცესი.

სრული დომინირება — დომინანტური ალელი სრულად თრგუნავს რეცესიულ ალელს.

სუროგატი დედა — ორგანიზმი, რომლის საშვილოსნოში ვითარდება სხვა მშობლების ემბრიონი.

სქესთან შეჭიდული გენები — სასქესო ქრომოსომებში ლოკალიზებული გენები.

თ

ტრანსდუქცია — ფაგის საშუალებით ერთი ბაქტერიის გენების გადატანა მეორე ბაქტერიაში.

ტრანსლაცია — მ-რნმ-ის მატრიცაზე პოლიპეპტიდური ჯაჭვის სინთეზის პროცესი.

ტრანსლოკაცია — ქრომოსომულ ნაკრებში ქრომოსომის რომელიმე უბნის მდებარეობის შეცვლა.

ტრისომია — ნორმალური დიპლოიდური ქრომოსომული ნაკრებისგან განსხვავებით, ქრომოსომათა რომელიმე წყვილში დამატებულია ერთი ქრომოსომა ($2n + 1$).

***ტრანსპლანტაცია** — ერთი ორგანიზმიდან მეორეში ორგანოს/ქსოვილის გადანერგვა.

***ტრანსპლანტანტი** — გადანერგილი ორგანო/ქსოვილი.

ტრანსფორმაცია — დნმ-ის ფრაგმენტის საშუალებით გენების ერთი უჯრედიდან სხვა უჯრედში გადაცემა.

ტრიპლეტი — ნუკლეინის მჟავებში თანმიმდევრულად განლაგებული სამი ნუკლეოტიდის ერთობლიობა.

უ

უჯრედული კულტურა — სპეციალურ სტერილურ საკვებ არეში გამოზრდილი უჯრედების ერთობლიობა.

ფ

ფენოტიპი — ორგანიზმის ნიშან-თვისებების ერთობლიობა, რომელიც გენოტიპის გარემოსთან ურთიერთქმედების შედეგად გამოიყვანება.

ქ

ქრომატიდი — ქრომოსომის სტრუქტურული ერთეული, რომელიც ორჯაჭვიანი დნმ-ის ერთი მოლეკულისგან შედგება.

ქრომოსომა — დნმ-ისა და ცილის ურთიერთკავშირი — უჯრედული ბირთვის კომპონენტი, რომელიც წარმოადგენს მემკვიდრული (გენეტიკური) ინფორმაციის მატარებელს.

ქსენოტრანსპლანტაცია — ერთი სახეობის ორგანიზმიდან მეორე სახეობის ორგანიზმში ორგანოს/ქსოვილის გადანერგვა.

შ

შეჭიდილი გენების ჯგუფი — ერთ ქრომოსომაში ლოკალიზებულ გენთა ერთობლიობა.

ც

ცვალებადობა — ორგანიზმის თვისება, შეიძინოს ამავე სახეობის სხვა ინდივიდებთან შედარებით განსხვავებული ნიშან-თვისებები.

წ

წერტილოვანი მუტაცია — გენში ერთი წყვილი

ნუკლეოტიდის შეცვლა.

ჰ

ჰაპლოიდური კომპლექტი — ქრომოსომების ერთმაგი კომპლექტი. აღინიშნება n - ასოთი.

***ჰერბიციდი** - ქიმიური ნივთიერება, რომელიც სარეველა მცენარეებს ანადგურებს.

ჰეტეროგამეტური — სქესი, რომელიც სასქესო ქრომოსომების მიხედვით განსხვავებულ გამეტებს წარმოქმნის.

ჰეტეროზიგოტა — დიპლოიდი ორგანიზმი, რომლის ჰომოლოგიური ქრომოსომები შეიცავს მოცემული გენის სხვადასხვა ალელს და წარმოქმნის სხვადასხვა ტიპის გამეტებს.

ჰიბრიდი — ორგანიზმი, რომელიც მიღებულია გენეტიკურად ნაირგვარი მშობლიური ფორმების შეჯვარების შედეგად.

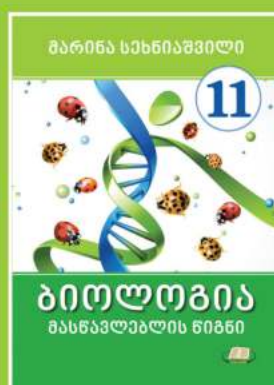
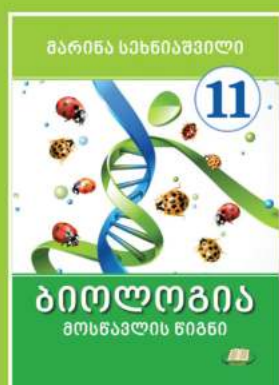
ჰიბრიდოლოგიური მეთოდი — შეჯვარების სისტემის მეშვეობით ნიშან-თვისებების მემკვიდრეობის ხასიათის ანალიზი.

ჰომოგამეტური — სქესი, რომელიც სასქესო ქრომოსომების მიხედვით ერთნაირ გამეტებს წარმოქმნის.

ჰომოზიგოტა — დიპლოიდი ორგანიზმი, რომლის ჰომოლოგიური ქრომოსომები შეიცავენ ამა თუ იმ გენის ერთნაირ ალელებს და წარმოქმნის ერთი ტიპის გამეტებს.

ჰომოლოგიური ორგანოები — შესრულებული ფუნქციის მიუხედავად, ერთნაირი აგებულება და წარმოშობა აქვთ.

ჰომოლოგიური ქრომოსომები — წყვილი ქრომოსომები, რომლებიც მსგავსი არიან მორფოლოგიური ნიშან-თვისებების მიხედვით და შეიცავენ გენების ერთნაირ კომპლექტს.



გამომცემლობა „კლიო“

ISBN 978-9941-496-56-1



www.klio.ge