



ლაბორატორიული სამუშაოების ამოცანათა კონსპექტი  
დისციპლინაში „მცენარეთა ფიზიოლოგია“

შემდგენელი: მარინა ზარქუა, ბიოლოგიის აკად.დოქტორი,  
ასოც.პროფესორი

თბილისი

## სსუ-2020

ელექტრონულ კონსპექტში მოცემულია ლაბორატორიული სამუშაოები დისციპლინაში „მცენარეთა ფიზიოლოგია“, რომელიც განკუთვნილია სოხუმის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ბიოლოგიის, ფარმაციის, ეკოლოგიის საბაკალავრო პროგრამის სტუდენტებისათვის. ლაბორატორიული სამუშაოები აცნობს სტუდენტს მცენარეში მიმდინარე ცხოველქმედების პროცესებს, ამ დარგში არსებული კვლევის ზოგიერთ მეთოდს.

### სამუშაო 1.

#### პლაზმოლიზი და დეპლაზმოლიზი

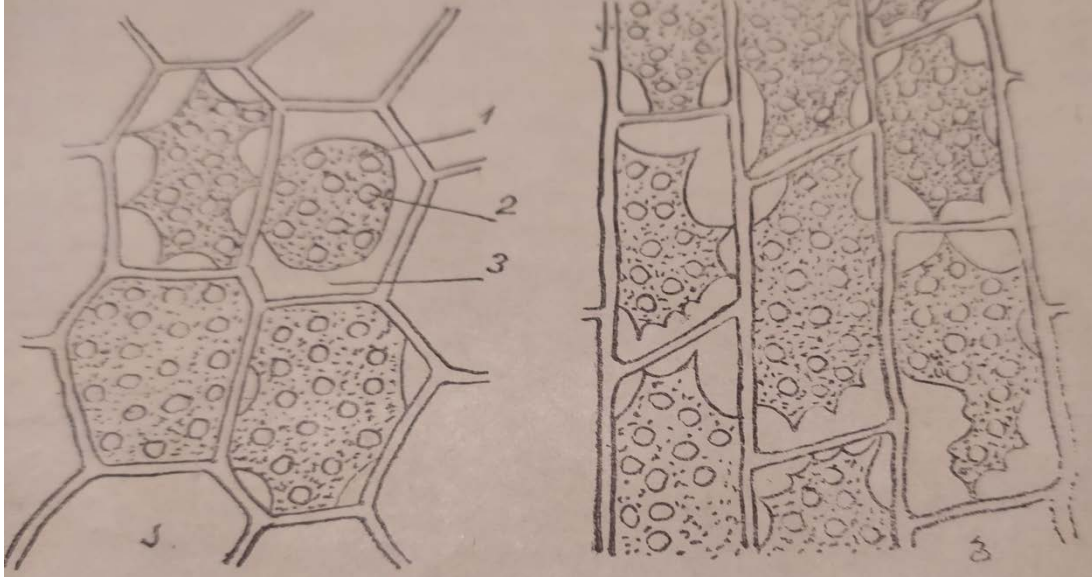
უჯრედის პროტოპლაზმისა და ვაკუოლის მიერ წყლის დაკარგვის შემდეგ პროტოპლაზმა იკუმშება გარსს კუთხეებში ცილდება და პატარა მორგვის სახით უჯრედის ცენტრში თავსდება; ამ მოვლენას პლაზმოლიზი ეწოდება. ამრიგად, **პლაზმოლიზი** მაშინ ხდება, როცა უჯრედი წყლის გარკვეულ რაოდენობას კარგავს. უჯრედის მიერ წყლის დაკარგვა შეიძლება გამოვიწვიოთ სხვადასხვა (შედარებით მაღალი) კონცენტრაციის ხსნარის (პლაზმოლიტიკების) ზემოქმედებით. ამ მიზნით შეიძლება გამოვიყენოთ ოსმოსურად მოქმედი სხვადასხვა ნივთიერება, ოღონდ ისინი უჯრედისათვის სანამლავს არ უნდა წარმოადგენდნენ. პლაზმოლიზი ადვილად ხდება, როცა ცოცხალ უჯრედებზე მოქმედებს ისეთი ხსნარი, რომლის შეწოვითი ძალა აღემატება თვით უჯრედის წვენი შეწოვით ძალას. ამ მიზნისათვის წინათ ხმარობდნენ კალიუმის გვარჯილას, ახლა კი უპირატესობას აძლევენ ლერწმის შაქარს, როგორც უჯრედისათვის სრულიად უვნებელს.

პლაზმოლიზის გამომწვევი ნივთიერების შერჩევასას გასათვალისწინებელია ის გარემოება, რომ მყარ პლაზმოლიზს ყველა ოსმოსურად მოქმედი ნივთიერება არ იძლევა. ამ შემთხვევაში ყველაზე უკეთესია მარილები და შაქრები. მათ მიერ

გამონვეული პლაზმოლიზი საათობით გრძელდება. სხვა ნივთიერებები, როგორცაა, მაგ., გლიცერინი ან შარდოვანა, იძლევა დროებით პლაზმოლიზს, რომელიც რამდენიმე საათის შემდეგ ქრება, რადგან შეკუმშული პროტოპლაზმა ისევ ფართოვდება და მტკიცედ ეკვრება გარსს.

პლაზმოლიზზე ცდის ჩასატარებლად შეიძლება გამოვიყენოთ ლერწმის შაქრის ან კალიუმის გვარჯილის ხსნარი. უფრო ხშირად იყენებენ კალიუმის გვარჯილის ხსნარს, მისი მომზადება ასე ხდება: იღებენ  $\text{KNO}_3$  გრამმოლს (101 გ) და ხსნიან 1 ლ წყალში (ეს იქნება ე.წ. მოლარული ხსნარი), რომელიც 1,5-ჯერ მეტ ოსმოსურ წნევას იძლევა, ვიდრე ლერწმის შაქრის (საქაროზას) მოლარული ხსნარი. ასეთი წესით მომზადებულ ან რამდენადმე უფრო სუსტი კონცენტრაციის ხსნარში მცირე ხნით ათავსებენ იმ მცენარეულ ქსოვილებს ან უჯრედებს, რომელთა პლაზმოლიზის გამონვევა სურთ. შეიძლება გამოვიწვიოთ მცენარის სხვადასხვა ქსოვილის ჭრილების პლაზმოლიზი. ეს ჭრილები უნდა შეიცავდნენ მთელ (დაუზიანებელ) უჯრედებს, რომლებშიც გაისინჯება პლაზმოლიზი. ცდისათვის ძალიან თხელი ან მეტად სქელი ჭრილები არ გამოდგება. დასაკვირვებლად უმჯობესია სამართებით ავთალოთ ფოთლის კანი (ეპიდერმისი), ისე, რომ მას გაჰყვეს ეპიდერმისის ქვევით მდებარე ქსოვილის ნაწილიც. უფრო მოხერხებულია წითელი ჭარხლის ფესვის ნაჭრები, კარგია აგრეთვე ბეგონიის ფოთლის კანიც, რადგანაც ამ მცენარეებს მონითალო შეფერვაც აქვთ და დასაკვირვებლადაც ადვილია.

პლაზმოლიტიკში ( $\text{KNO}_3$ -ის ხსნარი იქნება, თუ ლერწმის შაქარი, სულ ერთია) ჭრილების მოთავსებიდან რამდენიმე ხნის (10–15 წუთის) შემდეგ, ისინი (ე.ი. ჭრილები) მოკროსკოპით ისინჯება, სასაგნე მინაზე იმავე ხსნარის ერთ წვერში. უჯრედის წვენთან შედარებით გარეთა ხსნარის ოსმოსური წნევის სიჭარბის გამო უჯრედიდან სითხე გარემო ხსნარში გამოვა და ამის შედეგად ხდება პლაზმოლიზი (სურ. 1).



სურ. 1. პლაზმოლიზისა და დეპლაზმოლიზის მოვლენა: ა) პლაზმოლიზის თანდათანობითი სტადიები ხავსის ფოთლის უჯრედებში: 1 – ამოზნექილი პლაზმოლიზი; 2 – ქლოროპლასტი; 3 – პლაზმოლიტიკი. ბ) ჩაზნექილი (ჩაჩისებრი) პლაზმოლიზი.

პლაზმოლიზი ყველა უჯრედში შეიძლება ერთნაირად არ მიმდინარეობდეს, რაზეც გავლენას ახდენს თვით პლაზმის მდგომარეობა. მაგ., „ზოგიერთ უჯრედში შეიძლება პლაზმოლიზის ნიშნები სრულიადაც არ იყოს და ზოგიერთში კი უკვე მოხდეს სრული პლაზმოლიზი. პროტოპლაზმის სხვადასხვა სიბლანტის შედეგად პლაზმოლიზირებულ უჯრედებში შიგთავსის შემცველობას სხვადასხვა სახე ექნება. თუ პროტოპლაზმა ნაკლები სიბლანტის მქონეა (თხელია), პლაზმოლიზის დროს მას ექნება სწორი, დამრგვალებული ნაპირები (ამობურცული პლაზმოლიზი). უფრო მაღალი სიბლანტის დროს პლაზმოლიზს „კუთხური“ ფორმა აქვს; ხოლო კიდევ უფრო მაღალი სიბლანტის მქონე პლაზმა კი არ სცილდება გარეს მთლიანად, არამედ რჩება მასთან დაკავშირებული ქიმების საშუალებით“ .

წაგრძელებული უჯრედების პლაზმოლიზის დროს შესაძლებელია პროტოპლაზმა ორად ან რამდენიმე ნაწილად გაიყოს და შეკუმშული პროტოპლაზმის ეს ცალკეული მორგვეები ერთმანეთთან წვრილი პლაზმატური ძაფებით დაკავშირდნენ.

პლაზმოლიზის ასეთი განსხვავებულობა გამომწვეულია იმით, რომ სხვადასხვა ნივთიერება პროტოპლაზმაში გავლით სხვადასხვაგვარად შეაღწევს უჯრედის წვენში, ანდა პირუკუ – უჯრედის წვენიდან გარემო არეში.

განსხვავებული ვალენტოვნობის მქონე ლითონები სხვადასხვანაირად მოქმედებენ პროტოპლაზმაზე, მაგ., კალიუმის მარილით დამუშავებული უჯრედები მალე განიცდის პლაზმოლიზს და მიიღება შეკუმშული პროტოპლაზმის მრგვალი ფორმები (სურ. 1ბ). კალციუმის მარილით დამუშავებული უჯრედები პლაზმოლიზს გაცილებით ნელა განიცდიან და შეკუმშული პლაზმა დიდხანს ინარჩუნებს დაკუთხულ ფორმას. კალიუმისა და კალციუმის ასეთი განსხვავებული მოქმედება იმითაა გამომწვეული, რომ კალიუმის (ერთვალენტიანი ელემენტის იონები რამდენადმე ათხევადებს პლაზმას, ხოლო კალციუმის (ორვალენტიანი ელემენტის) იონები კი იწვევს პლაზმის გასქელებას. როგორც პირველის, ისე მეორის იონები შედის უჯრედში, რაც იწვევს პროტოპლაზმის შემადგენელი ბიოკოლოიდების მდგომარეობის შეცვლას.

პლაზმოლიზირებული უჯრედებს გამოხდით წყალში მოთავსებისას უჯრედები წყალს კვლავ შეიოვენ. შეკუმშული პროტოპლაზმა, წყლის შეწოვის შემდეგ უბრუნდება თავის პირვანდელ მდგომარეობას. უჯრედი ისევ ივსება შიგთავსით და აღიდგენს დაძაბულ (ტურგორულ) მდგომარეობას. ამ შემთხვევაში უჯრედები განიცდის **დეპლაზმოლიზს**. დეპლაზმოლიზი საკმაოდ სწრაფად ხდება, თუ პლაზმოლიზის დროს უჯრედების პლაზმას არ განუცდია კოაგულაცია (აჭრა) – არ მომკვდარა.

პლაზმოლიზისა და დეპლაზმოლიზის შემდეგ უჯრედები ცოცხალი რჩებიან, თუ პლაზმოლიტიკი მომშხამველი ნივთიერება არ არის, ანდა თუ დეპლაზმოლიზი ძალიან

სწრაფად არ მოხდა (ზოგჯერ სწრაფი დეპლამბოლიზის დროს ხდება პროტოპლაზმის მექანიკური დაზიანება რაც იწვევს მის სიკვდილს და სხვ.).

პლაზმოლიზს მიმართავენ უჯრედების ოსმოსური წნევის გამოსარკვევად და უჯრედის ცხოველმყოფელობის (ცოცხალია თუ არა) დასადგენად. პლაზმოლიზისა და დეპლამბოლიზის უნარი მხოლოდ ცოცხალი უჯრედების პროტოპლაზმას აქვს.

**მასალა და მონაცობილობა:** 1. ყვავილოვანი კომბოსტო (ან წყალმცენარეები – ვალისნერია, ელოდფა ან ხახვის ეპიდერმისი); 2. მიკროსკოპი; 3. სასაგნე და საფარი მინები; 4. სამართებელი; 5. მინის წკირი (ჭოხი); 6. კალიუმის გვარჯილის ( $KNO_3$ ) მოლური ხსნარი; 7. ფილტრის ქაღალდი.

**მუშაობის მიმდინარეობა.** მზადდება ხახვის ეპიდერმისის თხელი ჭრილები, რომლებსაც ვათავსებთ სასაგნე მინაზე დასხმულ ერთ წვეთ  $KNO_3$ -ის მოლურ ხსნარში; ვათარებთ საფარ მინას და ვაკვირდებით მიკროსკოპში ჯერ მცირე, ხოლო შემდეგ საშუალო გადიდებით.

ჩვენ მიერ აღებული პლაზმოლიტიკის (ამ შემთხვევაში ხსნარის) ოსმოსური წნევა უფრო მაღალია, ვიდრე უჯრედის წვენისა. ამიტომ პლაზმოლიტიკი მოახდენს უჯრედის წვენის გამოწოვას, რასაც თან სდევს უჯრედის პროტოპლაზმის თანდათანობითი ჩამოცილება გარსისაგან. პროტოპლაზმა პატარა მორგვის მსგავსად მოთავსება უჯრედის შუა ადგილზე. ამრიგად, საქმე გვექნება პლაზმოლიზის მოვლენასთან.

როდესაც მკაფიოდ გამოხატულ პლაზმოლიზს (გარსისაგან პროტოპლაზმის დაცილება) შევამჩნევთ, ფილტრის ქაღალდით ვახდენთ საფარი მინის ქვეშ მყოფი პლაზმოლიტიკის გამოწოვას და სამაგიეროდ ვუმატებთ სუფთა წყალს. იმის გამო, რომ უჯრედის შიგთავსის ოსმოსური წნევა მეტი იქნება, ვიდრე გარემო სითხისა, მოხდება წყლის თანდათანობითი შესვლა და პლაზმოლიზის დროს თუ პროტოპლაზმას აჭრა (შეუქცევადი კოაგულაცია) არ განუცდია, ისევ შეინოვს წყალს, გადიდდება

მოცულობაში და გამოავსებს უჯრედს, ე.ი. მოხდება დეპლამბოლიზი. შიგთავსით ამოვსებული უჯრედი, რომლის გარსიც დაჭიმულ მდგომარეობაშია, ტურგორის სახელწოდებითაა ცნობილი.

### **პლაზმოლიზის ფორმები**

არსებობს სამი სახის პლაზმოლიზი: კუთხური, ჩაზნექილი და ამოზნექილი. პლაზმოლიზის დასაწყისში პროტოპლასტის ჩამოცილებას უჯრედის გარსის კუთხეებში „კუთხური პლაზმოლიზი“ ეწოდება. პროტოპლასტის ჩამოცილებას უჯრედის კედლების შიგნით ჩაზნექილი პლაზმოლიზი ეწოდება. პლაზმოლიზის დასასრულს, როდესაც ხდება პროტოპლასტის დამრგვალება „ამოზნექილი პლაზმოლიზი“ ეწოდება.

ახალგაზრდა უჯრედების პლაზმას უფრო მეტი სიბლანტე აქვს, ვიდრე ხნიერი უჯრედებისას, ამიტომაც ახალგაზრდა უჯრედებში პლაზმოლიზის ფორმების ცვლას ნელა მიმდინარეობს.

### **ჩაჩისებრი პლაზმოლიზი**

ჩაჩისებრი პლაზმოლიზის დროს შეიმჩნევა მეზოპლაზმის ძლიერი გაუიჟინება. გაუიჟინება გამოვლინდება პლაზმოლიზებული პროტოპლასტის ბოლოებში პლაზმის ჩაჩის წარმოქმნით.

ჩაჩისებრი პლაზმოლიზი წარმოიშობა მარილების მოქმედებით. ისინი პლაზმოლიზის გავლით აღწევენ მეზოპლაზმას და იწვევენ მის გაუიჟინებას. მარილები ტონოპლასტში ვერ შედის ანდა ძალიან ნელა შედის.

**მასალა და მონაცემილობა:** 1. ხახვი; 2. მიკროსკოპი; 3. სასაგნე და საფარი მინები; 4. მინის წკირები; 5. სამართებელი; 6. KCNS–ის მოლური ხსნარი.

**მუშაობის მიმდინარეობა.** სასაგნე მინაზე აწვეთებენ KCNS–ის მოლურ ხსნარს. შიგთავსებენ ხახვის ეპიდერმისს, აფარებენ საფარ მინას და მაშინვე აკვირდებიან

მიკროსკოპში ჯერ პატარა, ხოლო შემდეგ საშუალო გადიდებით. შემდეგ აწარმოებენ ცალკეული უჯრედების ჩახატვას, სადაც კარგად გამოხატულია ჩაჩისებრი პლაზმოლიზი.

## სამუშაო 2.

### უჯრედის წვენის ოსმოსური წნევის გამორკვევა პლაზმოლიზური მეთოდით

ჰიდროსტატიკურ წნევას ნახევრად შეღწევად აპკზე, რომლითაც ხსნარი გამოყოფილია გამხსნელისაგან ან სხვა კონცენტრაციის ხსნარისაგან, ოსმოსური წნევა ეწოდება. მისი წარმოშობის ძირითადი მიზეზია წმინდა გამხსნელის ნაწილაკთა ამაღლებული აქტივობა, ხსნარში მათ აქტივობასთან შედარებით. ეს აპირობებს გამხსნელის სუფთა ნაწილაკების გადაძრავების დიდ სიჩქარეს ხსნარში, რომლის მოცულობაც აპკის კედლებზე წნევის გადიდების შესაბამისად იზრდება. ხსნარზე მიყენებული ძალები, რომლებიც აწონასწორებენ გამხსნელის ნაწილაკების ორივე მიმართულებით გადაადგილების სიჩქარეს, ოსმოსური წნევის ეკვივალენტურია. ოსმოსური წნევის სიდიდე გამოიხატება ატმოსფეროებით და აღინიშნება ასო  $p$ -თი. იგი მით უფრო დიდია, რაც უფრო მაღალია გამხსნელი ნივთიერებების ნაწილაკთა კონცენტრაცია, და იზრდება ტემპერატურის მატებასთან ერთად. უჯრედის წვენის ოსმოსური წნევა დიდ გავლენას ახდენს წყლის შეღწევადობაზე უჯრედიდან უჯრედში და ნიადაგიდან მცენარეში.

უჯრედის წვენის ოსმოსური წნევის განსაზღვრის ერთ-ერთ მეთოდს პლაზმოლიზური მეთოდი წარმოადგენს. იგი შემდეგში მდგომარეობს:

თუ მცენარეულ ქსოვილებს მოვათავსებთ ნეიტრალური მარილის ან საქაროზას კლებადი კონცენტრაციის 1,0-დან 0,1 მოლარულ ხსნარში და უჯრედთა



პროტოპლასტის მდგომარეობას განსაზღვრული დროის შუალედებში მიკროსკოპულად გავსინჯავთ, ხსნარის კონცენტრაციის შესაბამისად შევამჩნევთ მის შეცვლას, მაღალი კონცენტრაციის ხსნარებში უჯრედის წვევის წყალი იწყებს გარე ხსნარში გადასხვლას და უჯრედები პლაზმოლიზდებიან.

წყალში შეინიშნება ტურგორის მაქსიმალური მოვლენა (პლაზმის გაკვრა გარსზე და ვაკუოლის ძალიან გადიდება). ცხადია, რომელიღაც შუალედურ კონცენტრაციის ხსნარში, პროტოპლაზმა გარსს ეკვრის, მაგრამ არ აწვება მას. ეს მაშინ ხდება, როდესაც უჯრედის წვევისა და ხსნარის კონცენტრაციები ერთმანეთის ტოლია და, მაშასადამე, ერთმანეთს ემთხვევა მათი ოსმოსური წნევის სიდიდეებიც. თუ გამოვთვლით ჩვენ მიერ მომზადებული ხსნარის ოსმოსურ წნევას, გავიგებთ საკვლევი მცენარის უჯრედის წვევის ოსმოსური წნევის სიდიდესაც.

**მასალა და მოწყობილობა.** 1. ხახვი ან ელოდეა; 2. მიკროსკოპი; 3. სამართებელი; 4. პიპეტი 10 მლ–იანი დანაყოფებით; (რაც შემდეგში „მლ“-ით იქნება აღნიშნული); 5. სასაგნე და საფარი მინები; 6. ხუთი ბიუქსის ჭიქა (მილესილსაცობიანი); 7. ფუნჯი; 8. ფილტრის ქაღალდი; 9. საათი; 10.  $KNO_3$ -ის მოლური ხსნარი.

**მუშაობის მიმდინარეობა.** მზადდება კალიუმის გვარჯილის ( $KNO_3$ ) სხვადასხვა მოლური ხსნარი: 0,5; 0,4; 0,3; 0,2 და 0,1. ასეთი მოლური ხსნარების მოსამზადებლად საჭიროა  $KNO_3$ -ის მოლური ხსნარი  $KNO_3$  გავაზავოთ დისტილირებულ (ე.ი. გამობდილ) წყალში. ყოველი ხსნარი უნდა დამზადდეს 10 მლ.

საჭირო რაოდენობის  $KNO_3$ -ის ხსნარისა და წყლის ასაღებად იყენებენ დანაყოფებიან პიპეტებს. მომზადებული ხსნარი კარგად უნდა განვაზავოთ ბიუქსის ჭიქაში და დავახუროთ თავსახურავი, რათა არ აორთქლდეს. სხვადასხვა მოლური კონცენტრაციის ხსნარიანი ბიუქსები უნდა დალაგდეს ასეთი თანმიმდევრობით: მაღალი დოზიდან დაბალისაკენ. ამის შემდეგ მეტად ბასრი სამართებლით, ხახვის

ეპიდერმისის ქერქლის შუა ადგილიდან ვამზადებთ 10 ჭრილს, თითოეულს 25 მმ<sup>2</sup> (კვადრატულ მილიმეტრს). ჭრილის სისქეზე უნდა იყოს 2–3 უჯრედის წყება. ასეთი წესით მომზადებულ ორ–ორ ჭრილს ვათავსებთ ბიუქსის ჭიქებში მოთავსებულ სხვადასხვა მოლურ ხსნარში.

ხახვის ეპიდერმისის ქერქლის ჭრილები ზემოაღნიშნულ ხსნარებში თავსდება 20–20 წუთი. შემდეგ ისინჯება მიკროსკოპში: პირველად მაღალი კონცენტრაციის ხსნარში ნამყოფიდან უმცირესისაკენ. მიკროსკოპში ჭრილები ისინჯება იმავე ხსნარის წვეთში, რომელშიაც იყო ოცი წუთის განმავლობაში.

მიკროსკოპული დაკვირვებებით მივაგნებთ ისეთ ხსნარს, რომელშიც ყოფნის შედეგად უჯრედებს ოდნავ დაემჩნევა პლაზმოლიზის ნიშნები (ე.ი. უჯრედის პროტოპლაზმა ოდნავ შესამჩნევად იწყებს გარსიდან დაცილებას).

### ცხრილი 1.

#### ცდის ჩანერის სქემა

მოლური ხსნარის კონცენტრაცია	10 მლ ხსნარზე		ხსნარში ჭრილების მოთავსების ხანგრძლივობა		დაკვირვების შედეგი, პლაზმოლიზის ხარისხი	გარემო ხსნარის კონცენტრაცია, რომელიც უჯრედის წვეთის კონცენ-ტრაციის ტოლია
	KNO <sub>3</sub> (მლ)	H <sub>2</sub> O(მლ)	მოთავსების დრო	დაკვირვების დრო		
0,5	5	5				
0,4	4	6				
0,3	3	7				
0,2	2	8				
0,1	1	9				

ხსნარის კონცენტრაცია, რომლის ოსმოსური წნევა ტოლია მოცემული ობიექტის უჯრედის წვენის ოსმოსური წნევისა, ჯერ თავსდება იმ კონცენტრაციათა შორის, რომელნიც მეტად სუსტ (ოდნავ) შესამჩნევ პლაზმოლიზს იწვევენ, და შემდგომ უფრო სუსტ კონცენტრაციათა შორის, რომელნიც ვერ იწვევენ პლაზმოლიზს.

ასეთი კონცენტრაციის მოძებნა და ამის მიხედვით უჯრედის ოსმოსური წნევის სიდიდის გამოანგარიშება შეიძლება სათანადო ფორმულის გამოყენებით:  $P=RTCi$ ;

სადაც  $P$  – არის საძიებელი ოსმოსური წნევა ატმოსფეროში;

$R$  – გაზის კონსტანტა (მუდმივი), რომელიც უდრის 0,082;

$T$  – აბსოლუტური ტემპერატურა, რომელიც უდრის  $273+t$  (ოთახის ტემპერატურა);

$C$  – გარე ხსნარის კონცენტრაცია მოლეზში, რომელიც უჯრედის წვენის კონცენტრაციის ტოლია;

$i$  – იზოტონური კოეფიციენტი, რომელიც უდრის 1,5.

ხახვის უჯრედებში ოსმოსური წნევის განსაზღვრის დროს შედარებისათვის პარალელურად უნდა ჩატარდეს ელოდეას ფოთლების უჯრედის წვენის ოსმოსური წნევის განსაზღვრა. ამისათვის იღებენ ელოდეას ტოტზე ერთმანეთთან ახლოს განწყობილ ფოთლებს და ათავსებენ  $KNO_3$ -ის ხსნარიან ბიუქსის ორ-ორ ჭიქაში. დანარჩენი სამუშაო უნდა ჩატარდეს ისე, როგორც ხახვზე ცდის დროს ჩატარდა.

### სამუშაო 3.

## მცენარეული ქსოვილებისა და უჯრედების შემწოვი ძალის განსაზღვრა (გამორკვევა)

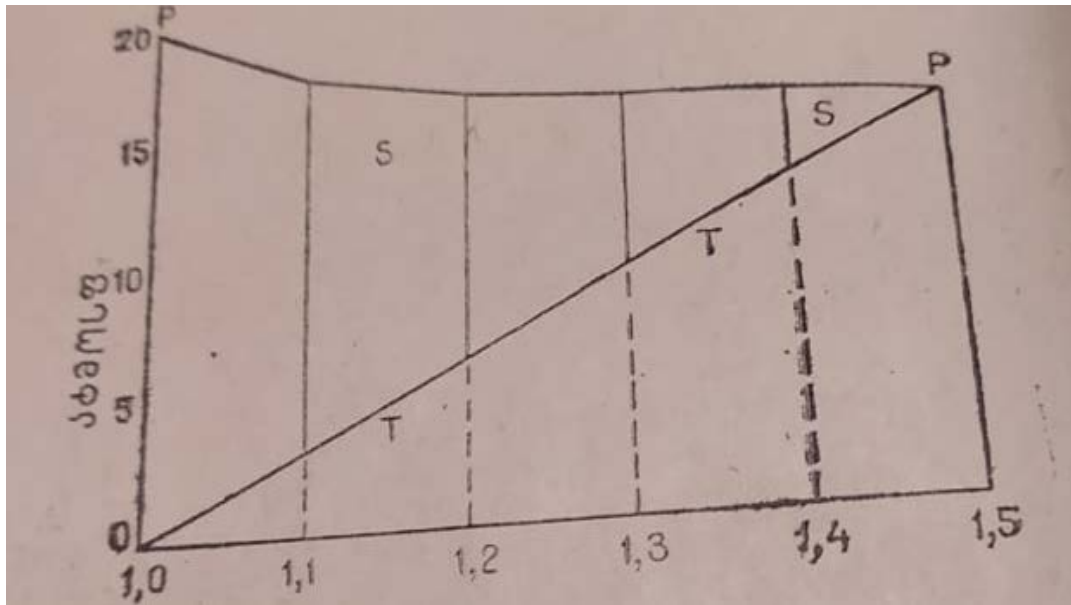
უჯრედები თავისი ნორმალური ცხოველმოქმედებისათვის წყლის გარკვეულ რაოდენობას საჭიროებენ. უჯრედები წყლის მოთხოვნილებას იკმაყოფილებენ გარშემო არსებული ხსნარებიდან, ანდა ირგვლივ მდებარე უჯრედებიდან, შენთვის გზით. ძალას, რომლითაც უჯრედი გარემოდან წყალს შეიწოვს, **შემწოვი ძალა ეწოდება.**

მცენარისა და უჯრედის შემწოვი ძალა მთლად ერთნაირი არ არის. მაგ., მშრალი თესვები, მათში არსებული კოლოიდების გაუიჟინება—თქვირების გამო, წყალს დიდი ძალით იზიდავენ. ცენტრალური ვაკუოლის მქონე ხნოვანი უჯრედების შემწოვი ძალა ძირითადად ისაზღვრება მისი ოსმოსური თვისებებით.

განსაზღვრული ხარისხით უჯრედების განწყლიანებისას, მათი შემწოვი ძალა არ არის მუდმივი. მაქსიმალურ სიდიდეს ის აღწევს სრული პლაზმოლიზის დროს, როდესაც ტურგორი ნულის ტოლია ( $T=0$ ) და უტოლდება ოსმოსური წნევის მთელ სიდიდეს (ე.ი.  $S=P$ ).

უჯრედების წყლით გაჯერებასთან ერთად შემწოვი ძალა კლებულობს და მათი უკიდურესობამდე გაუიჟინთვის შემთხვევაში შენთვის ძალა ნულს უდრის. უჯრედების ასეთი მდგომარეობისას, ოსმოსური წნევა უდრის ტურგორულ წნევას და რეალიზდება ტურგორულ—ჰიდროსტატიკური წნევის ( $T$ ) სახით, ე.ი.  $P=T$ .

წყლით უჯრედების სრული გაჯერება ყოველთვის შეინიშნება წყლის მცენარეებში. ხმელეთის მცენარეები ჩვეულებრივ არ არიან წყლით გაჯერებული და მათი ოსმოსური წნევა ( $P$ ) მეტი იქნება ტურგორულ ( $T$ ) წნევაზე. ოსმოსურ და ტურგორულ წნევას შორის სხვაობა საზღვრავს შემწოვი ძალის სიდიდეს, რომელიც ატმოსფეროებით გამოითვლება (სურ.2). მცენარეულ ქსოვილთა ეს ძალა შეიძლება მიახლოებით შემდეგი ფორმულის სახით გამოიხატოს.  $S=P-T$ .



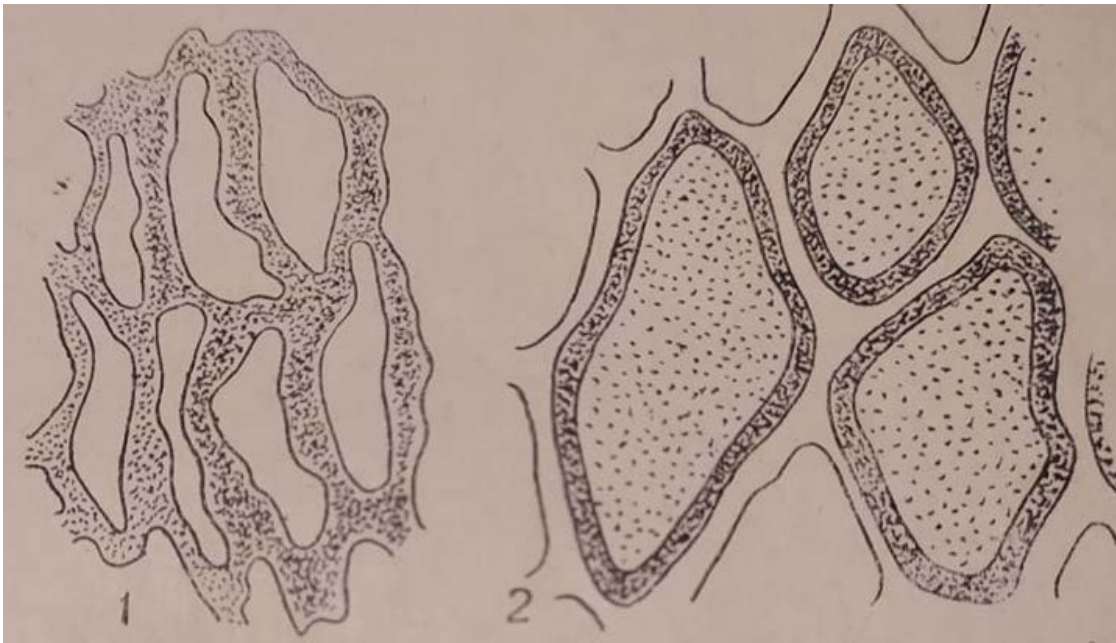
სურ.2. უჯრედების ჭკნობის მდგომარეობიდან წყლით სრული მაძრობის მდგომარეობაში გადასვლისას ოსმოსურ სიდიდეთა ცვლილების სქემა: *T*– ტურგორული წნევა; *P*– უჯრედის წვენი ოსმოსური წნევა; *S* – შემწოვი ძალა; ნახაზის ქვეშ ციფრით ნაჩვენებია – შეფარდებითი მოცულობა, რომელიც საზღვრავს გარსის დაჭიმულობის ხარისხს.

უჯრედების მიერ წყლის შთანთქმის ან გაცემის მიხედვით იცვლება უჯრედების და ქსოვილების მოცულობა. თუ უჯრედების შემწოვი ძალა (*S*) მაღალია გარემოში მყოფი ხსნარის ოსმოსურ წნევაზე (*P*-ზე), მაშინ უჯრედები წყალს შეიწოვს და მათი და მთელი ქსოვილების მოცულობა გადიდება. საპირისპირო მდგომარეობისას უჯრედები წყალს მისცემს მოსაზღვრე ხსნარს და უჯრედებისა და მთელი ქსოვილის სიდიდე შემცირდება (სურ. 3).

აღნიშნულიდან გამომდინარეობს, რომ უჯრედის შემწოვი ძალის განსაზღვრის ერთ–ერთ მეთოდად მცენარეული ქსოვილების ზომაზე დაკვირვება ითვლება, ამ მიზნით მცენარეულ ქსოვილებს გარკვეული ხნით ათავსებენ განსხვავებული კონცენტრაციის ხსნარებში. მაგალითად, უჯრედების შემწოვი ძალის (*S*) განსაზღვრა

შეიძლება მათი მოცულობის შეცვლაზე დაკვირვებით. ასეთი დაკვირვებისათვის მოხერხებულ ობიექტს კარტოფილი (ან სხვა მისი მსგავსი) წარმოადგენს.

ამზადებენ მოგრძო ნაჭრებს და გარკვეული დროით ათავსებენ პლაზმოლიტიკის (მაგ., საქაროზის ან სხვა) განსხვავებული კონცენტრაციის მქონე ხსნარებში. თუ გარეთა ხსნარის ოსმოსური წნევა მეტი იქნება ქსოვილის ოსმოსურ წნევაზე, მაშინ ხსნარი წაართმევს უჯრედებს წყალს და მათი მოცულობა შემცირდება. ამის გამო შემცირდება მონაკვეთის სიგრძეც. თუ ხსნარის ოსმოსური წნევა უფრო დაბალი იქნება, ვიდრე ქსოვილის შეწოვის ძალა, მაშინ უჯრედები ხსნარიდან შეიწოვს წყალს, რის გამოც მონაკვეთის სიგრძე და მოცულობაც მოიმატებს იმ ხსნარში, რომლის ოსმოსური წნევა ქსოვილის შეწოვის ძალის ტოლია, მონაკვეთის სიგრძე კი უცვლელი დარჩება.



სურ. 3. განსხვავებული ტურგორის დროს უჯრედთა გარსების მდგომარეობა: 1 – უარყოფითი ტურგორის დროს მომხდარი დეფორმაცია; 2 – ტურგოსცენტური უჯრედები.

**მასალა და მოწყობილობა:** 1. კარტოფილის ტუბერი; 2. სადგარი 5 სინჯარით; 3. სანვეთური 10 მლ–იანი დანაყოფებით; 4. პინცეტი; 5. ლანცეტი; 6. დანა; 7. საათი; 8. მილიმეტრებიანი სახაზავი; 9.  $\text{KNO}_3$ -ის მოლური ხსნარი.

**მუშაობის მიმდინარეობა.** იღებენ ოთხ სინჯარას. თითოეულში ასხამენ 10 მლ  $\text{KNO}_3$ -ის ხსნარს. პირველში ასხამენ 0,4 მოლურ ხსნარს, მეორეში 0,3–ს, მესამეში – 0,2–ს და მეოთხეში – 0,1 მეხუთე სინჯარაში იღებენ 10 მლ გამოხდილ წყალს, კარტოფილის ტუბერიდან გამოჭრიან 4–6 სმ სიგრძისა და 4 მმ<sup>2</sup> სიგანის 10 ცალ ნაჭერს. მილიმეტრებიანი სახაზავით ზუსტად ზომავენ მათ სიგრძეს და ათავსებენ ხსნარში ორ–ორ ცალს. 20 წუთის შემდეგ ნაჭრებს ამოიღებენ, ფილტრის ქაღალდით გააშრობენ და ხელახლა ზომავენ მათ სიგრძეს.

მეთოდი მდგომარეობს შემდეგში: უნდა გამოინახოს გარეთა ხსნარის ისეთი კონცენტრაცია, რომელშიც მოთავსებული ქსოვილის მონაკვეთი არ იცვლის თავის სიგრძეს. ამისათვის იღებენ ისეთ კონცენტრაციას, რომელშიც მოთავსებისას კარტოფილის ტუბერიდან აღებული ნაჭერი სიგრძეში არ მოიმატებს. გამოანგარიშება წარმოებს ფორმულით:

$$S=RTCi$$

სადაც S არის ქსოვილის შემწოვი ძალა, რომელიც უდრის გარე ხსნარის ოსმოსურ წნევას;

R - გაზის კონსტანტა (მუდმივს) უდრის 0,082;

C - გარე ხსნარის კონცენტრაცია, რომლის დროსაც ქსოვილის მონაკვეთის სიგრძე არ იცვლებოდა;

T - აბსოლუტური ტემპერატურა  $273+t^\circ$  (ოთახის ტემპერატურა);

i - იზოტონური კოეფიციენტი, რომელიც უდრის 1,5.

მიღებული შედეგი წარმოადგენს შენთვის ძალის სიდიდეს გამოსახულს ატმოსფეროებში.

ცხრილი 2.

**ცდის ჩანერის სქემა**

სსნარის კონცენტრაცია მოლობით	10 მლ სსნარზე		ქსოვილის მონაკვეთის სიგრძე		კონცენტრაცია, რომლის დროსაც მონაკვეთის სიგრძე უცვლელი რჩებოდა
	KNO <sub>3</sub> (მლ)	H <sub>2</sub> O(მლ)	სსნარში მოთავსებამდე	სსნარში მოთავსების შემდეგ	
0,4	4	6			
0,3	3	7			
0,2	2	8			
0,1	1	9			
წყალი	–	10			

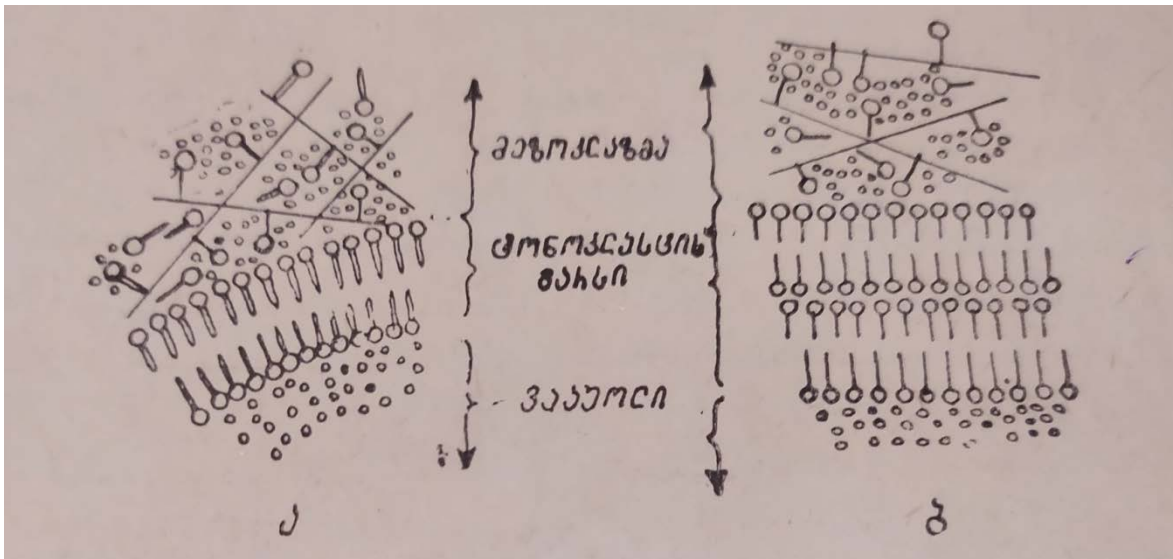
**სამუშაო 4.**

**უჯრედის წვენის უონვალობა ცოცხალ და მოკლულ პროტოპლაზმაში**

პროტოპლაზმის უონვალობა (შელწვევალობა) დამოკიდებულია მის სტრუქტურულ ნაირთვისობრიობაზე, აქტიურ ცხოველმყოფელობაზე, გარემო პირობებზე და სხვა. ცოცხალი უჯრედის პროტოპლაზმაში სამი შრეა: გარეთა – პლაზმალემა, რომელიც უშუალოდ ეკვრის ცელულოზოვან გარსს; შუა–მემბოპლაზმა (ციტოპლაზმა) და შიგნითა, რომლითაც მემბოპლაზმა გამოყოფილია ვაკუოლისაგან – ტონოპლასტი. პროტოპლაზმის ეს არაერთგვაროვნება შეპირობადებულია დასახელებული შრეების ქიმიური ნაირთვისებრიობით. მიღებულია, რომ პლაზმალემა და ტონოპლასტი



ლიპოიდური ნივთიერებების უფრო მეტ რაოდენობას შეიცავენ, ვიდრე მეზოპლაზმა, ისინი აგრეთვე გამყოფ მემბრანებადაც გვევლინებიან, გარკვეულ ენერგიას შეიცავენ და ფიზიკის კანონის თანახმად მინიმუმისაკენ იღვნიან. ასეთი სტრუქტურა ყველა მემბრანისათვის არის დამახასიათებელი. მითითებულია, რომ პროტოპლაზმის მემბრანული სტრუქტურა ლიპოიდების მოლეკულათა ორი შრით არის შეპირობებული, რომელიც გარშემორტყმულნი არიან ცილის ორი მონომოლეკულური შრით. პროტოპლაზმის შრებს შორის უფრო შეუღწევადია ტინოპლასტი. იგი ლიპოიდების შედარებით მეტ რაოდენობას შეიცავს. შედარებით უფრო შეღწევადი პლაზმალემაა, ხოლო მეზოპლაზმა კიდევ უფრო მეტად შეღწევადია (იხ. სურ. 4).



სურ. 4. ტონოპლასტის მემბრანის სუბმიკროსკოპული აგებულების სქემა, რომელიც შედგება პოლარული ლიპოიდური მოლეკულებისაგან: ა – ბიომოლეკულური ატესკი (მემბრანა); ბ – პოლიმომოლეკულური ატესკი მსხვილი თეთრი წრეები – ლიპოიდების ჰიდროფილური ჯგუფებია; შავი ხაზები – ლიპოიდების ჰიდროფობური ჯგუფები; წვრილი თეთრი წრეები – წყლის მოლეკულები.

პროტოპლაზმის შეღწევადობა ყოველთვის ერთნაირი არაა. იგი ეცვლება გარეგანი და შინაგანი პირობების (მაგალითად, მჟავათა ან ტუტეტა კათიონების თანაობის, ტემპერატურის, სინათლის, მცენარის ასაკისა და სხვა) მიხედვით.

პროტოპლაზმის ცხოველმოქმედებისათვის არახელსაყრელ პირობებში, მაგ. მაღალი ან დაბალი ტემპერატურის, ნარკოტიკებისა და შხამების მოქმედებისას და სხვა, შეიმჩნევა პროტოპლაზმის ნაწილობრივი ან მთლიანი კოაგულაცია (აჭრა). პლაზმის აგებულება ირღვევა. მისი მოლეკულები (მიცელები) ერთმანეთს ენეება და იქმნება აგრეგატები, რომელთა შორის წარმოიქმნება არხები. ამ არხების საშუალებით უჯრედის წვენი მასში გახსნილი ნივთიერებებით შეუფერხებლად აღწევს უჯრედის გარსის ცელულოზოვან ფორებში და გამოდის გარეთ.

ამრიგად, ცოცხალ პროტოპლაზმას აქვს თვისება შეაკავოს და არ გაატაროს უჯრედის წვენში არსებული ზოგიერთი ნივთიერება, როცა პროტოპლაზმა კვდება, იგი კარგავს ნივთიერებათა შერჩევით გამტარუნარიანობას და უჯრედის წვენში არსებული ნივთიერება თავისუფლად გამოდის გარეთ. უჯრედის წვენის გარეთ გამოსვლაზე დაკვირვების წარმოება ადვილია, განსაკუთრებით მაშინ, როდესაც წვენი შეფერილია.

**მასალა და მონაცემები:** 1. წითელი ჭარხალი; 2. 5 ცალი სინჯარა; 3. სადგარი; 4. კოლბა; 5. დანა; 6. საწვეთური 10 მლ–იანი დანაყოფებით; 7. რეაქტივები; ქლოროფორმი, 30%–იანი ძმარმჟავა და 50%–იანი სპირტი.

**მუშაობის მიმდინარეობა.** სუფთად გარეცხილი წითელი ჭარხლის რბილი ნაწილიდან გამოჭრიან თანაბარი ზომის 1,5–2 სმ სიგრძის, 0,5–0,7 სმ სიმაღლისა და სიგანის ნაჭრებს, კარგად გარეცხავენ წყალსადენის წყლით და თითო ნაჭერს მოათავსებენ ხუთ სინჯარაში.

### ცხრილი 3.

1 სინჯარა	2	3	4	5
წყალსადენის წყალი 10 მლ		10 მლ წყალსადენის წყალი 6 წვეთი ქლოროფორმი	10 მლ 30%-იანი მჟავა	10 მლ 50%-იანი სპირტი
აუღულებელი	აღულებული			

2 სინჯარის წყალსადენის წყალში მოთავსებულ ჭარხლის ნაჭერს აღულებენ ერთი წუთის განმავლობაში, შემდეგ გადაღვრიან ცხელ წყალს, გარეცხავენ და დაასხამენ ცივ წყალს. ყველა სინჯარას სადგარზე აჩერებენ ერთ საათს. შემდეგ თითოეულ სინჯარაში აღნიშნავენ ხსნარის შეფერვას და აკეთებენ დასკვნას, თუ როგორ იმოქმედა პროტოპლაზმის უონვადობაზე მაღალმა ტემპერატურამ, ნარკოზულმა ნივთიერებებმა (ქლოროფორმმა) და შხამებმა (ძმარმჟავამ და სპირტმა).

### სამუშაო 5.

#### საღებავების დაგროვება ვაკუოლებში

**მასალა და მოწყობილობა:** 1. ხახვი; 2. ელოდვას ფოთლები; 3. ქიმიური ჭიქები 100 მლ–იანი; 4. მიკროსკოპი; 5. სასაგნე და საფარი მინები; 6. პინცეტი; 7. მინის წკირი; 8. ნეიტრალური წითელი საღებავის ხსნარი (1:1000); 9.  $KNO_3$ -ის მოლური ხსნარი; 10.  $NH_4OH$ .

**მუშაობის მიმდინარეობა.** ხახვის ბოლქვის ზედა ეპიდერმისის ნაჭერს ან ელოდეას ტოტს 20 წუთით ათავსებენ ნეიტრალურ წითელ სუსტ ხსნარში. შემდეგ ამზადებენ ეპიდერმისის ან ელოდეას ფოთლის პრეპარატს და მიკროსკოპში სინჯავენ ჯერ პატარა, ხოლო შემდეგ საშუალო გადიდებით. ნეიტრალურ წითელ საღებავში მოთავსებული ხახვის ეპიდერმისის ან ელოდეას ფოთლის ცოცხალი უჯრედების პლაზმა და ბირთვი არ შეიღებება, ხოლო ვაკუოლი ჟოლოსფერად იღებება.

ვაკუოლშეღებილი უჯრედები ცოცხალია, რაც ადვილად მონშდება პლაზმოლიზით. დამუშავებულ და საფარი მინის ქვეშ სასაგნე მინაზე მოთავსებულ მასალას ფილტრის ქაღალდით გამოაცლიან წყალს და უმატებენ მის შესაბამის  $KNO_3$ -ის მოლურ ხსნარს, რის შემდეგაც მიიღება პლაზმოლიზი. ვაკუოლში საღებავდაგროვილი უჯრედების პლაზმოლიზი მათი სიცოცხლის უტყუარი დამადასტურებელია.

უჯრედის წვენი ჟოლოსფერად შეღებვა მჯავე რეაქციის მაჩვენებელია. ამაში დასარწმუნებლად საჭიროა მინის ქვეშ დავასხათ ერთი წვეთი  $NH_4OH$ ; ტუტის მოქმედებით ვაკუოლი სწრაფად შეიღებება ყვითლად.

მკვდარი უჯრედების ვაკუოლში საღებავების დაგროვება არ ხდება, ხოლო პროტოპლაზმა და ბირთვი ინტენსიურად იღებება.

## **სამუშაო 6.**

### **პიგმენტთა სპირტული გამონაწერის მომზადება**

ქლოროპლასტები მწვანე ფერისაა, ისინი განლაგებულია ციტოპლაზმაში. მათი ზომაა 1–10 მკ. საერთო რაოდენობა მაგალითად მოზრდილ მუხაში, ფართობით შეიძლება 2 ჰა–ს აღწევდეს. პლასტიდებში განლაგებულია ქლოროფილი. ა. ტაბენკის

თანახმად მცენარის ონთოგენეზში ქლოროპლასტებიც იცვლება. ახალგაზრდა ფოთლებში მათი წვრილგრანულოვანი სტრუქტურა შეინიშნება, ზრდადამთავრებულში – მსხვილგრანულოვანი. ხნიერ ფოთლებში შეინიშნება ქლოროპლასტების დაშლა. ქლოროპლასტთა მშრალ ნივთიერებაში ცილა 20–45%–ია, ლიპოიდები – 20–40%, ნახშირწყლები და სხვა სამარაგო ნივთიერებანი – 10–12%, მინერალური ელემენტები – 10%, მწვანე პიგმენტები – 5–10%, კოროტინოიდები – 1–2%. მცირე რაოდენობით რიბონუკლეინმჟავას (რნმ) და დეზოქსირიბონუკლეინმჟავასაც (დნმ) შეიცავს.

**ქლოროპლასტებში** წყალი 75%–ია. ბევრია მასში ჰიდროლიზური და უანგვა – აღმდგენელი ფერმენტები. სისაკიანის გამოკვლევებით ქლოროპლასტებში მრავალი ფერმენტის სინთეზი ხდება.

**პიგმენტებიდან** შეიძლება დავასახელოთ მწვანე ქლოროფილი – ა და ქლოროფილი – ბ, ხოლო ყვითელიდან კაროტინი და ქსანთოფილი (კაროტინოიდებია). ქლოროფილის შემცველობა მცენარის წონის 1%–ია. დღეისათვის ქლოროფილების ჯგუფში შემავალი 1% პიგმენტია ცნობილი. ისინი ერთმანეთისაგან სტრუქტურული თვისებებით განსხვავდებიან. ზემოჩამოთვლილი პიგმენტები წყალში არ იხსნება, მაგრამ, კარგად იხსნება სპირტში, ბენზინსა და აცეტონში.

ქლოროფილში ცენტრალური ადგილი მეტალმაგნიუმს უკავია და, როგორც ირკვევა მწვანე ფერსაც სწორედ ის აძლევს. ფოთოლში ა – ქლოროფილი სამჯერ მეტია, ვიდრე – ბ.

მცენარეში ქლოროფილის რაოდენობა დამოკიდებულია მცენარის ბიოლოგიურ თავისებურებებზე, ფოთლის ასაკსა და გარემო პირობების მრავალ ფაქტორზე (თესვა–მოყვანის წესი, კლიმატურ–ნიადაგური პირობები, კვების პირობები და სხვ.).

**მასალა და მონულობილობა:** 1. რომელიმე მცენარის (ხორბლოვანების, ჭინჭრის ან სხვ.) ახალი ან გამხმარი ფოთლები; 2. მაკრატლები; 3. ფაიფურის სანაყი; 4. სინჯარები;

5. ძაბრები; 6. სპირტნათურა ან ელექტროქურა; 7. საცობიანი ქილები (პატარა ზომის); 8. 95%-იანი სპირტი; 9. ფილტრის ქალაღი.

**მუშაობის მიმდინარეობა.** ახალ (ნედლ) ან გამხმარ ფოთლებს მაკრატლით წმინდად (წვრილად) ჭრიან და სრესენ ფაიფურის სანაყში, ფოთლების უკეთ მოსასრესად (განსაკუთრებით როდესაც უხემ ფოთლებთან გვაქვს საქმე) კარგია მცირე რაოდენობით ჩავამატოთ კვარცის ქვიშა და სპირტი. გასასრეს ფოთლებზე ასხამენ ეთილის სპირტს და მის სრესას-მონაყვას აგძელებენ, სპირტის ინტენსიურ მწვანე ფერად შეღებვამდე. მიღებულ სპირტულ გამონაწურს სუფთა მშრალ სინჯარაში ან ქილაში ფილტრავენ მშრალი ფილტრით.

მწვანე სპირტული ხსნარი წარმოადგენს პიგმენტების ნარევ ხსნარს:

• მწვანეები: ქლოროფილი – ა  $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$ ;

ქლოროფილი – ბ  $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$ ;

• ყვითელი: კაროტინი –  $C_{40}H_{56}$ ;

ქსანტოფილი –  $C_{40}H_{56}O_2$ .

თუ სპირტული გამონაწურის შენახვა საჭიროა რამდენიმე დღეს, ჭურჭელი, რომელშიც იგია ჩასხმული, უნდა დაიხუროს საცობით და მოთავსდეს ბნელ ადგილას, რადგანაც სინათლისა და ჟანგბადის მოქმედების პირობებში ქლოროფილის გამონაწური სწრაფად იშლება, კარგავს დამახასიათებელ მწვანე ფერს და მურა-წაბლისფერი ხდება.

## სამუშაო 7.

### კაროტინის ხსნარის დამზადება

**მასალა და მოწყობილობა:** 1.სტაფილო, 2.ბენზინი, 3. სინჯარა

**მუშაობის მიმდინარეობა:**სტაფილო დავჭრათ და დავაქუცმაცოთ, მოვათავსოთ სინჯარაში, დავასხათ ბენზინი და გავჩეროთ რამოდენიმე ხანი. მივიღებთ მოყვითალო ფერის ხსნარს (კაროტინის ხსნარს).

## **სამუშაო8.**

### **პიგმენტების ერთმანეთისაგან დაცილება(კრაუსის მეთოდით)**

**მასალა და მოწყობილობა:** 1. ფოთლის პიგმენტების სპირტული გამონაწერი; 2. ბენზინი; 3. წყალი; 4. პიპეტები; 5. მენზურები.

**მუშაობის მიმდინარეობა:** პიგმენტების ერთმანეთისაგან დაცილების ეს ხერხი ემყარება სპირტსა და ბენზინში ამ პიგმენტთა განსხვავებული ხსნადობის უნარს.

სინჯარაში ასხამენ 4–5 მლ სპირტულ გამონაწერს და 6–8 მლ ბენზინს. სპირტი რომ არ შეერიოს ბენზინში უმატებენ რამდენიმე (2–5) წვეთ წყალს. შემდეგ სინჯარას აჭერენ ღიდ თითს, რამდენჯერმე ძლიერად შეანჯღრევენ და დგამენ დასაწდობად. სინჯარაში ხსნარი ორ შრედ გაიყოფა. ბენზინი, როგორც უფრო მსუბუქი, ზევით მოექცევა, ხოლო სპირტი ქვევით, სპირტული შრე შეიღებება ყვითლად, რადგან მასში არის ყვითელი ფერის პიგმენტი ქსანთოფილი, ხოლო ბენზინის შრე მწვანედ (მასში მწვანე ფერის პიგმენტების – ქლოროფილების არსებობის გამო). მეორე ყვითელი პიგმენტი – კაროტინი ბენზინის შრეში გადავა.

## სამუშაო 9.

### პიგმენტების დაცილების ქრომატოგრაფიული მეთოდი

პიგმენტების ერთმანეთისაგან დაცილება შეიძლება მ.ცვეტის მიერ შემუშავებული ქრომატოგრაფიული წესითაც.

ფილტრის ქალაღზე პიგმენტების ადსორბციის მეთოდმა ქალაღის ქრომატოგრაფიის მეთოდის სახელწოდება მიიღო. როგორც წინა სამუშაოებში აღინიშნა, პიგმენტებს აქვს არაერთნაირი გახსნისა და განსხვავებული ადსორბციის უნარი, ამიტომ ისინი ფილტრის ქალაღის ზოღზე გამხსნელთან ერთად განსხვავებული სისწრაფით გადაინაცვლებენ. რაც უფრო ცუდად ადსორბცირდება პიგმენტი, მით ურო სწრაფად და მალლა ინევს ის ფილტრის ქალაღზე. ყველაზე უკეთ მწვანე პიგმენტები ა და ბ ადსორბცირდება, შემდეგ ქსანტოფილი. ფილტრის ქალაღის ზოღზე ყველაზე უფრო მალლა ინევს კაროტინი.

## სამუშაო 10.

### ქლოროფილის ფლოუორესცენცია

მასალა და მონყობილობა: 1. ქლოროფილის სპირტული გამონაწური; 2. სინჯარები; 3. შავი ეკრანი.

მუშაობის მიმდინარეობა. სინჯარაში ჩასხმულ ქლოროფილის გამონაწურს გამავალ სინათლეზე მომწვანო-ზურმუხტოვანი ფერი აქვს. თუ მას არეკვლილ სინათლეზე გავსინჯავთ, ე.ი. იმავე მხრიდან, საიდანაც სინათლე ეცემა, და ამავე დროს სინჯარის უკან შავ მაუდს ან სხვა რაიმე შავ საგანს დავიჭერთ, მაშინ ქლოროფილის



გამონაწერი თითქოს ალუბლისფერ–წითელ შეფერადებას (გამოსხივებას) იძლევა. ეს მოვლენა იმას ამტკიცებს, რომ ქლოროფილს ფლუორესცენციის უნარი აქვს.

## სამუშაო 11.

### ფეოფიტინის მიღება და მისი წყალბადის ხელახლა მეტალით შენაცვლება

**მასალა და მოწყობილობა:** 1. ქლოროფილის სპირტული გამონაწერი; 2. მარილმჟავა; 3. ძმარმჟავა ან ძმარმჟავა სპილენძი; 4. სინჯარები; 5. პინცეტები; 6. სპირტნათურა ან ელექტროქურა.

**მუშაობის მიმდინარეობა.** ქლოროფილის სპირტული გამონაწერის 5–6 მლ–ს უმატებენ რამდენიმე წვეთ მარილმჟავას და ფრთხილად (ნელა) აურევენ. ქლოროფილის მწვანე–ზურმუხტოვანი ფერი ქრება და გამონაწერი მურა–წაბლისფერი ხდება. მჟავას მოქმედებით ქლოროფილის მოლეკულას სცილდება მეტალი მაგნიუმი და მის ადგილზე ენაცვლება წყალბადი. წარმოიქმნება ფეოფიტინი. მჟავას მოქმედებით უკვე გაუფერულებულ (გამუქებულ) ქლოროფილის გამონაწერს უმატებენ მცირე რაოდენობის ძმარმჟავა–თუთიას ან ძმარმჟავა–სპილენძს და აცხელებენ სპირტნათურაზე. მურა–წაბლისფერი თანდათან გაქრება და გამონაწერი ისევ მწვანე ფერს მიიღებს, რადგან ადგილი ექნება ფეოფიტინის წყალბადის მეტალით შენაცვლებას.

## სამუშაო 12.

### ტუტეების მოქმედება ქლოროფილზე

**მასალა და მონაცობილობა:** 1. ქლოროფილის სპირტული გამონაწერი; 2. ბენზინი; 3. წყალი; 4. ნატრიუმის (NaOH-ის 10%-იანი ხსნარი) ან კალიუმის ტუტე (KOH-ის 10%-იანი ხსნარი); 5. სინჯარები; 6. ელექტროქურა.

**მუშაობის მიმდინარეობა.** ქლოროფილის სპირტული გამონაწერის 5 მლ-ს უმატებენ 1 მლ ტუტეს (NaOH ან KOH) და აცხელებენ 2–3-ჯერ ადულებამდე. კიდევ ასხამენ ბენზინის 5 მლ-ს მოცულობას, 2–3 მლ წყალს და შეანჯღევენ. არევის შემდეგ პიგმენტები დაიყოფა (იმის შებრუნებული სახით, რაც კრაუსის რეაქციის დროს მიიღებოდა). ზემო (ბენზინის) შრეში აღმოჩნდება ორივე ყვითელი პიგმენტი, ხოლო ქვემო (წყალსპირტოვან შრეში) – სპირტული ტუტის მოქმედებით წარმოქმნილი წყალში ხსნადი დიკარბონმჟავას ტუტე მარილი, რომელსაც ისეთივე მწვანე შეფერვა აქვს, როგორიც ქლოროფილს.

## სამუშაო 13.

### სინათლის მოქმედება ქლოროფილზე

**მასალა და მონაცობილობა:** 1. ქლოროფილის სპირტული გამონაწერი; 2. შავი ქაღალდი.

**მუშაობის მიმდინარეობა.** ქლოროფილზე კაშკაშა სინათლის მოქმედების გამოსარკვევად აიღებენ 2 სინჯარას, რომლებშიც ჩასხმულია ქლოროფილის გამონაწერი. ერთ მათგანს (ქლოროფილის სპირტულ გამონაწერიან სინჯარას) შეახვევენ შავ ქაღალდში. ორივე სინჯარას ათავსებენ მზის კაშკაშა სინათლეზე. მეორე დღეს ხსნარის შეფერვაში შეიმჩნევა განსხვავება. შავ ქაღალდში შეხვეულ სინჯარაში ჩასხმულ ქლოროფილს თავისი მწვანე ფერი შერჩება, ხოლო მეორეში მწვანე ფერი მურა ფერით შეიცვლება.

## სამუშაო 14.

### ჟანგბადის გავლენა ქლოროფილზე

**მასალა და მოწყობილობა:** 1. ქლოროფილის სპირტული გამონაწერი; 2. საცობი; 3. პარათინი; 4. ელექტროქურა.

**მუშაობის მიმდინარეობა.** ორ სინჯარაში ასხამენ ქლოროფილის სპირტულ გამონაწერს, ერთს მთლად აავსებენ, ხოლო მეორეს –  $1/2$  ან  $1/3$ -მდე. ორივე სინჯარას დაუცობენ საცობს და ერთ-ერთს (საფსეს) მოასხამენ პარათინს. შემდეგ ორივე სინჯარას გადგამენ კაშკაშა სინათლეზე. რამდენიმე დღის შემდეგ აღნიშნავენ განსხვავებას. იმ სინჯარაში, რომელშიც ჰაერი მოძრაობდა, ქლოროფილი მურა ფერს მიიღებს, ხოლო კარგად თავდახურულ სინჯარაში მწვანე შეფერვას შეინარჩუნებს. ეს ამტკიცებს, რომ სინათლეზე ქლოროფილი იშლება ჟანგბადის მოქმედებით.

## სამუშაო 15.

### ფოტოსინთეზის დამოკიდებულება სინათლის ინტენსივობასთან

**მასალა და მოწყობილობა:** 1. ელოდია ან სხვა წყლის მცენარე; 2. საჭმელი სოდა; 3. სინჯარები; 4. მაკრატლები; 5. ქილები ან მინის ცილინდრები; 6. წამწომი ან საათი; 7.

გამოხდილი წყალი; 8. 4%-იანი შაბიამნის ხსნარი; 9. ამიაკი; 10. 1%-იანი ორქრომიანი კალიუმის ხსნარი; 11. 500 მლ–იანი კოლბა; 12. მიღები ნატრიუმიანი კირით.

ფოტოსინთეზი, როგორც სხვა ფიზიოლოგიური პროცესი, დამოკიდებულია გარემო პირობებზე. მისი თვალსაჩინოდ დანახვა ადვილად შეიძლება წყლის მცენარეებზე მარტივი ცდების ჩატარებისას.

ავილოთ წყლის მცენარე ვალესნერია ან უმჯობესია ელოდია. შევარჩიოთ 6–8 სმ სიგრძის საღი შეფოთლილი ღერო, რომელსაც დაუზიანებელი ზრდის კონუსი აქვს. ტოტი წყალში გადავჭრათ. სინჯარას, რომელშიც შებრუნებულად მოჭრილი ტოტია, ათავსებენ წყლიან ქილაში ან მინის ცილინდრში. ცდის დროს წყლისა და გარემოს ტემპერატურა ერთნაირი უნდა იყოს, რისთვისაც ცილინდრში ათავსებენ თერმომეტრს და არეგულირებენ ტემპერატურას.

ცდის დაწყებისას ხელსაწყოს, რომელშიც მცენარეა ჩადგმული, დგამენ ძლიერ განათებულ ადგილზე. ტოტის გადანაჭერიდან გაზის ბუშტები დაიწყებს გამოსვლას. როცა ბუშტების გამოსვლა თანაბარი დროის დაყოვნებით დაიწყება, წამმზომით ითვლიან დროის ერთეულში (მაგ., ერთ წუთში) გამოყოფილი ბუშტების რაოდენობას. ათვლა ხდება დროგამოშვებით, სულ სამჯერ, შემდეგ სამი ანათვალიდან გამოჰყავთ საშუალო რიცხვი. ამის შემდეგ ცდა ტარდება გაფანტულ სინათლეზე. ხელსაწყო ტოტიანად გადააქვთ არცთუ ძალიან დაჩრდილულ ადგილზე (ე.ი. ნაკლები განათების პირობებში). ან ხელსაწყოს შემოაფარებენ თეთრ ქალაღს და ისე დაჩრდილავენ. დაკვირვებას იგივე წესით აწარმოებენ. ცდის დამთავრების შემდეგ ადარებენ კაშკაში მზის სხივებით განათების დროს და ჩრდილის პირობებში გამოყოფილი ბუშტების რაოდენობას. მიღებული შედეგის მიხედვით გამოაქვთ დასკვნა ფოტოსინთეზის პროცესზე სინათლის ინტენსივობის გავლენის შესახებ.

ბუშტების ათვლით ვრწმუნდებით, რომ ერთი წუთის განმავლობაში გამოყოფილი ბუშტების რაოდენობა გაფანტული სინათლის დროს ნაკლებია, ხოლო პირდაპირ სინათლეზე – მეტია. ეს კი ნათლად მიუთითებს, რომ ფოტოსინთეზის სიდიდე ბევრადაა დამოკიდებული სინათლის ინტენსივობაზე.

## სამუშაო 16.

### სპექტრის სხვადასხვა ფერის სხივების გავლენა ფოტოსინთეზის პროცესზე

ტიმირიაზევის გამოკვლევებამდე იყო აზრი, რომ თითქოს ფოტოსინთეზი ყველაზე ძლიერად ყვითელ (ენერგიით ღარიბ) ფერებში წარმოებდა. ტიმირიაზემა მის მიერ კონსტრუირებული ხელსაწყოთი ფოტოსინთეზი სპექტრის შემადგენელი სხვადასხვა ფერით ცალ-ცალკე აწარმოვა. დადგინდა, რომ წითელი ფერით განათებული ფოთლის უბანი მეტი რაოდენობით სახამებელს აგროვებდა. ბევრი იყო სახამებელი აგრეთვე ფოთოლზე მოქმედი სპექტრის ლურჯ-ისფერ ნაწილში, ე.ი. იქ, სადაც ყველაზე უფრო ინტენსიურად ხდებოდა ქლოროფილისაგან სინათლის შთანთქმა.

ფიზიკოსთა მიერ სინათლის კვანტური თეორიის დამუშავებამ ნათელი გახადა წითელ ფერებში ფოტოსინთეზის მაქსიმალურად მიმდინარეობა. დადგინდა, რომ კვანტის სიდიდე ტალღის სიგრძის მიხედვით იცვლება. რაც უფრო გრძელია ტალღის სიგრძე, მით უფრო ნაკლებია კვანტის სიდიდე. გრძელტალღიან წითელ სხივებს პატარა ზომისა და მეტი რაოდენობის კვანტები აქვთ, რის გამოც ისინი ფოტოქიმიურად

უფრო პროდუქტიული არიან ფოტოსინთეზის პირველი ფოტოქიმიური ფაზის ჯეროვანი სისწრაფით წარმართვისათვის. სწორედ ამ გარემოებას (ე.ი. მცირე ზომის და რიცხობრივად მეტ კვანტებს) აქვს გადამწყვეტი მნიშვნელობა.

ისიც დადგინდა, რომ ფოთოლზე დაცემული ენერჯის ნაწილი აირეკლება, ან ფოთლის რბილობში გაივლის. უნდა მივიღოთ, რომ ფოთოლი მასზე დაცემული ენერჯის დაახლოებით 85–90%–ს შთანთქავს, მაგრამ ენერჯის ამ რაოდენობიდან ფოტოსინთეზზე 1–5% (იშვიათად 10%–მდე) გამოიყენება. ფოთლის მიერ შთანთქმული ენერჯის 90%–ზე მეტი თბურ ენერჯიაში გადადის და ხმარდება წყლის გაზისებურ მდგომარეობაში გადაყვანასა და ტრანსპირაციის პროცესს.

ამ სამუშაოს ჩატარების მიზანია სტუდენტებმა ნახონ – სხვადასხვა ფერში როგორი განსხვავებულობით არის წარმოდგენილი ფოტოსინთეზის პროცესი, რომელ ფერში უფრო ძლიერია იგი და სხვ.

**მასალა და მონაცემები:** 1. ელოდეთ ან სხვა წყლის მცენარე; 2. 250 – მლ–იანი სამი ქილა; 3. 10%–იანი ორქრომიანი კალიუმის ხსნარი; 4. 4%–იანი შაბიამნის ამიაკური ხსნარი; 5. ამიაკი; 6. საცობები; 7. სინჯარები; 8. ელექტრონათურა.

**მუშაობის მიმდინარეობა.** ცდისათვის იღებენ ერთნაირი მოცულობისა და ფორმის სამ სამასალო ქილას, შიგ ასხამენ ქიმიურ ხსნარებს, რომლებიც ასრულებენ ფერადი ეკრანის დანიშნულებას. ასეთი ხსნარებია: 1. 1%–იანი ორქრომიანი კალიუმის ხსნარი, რომელიც შთანთქავს სპექტრის ლურჯ–ისფერ სხივებს და ატარებს წითელს; 2. 40%–იანი შაბიამნის ამიაკური ხსნარი, რომელიც შთანთქავს სპექტრის წითელი ფერების ნახევარს და ატარებს ლურჯ–ისფერს.

შაბიამნის ამიაკური ხსნარი მზადდება შემდეგი წესით: იღებენ  $\text{CuSO}_3$  –ის 4%–იან ხსნარს, უმატებენ ამიაკს, სანამ დასაწყისში წარმოშობილი ნალექი არ გაიხსნება და ხსნარი არ მიიღებს კრიალა ლურჯ–ისფერს.

მესამე ქილაში ასხამენ სუფთა წყალს (უფერული ეკრანი). ქილებში საცობის საშუალებით ამაგრებენ სინჯარებს. ქილები და მასში ჩასადგმელი სინჯარები ისე უნდა შევარჩიოთ, რომ ქილების კედელსა და მასში ჩადგმული სინჯარის კედელს შორის მანძილი 1½ სმ-ს უდრიდეს. სავალდებულოა, რომ სამივე ქილაში სითხის სისქე ერთნაირი იყოს.

სინჯარაში შეაქვთ ელოდეას ტოტი, რომელიც აწარმოებს ფოტოსინთეზს. როდესაც ტოტის გადანაჭერიდან ბუბტების გამოყოფა ღროის თანაბარ მონაკვეთში ერთნაირი ინტენსივობით დაიწყება, შეუდგებიან გამოყოფილი ბუბტების აღრიცხვას.

ცდის თანამიმდევრობა ასეთია: ჯერ ელოდეასტოტიან სინჯარას ჩაუშვებენ ქილაში, რომელშიც სუფთა წყალია (უფერული ეკრანი), შემდეგ გადააქვთ ორქრომიან კალიუმის ხსნარში – წითელი ეკრანი, ხოლო შემდეგ იმ ქილაში, რომელშიც ამიაკის 4%-იანი ხსნარია – ლურჯი ეკრანი.

თითოეულ ხსნარში ბუბტებს ითვლიან ერთი წუთის განმავლობაში. ათვლას იმეორებენ დაახლოებით 5–6-ჯერ, ხოლო შემდეგ გამოჰყავთ საშუალო და ადარებენ ერთმანეთს.

ყოველ ხსნარში ცდა ერთსა და იმავე ელოდეას ტოტით წარმოებს. სხვადასხვა ტოტის გამოყენების შემთხვევაში შესაძლებელია თავი იჩინოს ინდივიდუალურმა თავისებურებამ და ბუბტები ისეთი განსხვავებული რაოდენობით გამოყოს, რაც შეცდომაში შეგვიყვანს.

მიღებული ციფრობრივი მონაცემები შეაქვთ ცხრილში 4.

ცხრილიდან ჩანს, რომ ბუბტები დიდი რაოდენობით გამოიყოფა თეთრ და წითელ სხივებში, ხოლო ლურჯ ფერში გამოყოფილი ჟანგბადის ბუბტების რაოდენობა მცირეა. მიღებული შედეგი მიგვითითებს, რომ ფოტოსინთეზი უფრო ინტენსიურად თეთრ და წითელ სხივებში მიმდინარეობს.

#### ცხრილი 4

#### ელოდეას ტოტის მიერ წუთში გამოყოფილი ბუშტების რაოდენობა

№	სპექტრის სხივები	ჟანგბადის ბუშტების რაოდენობა
1	თეთრი ეკრანი	140
2	წითელი ეკრანი	117
3	ლურჯი ეკრანი	22

#### სამუშაო 17.

#### ფოტოსინთეზის ქიმიზმი, ენერგეტიკა. სინათლეზე სახამებლის წარმოქმნა

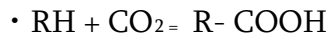
ქლოროფილი, რომელმაც სხივური ენერგია კვანტების სახით შთანთქმა, აღგზნო, ამიტომ უნარიანია ქიმიურ რეაქციაში. ერთი მოლეკულა ქლოროფილის აღგზნებისათვის ერთი კვანტია საჭირო, ამიტომ წითელი სხივები, რომლებსაც რიცხობრივად მეტი და პატარა კვანტები მოაქვს, მეტ მოლეკულას აღაგზნებს.

ქლოროფილის მიერ შთანთქმული მზის სხივის ენერგია გამოიყენება წყლის დასაშლელად. მთელი რიგი ეტაპების გავლით ხდება წყლის დაშლა წყალბადად და ჟანგბადად. ეს პროცესი წყლის ფოტოლიზად იწოდება. წყლის ჟანგბადი ატმოსფეროში გამოიყოფა, ხოლო წყალბადებით (სათანადო ფერმენტების დახმარებით) აღდგება ნახშირორჟანგა გაზი. მცენარეებში შესული ნახშირორჟანგა



გაზი ჯერ უკავშირდება რთულ ორგანულ ნივთიერებას, რომელიც პირობითად  $RH$ -ით აღინიშნება.

ეს პროცესი სქემატურად შეიძლება შემდეგნაირად აისახოს:



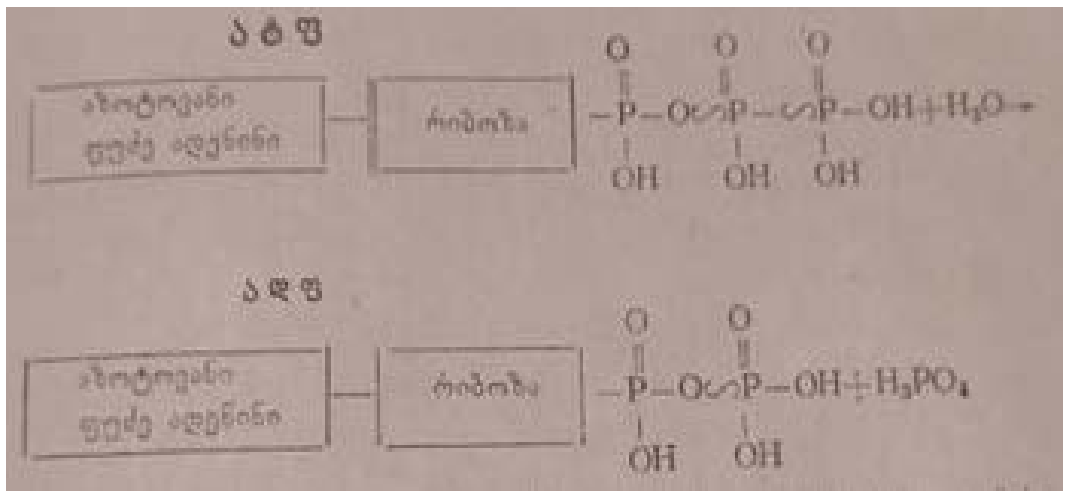
კალვინის თანახმად, ნივთიერება, რომელსაც  $CO_2$  უერთდება, წარმოადგენს რიბულეზობლიფოსფატს. ეს ნივთიერება სქემაში აღინიშნება  $RCOOH$ -ით და თავის მხრივ წარმოადგენს შუალედურ ექვსნახშირბადოვან პენაერთს, რომელიც შემდეგ იშლება 2 მოლეკულა ფოსფორ-გლიცერინმჟავად ( $CH_2OH - CHOP - COOH$ ). ეს ის ნივთიერებაა, რომელიც წყლის წყალბადებით აღდგება და მთელი რიგი რთული გარდაქმნების შედეგად იძლევა შაქრის მოლეკულას  $C_6H_{11}O$ . წარმოქმნილი შაქრის ერთი ნაწილი სუნთქვაზე იხარჯება, მეორე ნაწილი – უფრო რთული ნახშირწყლების (დისაქარიდების, სახამებლის, უჯრედისის) შესაქმნელად და ცილების სინთეზისათვის.

ფოტოსინთეზის პროცესში წარმოქმნილ ორგანულ ნივთიერებებში ადგილი აქვს ენერჯის დაგროვებას.

ფოტოსინთეზის ფორმულიდან ჩანს, რომ 6 მოლი ნახშირორჟანგისა და 6 მოლი წყლის გარდაქმნისას იკვრება 674 კკალ სხივური ენერჯია. შთანთქმული სინათლის ენერჯია შეიძლება გამოყენებული იქნეს ადენოზინტრიფოსფორმჟავას (ატფ) ტიპის პენაერთების სინთეზისათვის. არფ-ის მოლეკულას რთული აგებულება აქვს. იგი შედგება ამოტოვანი ფუძისაგან – ადენინისგან, შაქარ-რიბოზის და ფოსფორჯავას სამი ნარჩენისაგან. არფ-ში 2 მაკროერგული ფოსფორული კავშირია ( $\text{P}$ ), რომელთაც ენერჯის დიდი მარაგი აქვთ, თუ უბრალო კავშირების განწყვეტისას 2000–3000 კალორია თავისუფლდება, მაკროერგული კავშირის განწყვეტისას – 10 000 კალორია მიიღება.

ფერმენტების მოქმედებით ატფ-ში ადგილი აქვს ფოსფორსა და უანგბადს შორის კავშირის განწყვეტას. განთავისუფლებულ კავშირში ხდება წყლის მოლეკულის მიერთება, მოიხლიჩება ფოსფორმუჟავას მოლეკულა და ამ დროს ატფ გადადის ადენოზინდიფოსფატში – ადფ-ში, რომელსაც ერთი მაკროერგული კავშირი აქვს (სურ. 14). თუ ადფ-დან ფოსფორმუჟავა მოიხლიჩება, მაშინ მიიღება ადენოზინმონოფოსფატი, რომელსაც არა აქვს მაკროერგული კავშირი.

ფოტოსინთეზის პროცესში ატფ-ის წარმოქმნა მზის ენერჯიის ხარჯზე ხდება.



სურ. 5. ადენოზინტრიფოსფორმუჟავას (ატფ) აგებულების სქემა და მისი გადასვლა ადენოზინდიფოსფატში (ადფ).

**მასალა და მონწყობილობა:** 1. სიბნელეში ნამყოფი მცენარე; 2. მაკრატელი; 3. პინცენტი; 4. ნავთქურა; 5. წყლის აბაზანა; 6. ქიმიური ჭიქები; 7. სპირტი; 8. იოდის ხსნარი; 9. თეთრი თევზები; 10. შავი მკვრივი ქაღალდი; 11. მკვრივი ქაღალდის ეკრანი; 12. სამაგრები.

**მუშაობის მიმდინარეობა.** ამ სამუშაოს ჩატარება შესაძლებლობას იძლევა სტუდენტები საფუძვლიანად გაერკვენ შემდეგ საკითხებში: 1. დაბნელების გავლენა

ფოთლის სახამებლისაგან დაცლაზე; 2. სინათლის ხანგრძლივობის გავლენა ფოთლებში სახამებლის წარმოშობაზე; 3. სახამებლის „ფიგურების“ (გამოხატულების) მიღება სხვადასხვა ფოთოლზე (ამ ცდებისათვის მცენარეთა შერჩევა); 4. სახამებლის ფიგურების მიღება ჭრელფოთლოვან მცენარეებში; 5. ფოტოგრაფია ფოთლებზე და სხვ.

ცდები წარმოებს ნაკვეთზე მოზარდ მცენარეებზე. მცენარეთა შერჩევა წინასწარ ხდება და შემდეგ აწარმოებენ ფოთლის დაბნელებას. შავი ფოტოგრაფიული ქაღალდისაგან ამზადებენ პარკებს, ჩამოაცმევენ ფოთლებზე და ამაგრებენ სათანადო სამაგრებით. ცდისათვის იღებენ რამდენიმე ვარიანტს შემდეგი ხანგრძლივობით.

1-ლი ვარიანტი – დაბნელება	96	საათის	განმავლობაში
მე-2	72	„	„
მე-3	48	„	„
მე-4	24	„	„

ამ ვადების გავლის შემდეგ დაბნელებული პარკიდან იღებენ ფოთლებს და განსაზღვრავენ იოდის რეაქტივით. ადგენენ სახამებლისაგან ფოთლის დაცლისათვის საჭირო დროს ირკვევა, რომ სახამებლისაგან სხვადასხვა მცენარის ფოთლის საესებით დასაცლელად საჭიროა სხვადასხვა დრო. მაგალითად, ლობიოსა და დედოფლის ყვავილის ფოთლები რომ სახამებლისაგან მთლიანად დაიცალოს, საჭიროა 96. საათი ამავე დროში ფურუსულას ფოთლები სახამებლისაგან მხოლოდ ნაწილობრივ იცვლება, ხოლო მზესუმზირას ფოთლები სახამებლისაგან 24 საათში იცვლება.

შავი პარკებიდან ამოღებულ ფოთლებს უკეთებენ რაიმე ფიგურებს და ტოვებენ სინათლეზე. გარკვეული დროის (მაგ., 2 საათის, 4 საათის) შემდეგ მცენარეს აჭრიან ფოთლებს და მოკვლის მიზნით 2-3 წუთს აჩერებენ მდულარე წყალში. მკვდარ

ფოთლებს ქლოროფილის გამოსაცლელად ასხამენ სპირტს. ყოველივე ამის შემდეგ ათავსებენ თეთრ თეფშზე და უმატებენ J+JK-ის ხსნარს (ასხამენ რეაქტივს). ფოთლის ის ნაწილები, რომლებზედაც სინათლის სხივი ეცემოდა სახამებლის დაგროვების გამო ლურჯად შეიღებება. (სახამებელი იოდით ლურჯად იფერება), ხოლო დაბნელებული ნაწილები შეუფერავი დარჩება, რადგან ამ ნაწილებში სინათლის სხივები არ ხვდებოდა, არც ფოტოსინთეზი ხდებოდა და მაშასადამე, არც სახამებელი დაგროვილა, ამიტომ იოდკალიუმის ხსნარმაც არავითარი რეაქცია არ მოგვცა.

**ცხრილი 5.**

**სახამებლისაგან ზოგიერთი მცენარის ფოთლების დაცლისათვის საჭირო დროს**

№	მცენარე	დაბნელების ხანგრძლივობა			
		96 სთ	72 სთ	48 სთ	24 სთ
1	ფურუსულა	ნაწილობრივ დაიცალა	არ არის დაცლილი	არ არის დაცლილი	არ არის დაცლილი
2	გერანი	მთლიანად დაიცალა	მთლიანად დაიცალა	ნაწილობრივ დაიცალა	არ არის დაცლილი
3	სიმინდი	–	ნაწილობრივ დაიცალა	არ არის დაცლილი	არ არის დაცლილი
4	დედოფლის ყვავილი	–	–	–	–
5	მზესუმზირა	მთლიანად დაიცალა	მთლიანად დაიცალა	მთლიანად დაიცალა	მთლიანად დაიცალა

6	ლობიო	-	ნაწილობრივ დაიცალა	არ არის დაცლილი	არ არის დაცლილი
7	სოია	-	მთლიანად დაიცალა	ნაწილობრივ დაიცალა	-
8	იასამანი	-	ნაწილობრივ დაიცალა	არ არის დაცლილი	-
9	თამბაქო	-	-	-	-

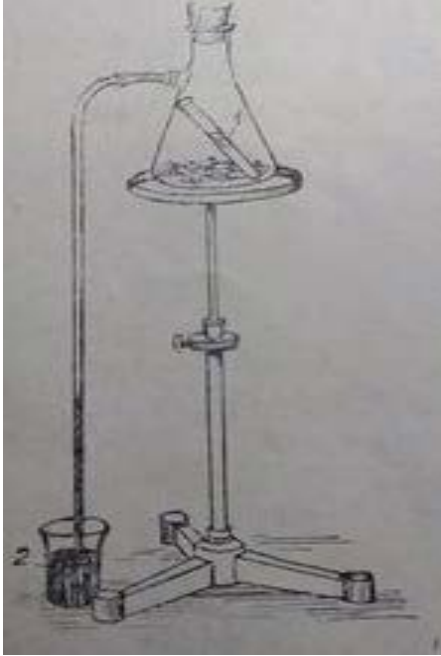
## სამუშაო 18.

### დაკვირვება მალივარი თესლების მიერ სუნთქვის დროს შთანთქმულ ჟანგბადზე

**მასალა და მონაცემები:** 1. ხორბლის მალივარი თესლები; 2. სუნთქვის ხელსაწყო – ბენზინის კოლბა; 3. შეფერილი სითხე; 4. კორპის საცობი კოლბის დასახურავად; 5. კვარი; 6. მინის მილები; 7. სინჯარები KOH-ის ხსნარით.

**მუშაობის მიმდინარეობა.** კოლბში ყრიან მალივარ თესლებს, რომლებზედაც ვერტიკალურად დგამენ სინჯარას. სინჯარაში ჩასხმულია KOH. კოლბის ყელი მჭიდროდაა დაცული კაუჩუკის საცობით. სუნთქვის პროცესში გაღივებული თესლები შთანთქავენ ჟანგბადს, ხოლო ამ დროს გამოყოფილ ნახშირორჟანგს ტუტე შთანთქავს. კოლბაში გაზის მოცულობა შემცირდება და კოლბიდან გამოსულ მილში შეფერილი სითხე აიწევს.

სამასალო ქილაში ყრიან მაღივარ თესლებს, კარგად დაახურავენ კორპის საცობს და დგამენ ბნელ ადგილას. მეორე დღეს ქილას ახდიან საცობს და შეაქვთ შიგ ანთებული კვარი. კვარი ჩაქრება, რადგან ქილაში მოხდა ნახშირორჟანგის ( $\text{CO}_2$ ) დაგროვება (სურ. 6).



სურ. 6. სუნთქვის დროს შთანთქმული ჟანგბადის აღსარიცხავი ხელსაწყო:

1. მწვავე კალიუმის ხსნარი; 2. შეფერილი სითხე.

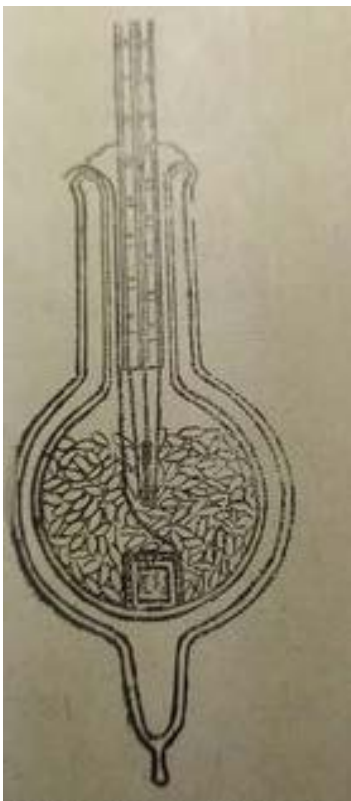
## სამუშაო 19.

### დაკვირვება სუნთქვის დროს გამოყოფილ ტემპერატურაზე

მასალა და მოწყობილობა: 1. დიუარის ხელსაწყო; 2. 0,1 დანაყოფებიანი მგრძნობიარე თერმომეტრი; 3. ბამბა; 4. ბოუქსი; 5. NaOH-ის 5–10%-იანი ხსნარი; 6. მაღივარი თესლები.

მუშაობის მიმდინარეობა. 2-3 კგ ხორბალს ასველებენ წყალში 12 საათის განმავლობაში და აღივებენ განიერ კრისტალიზატორებში ან სხვა რაიმე შესაფერ კურჭელში ნოტიო ფილტრის ქაღალდზე. გაღივებული ხორბალი შემდეგ გადააქვთ დიუარის ჭურჭელში (სურ. 7), ან თერმოსის რეზერვუარში, რომელიც კარგად არის დაცული სითბოს დაკარგვისაგან. ჭურჭლის ფსკერზე წინასწარ მოათავსებენ ზონარშებულ მწვავეტუტიან პატარა ჭიქას. ეს ტუტე შთანთქავს სუნთქვის დროს გამოყოფილ  $\text{CO}_2$ -ს. მარცვლები რომ შიგ არ ჩაცვივდეს ჭიქის პირზე გადააკრავენ დოღბანდს. ჭურჭლის გავსების შემდეგ შიგ ჩაუშვებენ თერმომეტრს ისე რომ, ვერცხლისწყლის ბუბტი მოხვდეს ჭურჭელში ჩაყრილი თესლის მასის შუაგულში. არე თერმომეტრსა და ჭურჭლის ყელს შუა უნდა ამოივსოს ბამბით, რომელიც არ უნდა იყოს ძალიან დატყეპნილი. რამდენიმე საათის შემდეგ სინჯავენ თერმომეტრის ჩვენებას.

ეს ცდა წარმოდგენას იძლევა რამდენად მაღალი ტემპერატურის განვითარება შეუძლიათ გაღივების დროს ენერგიულად მსუნთქავ თესლებს.



სურ. 7. ტემპერატურის გადიდება მაღივარი თესლების სუნთქვის დროს.

სამუშაო 20.

### სუნთქვის დროს გამოყოფილი CO<sub>2</sub>-ის აღრიცხვა

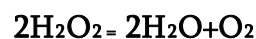
მასალა და მონაცემები: 1. კოლბა სუნთქვის აღრიცხვისათვის; 2. საცობი (კოლბას რომ კარგად ეცობოდეს); 3. მსუნთქავი მცენარეული მასალა (მაგ. მაღივარი თესლები); 4. ბარიტის ხსნარი.

მუშაობის მიმდინარეობა. სუნთქვის ინტენსივობის აღრიცხვა შეიძლება ჩავატაროთ ბარიტისხსნარიანი კოლბის საშუალებით, რომელიც შთანთქავს სუნთქვის დროს გამოყოფილ ნახშირორჟანგს. შემდგომ გატიტვრით ისაზღვრება სუნთქვის დროს გამოყოფილი ნახშირორჟანგის რაოდენობა.

სამუშაო 21.

### კატალაზას აქტივობის განსაზღვრა მცენარეულ ობიექტებში

კატალაზას აქტივობის განსაზღვრა დაფუძნებულია ამ ფერმენტის უნარზე – დაშალოს წყალბადის გეჟანგი წყლად და მოლეკულურ ჟანგბადად:



ამ დროს გამოყოფილი ჟანგბადის მოცულობა ფერმენტის აქტივობის მაჩვენებელია.



**მასალა და მონაცემები:** 1. კარტოფილის ტუბერის ღივები და რბილობი ან სხვა მცენარეული მასალა; 2. მდინარის გარეცხილი სილა; 3. ცარცის ფხვნილი; 4. ფაიფურისტუქიანი როდინი; 5. 3%-იანი წყალბადის ზეჯანგი; 6. 5 მლ–იანი პიპეტი; 7. 25 მლ დანაყოფიანი ცილინდრი; 8. კატალაზის განსასაზღვრავი ხელსაწყო; 9. წამწომი, ან საათი წამების საზომი ისრით.

**მუშაობის მიმდინარეობა.** 1 გ მცენარეულ მასალას კვარცის ფხვნილთან ერთად სრესენ ფაიფურის როდინში. ტუტე არის შესაქმნელად უმატებენ ცარცის ნამცეცებს (pH 7,7 – ოპტიმალურია მოცემული ფერმენტისათვის).

დასრესის დროს მცირე ულუფებით ასხამენ წყალს, რომლის საერთო მოცულობა უნდა შეადგენდეს 20 მლ–ს. მიღებული ნარევი შეაქვთ საკატალაზეს ერთ მუხლში, მეორე მუხლში კი – 5 მლ 3%-იანი წყალბადის ზეჯანგი. საკატალაზეს უერთებენ კაუჩუკის მილს ისე, რომ არ მოხდეს სითხეების ერთმანეთში შერევა. შემდეგ ხსნიან მომჭერს და ძაბრის გადანაცვლებით წყლის დონე ბიურეტში ნულამდე დაჰყავთ. კეტავენ მომჭერს და საკატალაზეს მდგომარეობის სწრაფი შეცვლით ორივე მუხლში ურევენ სითხეებს. საკატალაზეს განუწყვეტლივ ანჯღრევენ. ბიურეტში წყლის დონის დაწევის მიხედვით აღნიშნავენ ჟანგბადის მოცულობას მილილიტრობით, რომელიც გამოიყო 3 წუთის განმავლობაში.

ათვლის დროს წყალი მრგვალ ძაბრსა და ბიურეტში ერთ დონეზე უნდა იყოს გაჩერებული. განისაზღვროს კატალაზას აქტივობა კარტოფილის ტუბერებსა და ღივებში ან გერანის ახალგაზრდა და ხნიერ ფოთლებში.

**სამუშაო 22.**

## კატალაზას გამომჟღავნება კარტოფილის ტუბერის წვენში

**მასალა და მოწყობილობა:** 1. კარტოფილის ტუბერი; 2. ტუბერის გასახეხი; 3. ბიუქსის ჭიქები; 4. 3%-იანი  $H_2O_2$ ; 5. სინჯარები.

**მუშაობის მიმდინარეობა.** გასუფთავებულ კარტოფილის ტუბერს ხეხავენ სახეხზე, მისგან გამონურავენ წვენს და რამდენიმე წვეთ წყალბადის ზეჟანგის ძლიერ სუსტ ხსნართან (წყალბადის ზეჟანგის 3%-იანი ხსნარის 10 წვეთზე 5 მლ წყალი) ერთად ათავსებენ სინჯარაში. ხსნარი აქაფდება, რაც მოწმობს მოლეკულური ჟანგბადის წარმოქმნასა და გამოყოფას.

## სამუშაო 23.

### პეროქსიდაზის გამომჟღავნება კარტოფილის ტუბერის წვენში

პეროქსიდაზა ზეჟანგების ჟანგბადის, კერძოდ, წყალბადის ზეჟანგის მათქტივებელი ფერმენტია. წყალბადის ზეჟანგის დამჟანგველი უნარი ღიღდება პეროქსიდაზის მოქმედებით. ამაზე დაფუძნებული ამ ფერმენტის გამომჟღავნების მეთოდი.

**მასალა და მოწყობილობა:** 1. კარტოფილის ტუბერი; 2. დანა; 3. სახეხი; 4. ღოღბანდი; 5. ძაბრი; 6. კოლბა; 7. სინჯარები სადგარი (შტატივით); 8.1მლ–იანი პიპეტები; 9. 1%-იანი ჰიდროქინონის ხსნარი; 10. 3%-იანი წყალბადის ზეჟანგის ხსნარი.

**მუშაობის მიმდინარეობა.** გასუფთავებულ კარტოფილის ტუბერს ხეხავენ სახეხზე, მისგან ღოღბანდში გამონურავენ წვენს და აგროვებენ კოლბაში. მოამზადებენ სამ

სინჯარას: პირველში შეაქვთ ხუთი მლ 1%-იანი ჰიდროქინონის ხსნარი, 1 მლ 3%-იანი წყალბადის ზეჟანგის ხსნარი; 1 მლ კარტოფილის წვენი; მეორეში – 5 მლ 1%-იანი ჰიდროქინონის ხსნარი და 1 მლ 3%-იანი წყალბადის ზეჟანგის ხსნარი; მესამეში – 5 მლ 1%-იანი ჰიდროქინონის ხსნარი და 1 მლ კარტოფილის ტუბერის წვენი.

ხსნარის სწრაფი გარუხება, რაც ჰიდროქინონის ქინონად ენერგიულ დაჟანგვას მოწმობს, ხდება მხოლოდ პირველ სინჯარაში, რომელშიც მოთავსებული იყო დასაჟანგავი ნივთიერება, წყალბადის ზეჟანგი და პეროქსიდაზა.

## სამუშაო 24.

### ნაცრის რაოდენობის განსაზღვრა მცენარის სხვადასხვა ნაწილში

**მასალა და მოწყობილობა:** 1. ანალიზური სასწორი; 2. ექსეკატორი; 3. ჯამები; 4. ტიგელები (სახურავებით); 5. ფაიფურის სამკუთხედები; 6. ბუნზენის შტატივი რგოლებით; 7. სპირტისა და გაზის ნათურები; 8. ტიგელის მაშა; 9. 3%-იანი  $H_2O_2$ ,  $NH_4NO_3$ -ის ნაჯერი ხსნარი; 10. პიპეტისანი შუშები; 11. კარგად გამომშრალი ხეების ნაწილები დასაწვავად; 12. მერქნის დასაწვრილებელი ჭობოსანი; 13. ლაფანი (უქერქოდ), რომელიც გამრობის შემდეგ უნდა დაინაყოს; 14. მსხვილად დანაყილი ფოთოლი (ფოთლის წმინდა ფხვნილი ძნელად იწვის).

**მუშაობის მიმდინარეობა.** მცენარეში არსებულ ნაცროვან ელემენტთა რაოდენობის განსაზღვრა შეიძლება მცენარის დანვით (დანაცრებით) და მიღებული ნაცრის აწონით. მცენარის ბუნების მიხედვით ნაცრის რაოდენობა სხვადასხვაა. გარდა

ამისა, მცენარის სხვადასხვა ნაწილი ნაცრის სხვადასხვა რაოდენობას შეიცავს: ხეების ფოთლებში ნაცარი მეტია, ვიდრე ქერქსა და ტოტებში; ქერქში კი მეტია, ვიდრე მერქანში.

**დანაცრება.** მცენარის გარკვეული ნაწილიდან იღებენ 5-10 გრამ სინჯს (მშრალი მასალა). დაფქვავენ და აწონიან ანალიზურ სასწორზე. აწონილ სინჯს ათავსებენ ფაიფურის (უკეთესია პლატინის) ჯამში ან ტიგელში და ნათურის სუსტ ალზე დანაცრავენ. ჯამი (ტიგელი) მჭიდროს დახურული არ უნდა იყოს სახურავით. გახურებას იწყებენ ძალიან ფრთხილად, რომ მასალის ნაწილაკები აირებს არ ამოჰყვეს და არ დაიკარგოს. ნათურის ალი პირველად არ უნდა წვდებოდეს ჯამის ფსკერს. შემდეგ კი, როდესაც აირების ენერგიული გამოყოფა შეწყდება, ალს თანდათანობით უახლოვებენ ფსკერს, სახურავს მოხდიან და ჯამს ოდნავ გვერდზე გადახრიან. ეს ხელს უწყობს ჰაერის დინებას ნაცრისაკენ. ალს თანდათანობით აძლიერებენ, სანამ ჯამის ფსკერი წითლად არ გახურდება.

მიღებული ნაცარი თითქმის თეთრი ფერისაა. ზოგჯერ კი რუხი, შეიძლება ნაცარს სხვა შეფერვაც ჰქონდეს, რაც გამოწვეულია ამა თუ იმ ელემენტის თანაარსებობით. წესიერი მუშაობით დანაცვრის ოპერაცია შეიძლება დასრულდეს 6-7 საათში. ძალიან ხშირად დაწვა ბოლომდის ვერ ხერხდება ხოლმე და ნაცარში რჩება ნახშირის ნამცეცები. ამ შემთხვევაში მიღებულ ნაცარს უმატებენ 1-2 მლ 3%-იან წყალბადის ზეჟანგს, რასაც შემდეგ ფრთხილად ამოაშრობენ აბაზანაზე, საბოლოოდ გააშრობენ თერმოსტატში და ხელახლა გაახურებენ.

დანვის პროცესის გასაადვილებლად ნაცარს უმატებენ აგრეთვე  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ -ის ნაჯერი ხსნარის რამდენიმე წვეთს. გავარჯარების რამდენჯერმე განმეორებით აღწევნ მუდმივი წონის დამყარებას.

მიღებულ ნაცარს ჯამიანად წონიან ანალიზურ სასწორზე, რა თქმა უნდა, ჯამის წონა წინასწარ უნდა იყოს ცნობილი. მიღებული ნაცრის წონიდან ანგარიშობენ მის პროცენტულ შედგენილობას აღებულ სინჯში.

ზემოთ აღწერილი პროცესის შედეგად მიღებულ მინერალურ ნაშთს ნედლი ნაცარი ეწოდება. წმინდა ნაცრისაგან იგი მრავალი ნიშნით განსხვავდება: მასში შედის ნახშირორჟანგი, რომელიც ორგანული ნივთიერებებიდან სხვადასხვა გზით წარმოიშობა და შეიკვრება კარბონატების სახით. შეიცავს აგრეთვე დაუნვავე ნახშირის ნაწილაკებსაც, რომლებიც გარშემოხვეულია ნაცრის ნაწილაკებით.

ნაცრის აღწერილი განსაზღვრა მხოლოდ დაახლოებით წარმოდგენას იძლევა მცენარის ფესვების მიერ ნიადაგიდან შეთვისებულ ნივთიერებათა რაოდენობაზე. ეს აიხსნება იმით, რომ დანაცრების დროს გოგირდისა და ფოსფორის შემცველი შენაერთების ნაწილი შეიძლება გარდაიქმნას ადვილად აქროლად ნივთიერებად ( $SO_2$ ,  $H_2S$ ,  $P$ ) და დაიკარგოს. დანაცრის დროს აზოტი მთლიანად იკარგება გაზისებრ პროდუქტთა სახით.

## სამუშაო 25

### მცენარის შედგენილობაში შემავალი ცალკეული ნაცროვანი ელემენტების მნიშვნელობა და აღმოჩენა

მასალა, მონყობილობა და რეაქტივები: 1. მიკროსკოპი; 2. სასაგნე მინები; 3. მინის წვრილი კაპილარები; 4. ბიუქსენი; 5. პატარა ძაბრი; 6. მინის წკირები; 7. ფილტრის

ქალაქი; 8. გამხმარი ფოთლები ან ნაცარი; 9. გამოხდილი წყალი; 10. ლაკმუსის ქალაქი; 11. რეაქტივები:

ამიაკი HCl- 1%-იანი ხსნარი

PtCl<sub>4</sub> - 10% “ “

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> - 1% “ “

Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> - 1% “ “

მოლიბდენმუჟავამონიუმი აზოტმუჟავაში = 1%-იანი ხსნარი,

Sn(NO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> “ “

K<sub>4</sub>Fe(CN)<sub>6</sub> “ “

**მუშაობის მიმდინარეობა.** ტიგელში დანაცრავენ მცენარის ფოთლებს, შემდეგ 1 მგ ნაცარს გახსნიან 3 მლ 10%-იან HCl-ის ხსნარში.

მიღებული ხსნარი გაიფილტრება ჭიქაში. თვისებრივი რეაქციების გამოყენებით ფილტრატში გასულ სითხეში აღმოჩნდება კალიუმი, კალციუმი, მაგნიუმი, რკინა, ფოსფორი და გოგირდი.

ყველა რეაქცია ტარდება სასაგნე მინაზე. მინის წვრილი წკირით სასაგნე მინაზე აწვეთებენ გამოსაკვლევ სხნარის პატარა წვეთს და მის გვერდით, 2-3 მმ-ის დაშორებით ასხამენ სათანადო რეაქტივს. შემდეგ ამ წვეთებს მინის სუფთა კაპილარით აერთებენ თხელი რკალისებურად მოხრილი არხით. ნაცრის ხსნარისა და რეაქტივის შეერთების ადგილზე მოხდება სწრაფი რეაქცია და კრისტალების სახით მიიღება რეაქციის შედეგად წარმოქმნილი პროდუქტი, რომელიც კრისტალის და ნალექის სახით ისინჯება მიკროსკოპში.

## კალიუმი

**მნიშვნელობა.** კალიუმი მცენარეში საკმაოდ ბევრია. მისი უმეტესი ნაწილი გვხვდება მცენარის ახალგაზრდა, ნორჩ, პროტოპლაზმით მდიდარ უჯრედებში, აღნიშნულ ნაწილებში კალიუმის შემცველობამ შეიძლება (ნაცრის წონის) 50% შეადგინოს. კალიუმი, დიდ გავლენას ახდენს პლაზმის სტრუქტურაზე, ადიდებს მის დისპერსიულობას და კოლოიდების ჰიდრატაციას. მისი უმეტესი ნაწილი იონურ მდგომარეობაშია, ხოლო 30%-მდე კი შეკრული სახით გვხვდება და არამტკიცედ უკავშირდება პროტოპლაზმის ცილებს. კალიუმი მონაწილეობს ფოტოსინთეზის პროცესში. ნახშირწყლების გარდაქმნაში; ააქტივებს ნახშირწყლების გარდაქმნაში მონაწილე ფერმენტებს; ხელს უწყობს ფოთლებიდან უკუდენას, აჩქარებს პროტეოლიზური ფერმენტების მუშაობას, აკატალიზებს ცილოვან ნივთიერებათა სინთეზს და დაშლას; გავლენას ახდენს უჯრედის წვენის პოტენციალზე. კალიუმს ახასიათებს სუსტი რადიოაქტიურობა, რაც სასიცოცხლო პროცესებს აძლიერებს (ძლიერი რადიოაქტიურობა კი მავნე გავლენას ახდენს). მას აქვს რეუტილიზაციის უნარი, ე.ი. რამდენჯერმე გამოიყენება. მცენარე კალიუმს შეითვისებს  $KCl$ ,  $KNO_3$ ,  $KH_2PO_4$ ,  $K_2SO_4$  და სხვა მარილებიდან. მისი უკმარისობისას წვერო, ფოთლის კიდეები ყვითელ ან მოყვითალო-წითელ შეფერვას იღებს (ეს კალიუმის ნაკლებობის სიმპტომია).

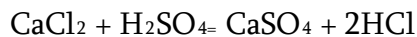
**აღმოჩენა.** სასაგნე მინაზე აწვეთებენ ნაცრის ხსნარს და უმატებენ ქლორიანი პლატინის ხსნარს. მიიღება გამოკრისტალებული კალიუმის ქლოროპლატინატი მოყვითალო მწვანე ოქტაედრების სახით და წესიერი სისტემის სხვა კომბინაციებით. ფორმულას ასეთი სახე აქვს:



**კალციუმი**

**მნიშვნელობა.** კალციუმი მცენარის მნიშვნელოვანი საკვები ელემენტია. მისი უკმარისობისას შეინიშნება ბირთვის არასწორი გაყოფა და ზრდის წერტილების დაზიანება. კალციუმი გავლენას ახდენს პლაზმურ კოლოიდებზე; ადიდებს პლაზმის სიბლანტეს; ერთვალენტოვანი კატიონების (განსაკუთრებით წყალბადის) ძლიერი ანტაგონისტია; ანეიტრალურებს წარმოქმნილ ორგანულ მუჟავებს. კალციუმი უმეტესად მცენარის მოხერხებულ ნაწილებში გვხვდება (მუჟუნმუჟავა კალციუმის კრისტალების სახით). კალციუმს დიდი რაოდენობით საჭიროებს მწვანე მცენარეები, განსაკუთრებით ჰარკოსნები, მცირედ ძრავადია და რეუტილიზაციის უნარი არა აქვს. კალციუმის იონები ერთგვარ გავლენას ახდენენ მცენარეში მიკროელემენტების (B, Mn, Mo) შეღწევაზე, კალციუმს მცენარე შეითვისებს  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  და  $\text{CaCl}_2$ -ის მარილებიდან. მისი უკმარისობისას თესვი ლორწოვდება, მცენარის ზრდა წყდება და ბოლოს კვდება.

**აღმოჩენა.** სასაგნე მინის წკირით აწვეთებენ ნაცრის ხსნარს და უმატებენ რამდენიმე წვეთ გოგირდმუჟავას. რეაქციის შედეგად გამოიყოფა ნემსისებური კრისტალების ჯგუფი (თაბაშირი). რეაქციას ასეთი სახე აქვს:



## მაგნიუმი

**მნიშვნელობა.** მაგნიუმი მონაწილეობს ნივთიერებათა გარდაქმნაში. მისი 50% იონურ, ხოლო დანარჩენი კი მეტალოორგანული შენაერთის ფორმაშია. ქლოროფილში მას ცენტრალური ადგილი უკავია. მცენარეში არსებული მაგნიუმის 10% ქლოროფილშია. მაგნიუმი აჩქარებს რიგი ფერმენტის აღდგენით მოქმედებას,



ამცირებს პლაზმის კოლოიდთა ჰიდრატაციას და ადიდებს პროტოპლაზმის სიბლანტეს. მცენარე მაგნიუმს  $MgSO_4$ ,  $MgCl_2$ ,  $Mg(NO_3)_2$  მარილებიდან ითვისებს. მისი უკმარისობა უმთავრესად ძველ ფოთლებზე ვლინდება. მაგნიუმს აქვს რეუტილიზაციის უნარი.

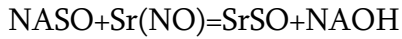
**აღმოჩენა.** სასაგნე მინაზე დანვეთებულ ნაცრის ხსნარს ჯერ ანეიტრალეზენ ამიაკით, ხოლო შემდეგ მცირე რაოდენობით (წვეთს) უმატებენ რეაქტივს ( $Na_2HPO_4$ -ს). მიიღება ფოსფორ-ამიაკურ-მაგნიზიუმის მარილის კრისტალები, რომელთაც სხვადასხვა სახე აქვთ (ვარსკვლავისებრი ანდა სხვ.):



## გოგირდი

**მნიშვნელობა.** გოგირდს მცენარე, გოგირდმჟავა მარილებიდან  $SO_4$ -ის ანიონის სახით ითვისებს. მცენარეში იგი აღდგენას განიცდის, რისთვისაც ნახშირწყლებია საჭირო. ორგანულ შენაერთებში გოგირდი სულფჰიდრილის (SH) ამ დისულფიდის ჯგუფების ( $-S-S-$ ) სახით შედის. გოგირდი, რომელიც ზოგიერთი ორგანული ნივთიერების (ცისტეინი, გლუტათიონი) შედგენილობაში შედის, დიდ როლს ასრულებს უანგვა-აღდგენითს პროცესში. გოგირდი ყველა ცილასა და კოფერმენტ - A-ს შედგენილობაშია და მონაწილეობს ნივთიერებათა გარდაქმნაში. გოგირდს დიდი რაოდენობით შეიცავს ვიტამინი B<sub>1</sub>, ნიორი, მდოგვის ზეთი და სხვ. მცენარეში იგი მშრალი წონის პროცენტის რაღაც ნაწილია. გოგირდის უკმარისობისას მცენარის ფოთლებს ძარღვები უყვითლდება. ფოთოლზე წითელი ლაქები ჩნდება.

**აღმოჩენა.** სასაგნე მონაზე ნაცრის ხსნარს უმატებენ აზოტმუავა- სტრონციუმის 1%-იანი ხსნარის ერთ-ორ წვეთს, რის შემდეგაც წარმოიქმნება გოგირდმუავა სტრონციუმის წვრილი მომრგვალო კრისტალები, რეაქცია:



## გამტარი ქსოვილები

წყალი და მასში გახსნილი არაორგანული ნივთიერებები მცენარეში გამტარი ქსოვილების საშუალებით მოძრაობს.

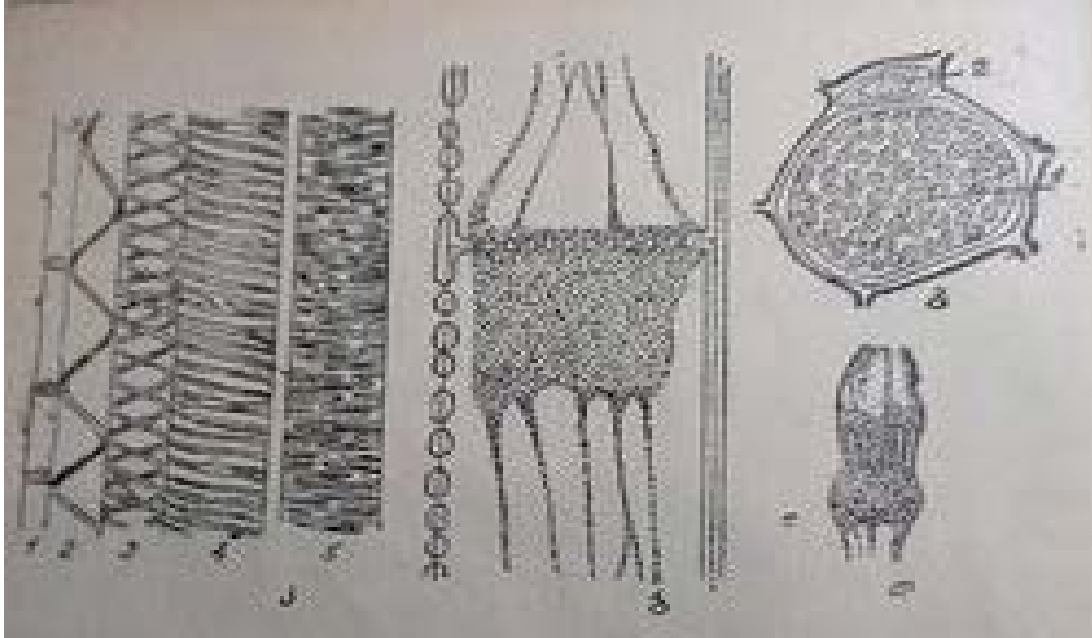
ნივთიერებათა გამტარებლებია სათანადო გამტარი კონეები. გამტარი კონა ძირითადად შედგება, ერთი მხრივ, მერქნისა (ქსილემის) და მეორე მხრივ, ლაფნის (ფლოემის) ელემენტებისაგან. მერქნით ხდება ქვემოდან ზევით წყლის და მასში გახსნილი მინერალური ნივთიერებების გატარება. ლაფნის საშუალებით ორგანული ნივთიერებები მოძრაობს ზემოდან ქვევით და პირიქით.

კონის გამტარი ელემენტები პროზენქიმიული ტიპისაა და მთავარი ღერძის მიმართულებით არის წაგრძელებული. მათ ახასიათებთ ადგილ-ადგილ დატიხვრა და ურთიერთგანიერი ფორებით კავშირის დამყარება. მერქანი ცოცხალ შემცველობას მოკლებულია და უჯრედების ერთმანეთთან მოსაზღვრე კედლების დაშლის გამო წაგრძელებულ მილებს წარმოადგენს. ლაფნის გამტარი ელემენტები ცოცხალია. აქვს პროტოპლაზმა და ა.შ.

**მერქნის ელემენტები.** გამტარი კონის ის ნაწილებია, რომელნიც ფესვის ბუსუსების მიერ ნიადაგიდან შეწოვილ წყალს (და მასში გახსნილ მინერალურ ნივთიერებებს)

ქვემოდან ზემოთ ატარებს. მერქანი ორნაირი ელემენტისაგან შედგება: ტრაქეებისა (ანუ ჭურჭლების) და ტრაქეიდებისაგან. ეს ელემენტები გამტარ კონაში სიგრძივი მიმართულებითაა განლაგებული.

**ტრაქეები** განიერი და საკმაოდ წაგრძელებული მილებია. მათი წარმოქმნა ხდება მოკლე უჯრედთა გრძელი რიგებისაგან, ერთმანეთის გამყოფი ძგიდეების გახსნის საშუალებით. ამ ძგიდეების ნაშთი განივი დიაფრაგმის სახით, რომელსაც აქვს ერთი მრგვალი ნაჩვრეტი, ხშირად გვხვდება ზრდადასრულებულ ჭურჭლებში (ივანოვი). ტრაქეა სიგრძეზე დალაგებული რამდენიმე უჯრედის ერთმანეთთან მოსაზღვრე გარსების დაშლით წარმოქმნილი მკვდარი მილია, რომლის ღრუშიც აღარ გვხვდება შიგთავსი. ტრაქეას (და ტრაქეიდას) კედლები ლიგნინით გაჟღერითილ-გახევებულია და ალაგ-ალაგ ნაჩვრეტები (ფორები) აქვს. ტრაქეას შიგნითა კედლები განიცდიან: სპირალურ, რგოლურ, კიბენაირ, ფოროვან, ან სხვა შერეული სახის გასქელებებს.(სურ. 8).



სურ. 8. გამტარი ელემენტები და მათი გასქელებანი: ა – ჭურჭლები სიგრძივ ჭრილში: 1. რგოლური, 2–3–4 სპირალური და 5 ბადისებრი გასქელების; ბ – ლაფნის საცრიანი მილის სიგრძივი ჭრილი, ჩანს საცრები (ცხრავები); გ – საცრიანი მილის განივი ჭრილი, ჩანს საცრები (1) და საცრიანი მილის თანამგზავრი უჯრედი (2).

გამტარი ელემენტების კედლის გარსის ასეთი შინაგანი გასქელება საჭიროა იმისათვის, რომ იგი გამძლე იყოს და არ დაზიანდეს. გამტარ ელემენტს მთლიანი გასქელება რომ განეცადა, როგორც ეს, მაგ, მექანიკურ ბოჭკოს ახასიათებს – აღნიშნავს ივანოვი, – მაშინ წყლის გადაცემა შეუძლებელი იქნებოდა. წყლის გადაცემა სქელი გარსის საშუალებით (მაგ., ერთი ტრაქეიდიდან მეორეში და ცოცხალი უჯრედებისაკენ, რომლებიც განლაგებულია წყალგამტარი გზების გასწვრივ), ძალზე ძნელია. ამიტომ გამტარი ელემენტები წყლის გასატარებლად მეტი ღრუს შესანარჩუნებლად და ამავე ღროს გამძლეობისათვის, ინვითარებენ სხვადასხვა სახის შინაგან გასქელებას .

**რგოლური გასქელების** ღროს გამტარი ელემენტის, მაგ. ტრაქეის გარსი შიგნიდან, რგოლების მსგავსად, თანმიმდევრულად სართულებრივად სქელდება.

გასქელებულ ნაწილს მოსდევს გაუსქელებელი, შემდეგ ისევ გასქელებული და ა.შ. (ნახ. 8.1).

**სპირალური გასქელების** დროს გასქელებული ნაწილი უწყვეტად, სპირალურად ეხვევა გამტარ ელემენტს შიგნიდან (ნახ.8,ა).სპირალურ გასქელებასა და რგოლურ გასქელებას შორის არსებობს გარდამავალი ფორმები, რომლებიც უმეტესად პროზენქიმულ ელემენტებში გვხვდება. ერთი ტრაქეის სიგრძეზე შეიძლება ადგილი ჰქონდეს სხვადასხვა სახის გასქელების ცვლას და ა.შ.

**ბადისებრი და კიბისებრი გასქელების** დროს ტრაქეები უფრო გამძლეა, ვიდრე სპირალური ან რგოლური გასქელებისას. განსაკუთრებით აღსანიშნავია მარტივ და გარემოიანფორმოვანი გასქელების მქონე ელემენტების გავრცელება. ასეთი გასქელების დროს გამტარი ქსოვილები უფრო მტკიცეა. იგი განსაკუთრებით გავრცელებულია მერქნიან ჯიშებში.

**სპირალური და რგოლური გასქელების** ტრაქეა გვხვდება ადრეული წარმოშობის მერქანში. ფოროვანი გასქელება ახასიათებს მეორად მერქანს. ტრაქეები საკმაოდ გრძელია. ზოგჯერ ტრაქეის სიგრძე 10 სმ–ს აღწევს. ისინი წყლის გატარებისათვის მეტად სრულყოფილ სისტემას წარმოადგენენ. ტრაქეების წარმოქმნა და არსებობა, მცენარეთა (მაგ., ფარულთესლოვანები) მაღალი ევოლუციური მდგომარეობის მაჩვენებელია.

ევოლუციურად მაღალ საფეხურზე მდგომ მცენარეებში ტრაქეებთან ერთად ტრაქეიდები (ნაგრძელებული უჯრედები) გვხვდება. ტრაქეიდები პროზენქიმული ტიპის უჯრედებია და ტრაქეების მსგავსად, წყალს ქვვიდან ზევით ატარებენ, რადგანაც სიგრძივ არიან განლაგებულნი. უმეტეს შემთხვევაში საბოლოოდ ფორმირებულ ტრაქეიდების უჯრედს შემცველობა (პლაზმა და ა.შ.) დაკარგული აქვს, მკვდარია და წყლითაა ამოვსებული. ტრაქეიდების, ბოლოები წანვეტებულია. ტრაქეების მსგავსად

მათი გარსიც ლიგნინით გაუღენთილი, გახევებული და მეტ-ნაკლებად გასქელებულია. მათაც ახასიათებთ სხვადასხვა სახის გასქელებანი: სპირალური, რგოლური, კიბისებური და ა.შ.

ტრაქეიდების სიგრძე შეიძლება 1-5 მმ-მდე აღწევდეს. მათთვის დამახასიათებელია მკაფიოდ გამოსახული გარემოიანი ფორები. ტრაქეიდები წყალსა და მასში გახსნილ მინერალურ ნივთიერებებს შედარებით ცუდად ატარებენ, ვიდრე ტრაქეები, რადგან ტრაქეიდებში წყლის დენს ყოველ 1-5 მმ-ზე ხვდება ძვიდეები, რის გამოც მეტ წინააღმდეგობას აწყდება.

გამტარი კონის მერქნის ნაწილში, ტრაქეებისა და ტრაქეიდების გარდა გვხვდება აგრეთვე პარენქიმული ტიპის საკმაოდ სქელი დაგახევებულგარსიანი უჯრედები, ე.წ. მერქნის პარენქიმა და ბოჭკოს ნაცვალი, მათი ფუნქციაა მომარაგება.

**ლაფანი (იგივე ფლოემა)** გამტარი კონის მეტად მნიშვნელოვანი ნაწილია.

ფოთლებში გამომუშავებული (ან ნივთიერებათა ცვლის შედეგად წარმოქმნილი) ორგანული ნივთიერებების მოძრაობა, გადაადგილება, ლაფნით ხდება როგორც მოხმარების ადგილებისაკენ (მაგ., მერისტემებისაკენ), ისე სამარაგო (სათავსო) ადგილებისაკენ (მაგ., ტუბერებში ნაყოფებსა და საერთოდ მცენარის ყველა ქსოვილში). ლაფანის გამტარი ქსოვილი ძირითადად ორნაირი ელემენტისაგან – საცრიანი მილებისა და საცრიანი მილების თანამგზავრი უჯრედებისაგან შედგება.

**საცრიანი მილები (ცხური მილები)** შედგებიან ცელულოზის თხელი გარსით გარემოცული ძლიერ გრძელი ცოცხალი უჯრედებისაგან, რომლებიც შეიცავენ პლაზმას, რაც თხელი შრით ფარავს გარსის მთელ შიგნითა ზედაპირს.

საცრიან მილებს ერთმანეთში ორგანულ ნივთიერებათა გასატარებლად აქვთ ხვრელები (საცრის მსგავსად დაცხრილული, ერთმანეთისაგან გამყოფი ტიხრები), ამ საცრებში ხდება ორგანულ ნივთიერებათა გასვლა (ნახ. 8 – ა, ბ, გ), ისინი შედარებით

პატარა ზომისაა (მათი დიამეტრი 20–30 მიკრონია, სიგრძე კი 150–300 მიკრონამდე). საცრიან მილებში განსაკუთრებით პირველ ხანებში ბირთვიც გვხვდება. საცრიანი მილების მოქმედებაში პროტოპლაზმასთან ერთად ბირთვსაც დიდი მნიშვნელობა ენიჭება.

საცრიანი მილი ჩამოყალიბებამდე და სრულ ფორმირებამდე მრავალ სტადიას გაივლის. ჩამოყალიბებულ საცრიან მილებს შორის ურთიერთკავშირი პლაზმოდესმებით მყარდება. პლაზმოდესმები პროტოპლაზმის წვრილი ძაფების სახით ერთი საცრიანი მილიდან მათ შორის არსებული ფორებით გასულია მეორეში.

საცრიანი მილები შედგება ერთმანეთზე სიგრძივ განლაგებული უჯრედებისაგან. გარსი უჯრედებს შორის მთლიანად კი არ არის ნაშლილი არამდეგ დაჩვრეტილია და საცერს ჰგავს. საცერი ვითარდება გამყოფ კედლებში. იშვიათ შემთხვევაში – გვერდით კედლებშიც.

თუ გამყოფი კედელი გარსის მთელი მილის პერპენდიკულარულია, მაშინ იგი მთლიანდ არის დაჩვრეტილი, ხოლო თუ ირიბია – გარდიგარდმო ზოლებად, დაჩვრეტილი ადგილები მორიგეობენ ასევე გარდიგარდმო განწყობილ მთლიან ადგილებს. ჩამოყალიბებული და გაფორმებული საცრიანი მილი უკვე აღარ შეიცავს ბირთვს და შიგნით ლორწოვანი წვენი აქვს. ამიტომ საცრიან მილებს თან ახლავს მისივე სიგრძის უჯრედები, რომლებიც განვითარების დროს საცრიანი მილებისაგან არიან გამყოფილი, ამიტომ მათ **თანამგზავრ უჯრედებს** უწოდებენ. თანამგზავრი უჯრედები და საცრიანი მილები ონთოგენებურად ერთნაირი წარმოშობისაა. საწყისი (დედა) უჯრედი, რომლიდანაც შემდეგ თანამგზავრი უჯრედი წარმოიქმნება, ადრეულ სტადიაში აღწევს გარკვეულ ზომას და ძვიდით იყოფა. წარმოქმნილი ორი შვილეული უჯრედიდან ერთი დიფერენცირდება საცრიან მილად, ხოლო მეორე – თანამგზავრ უჯრედად. ზოგჯერ უჯრედი ორ ან სამ გზის განიცდის სიგრძივად გაყოფას და იძლევა ორ–სამ თანამგზავრ უჯრედს. არის შემთხვევები (მაგ. გოგრაში), როცა თანამგზავრი

უჯრედი მის საბოლოო ფორმირებამდე განიცდის როგორც სიგრძივ, ისე განივ გაყოფას, შემჩნეულია, რომ ზოგჯერ საცრიან მილებს თანმხლები უჯრედები არა აქვს (მაგ., კარტოფილ). საცრიანი მილის თანმხლები უჯრედების კედლები ბოლომდე თხელი და ცელულოზოვანი რჩება. ღრუ პროტოპლაზმითაა ამოვსებული და მასში მსხვილი ბირთვია, შიგ გვხვდება წვრილი ვაკუოლებიც. თანმხლები უჯრედის იმ კედელში, რომლითაც ის საცრიან მილს ესაზღვრება, უხვადაა პლაზმოდესმური ფორები. თანმხლები უჯრედების სიკვდილი, ან ობლიტერაცია საცრიან მილებთან ერთდროულად, ან ცოტა მოგვიანებით ხდება.

თანამგზავრი უჯრედები საცრიანი მილების გარეშე არ გვხვდება. გამონაკლისია ფოთლის ძირღვების დაბოლოება, სადაც თანამგზავრი უჯრედები ფოთლის ძირითადი ქსოვილის უჯრედებს უკავშირდებიან. ლაფანში, გარდა გამტარი ელემენტებისა, გვხვდება მომმარაგებელი და მექანიკური ქსოვილები.

## სამუშაო 26.

### დაკვირვება გუტაციის მოვლენაზე

**მასალა და მოწყობილობა:** 1. მცენარეები: სიმინდი, ხორბალი, \_\_\_ ან კამა; 2. წამმზომი; 3. ფილტრის ქალაღდის მოგრძო ნაჭრები; 4. ფეიქომეტრი; 5. თერმომეტრი.

**მუშაობის მიმდინარეობა.** გუტაციის მოვლენაზე დაკვირვებისათვის გამოსადეგია როგორც კულტურული, ისე ველური მცენარეები.

ცდისთვის ყველაზე საუკეთესოა მოღრუბლული ამინდი, როდესაც ატმოსფეროს შედარებითი ტენიანობა დიდია.

შერჩეული მცენარეები წინა საღამოს კარგად უნდა მოირწყას. დაკვირვება უნდა მოხდეს ადრე დილით, მზის ამოსვლამდე.



მცენარეზე, რომელსაც ვაკვირდებით, ფილტრის ქალაქით აშრობენ გუტაცის შედეგად გამოსულ წყლის წვეთს და ნამს. შემდეგ ჩარჩოს ნამშბომს და აჩერებენ მანამ, სანამ ფოთლის ძარღვის დაბოლოებაზე წყლის წვეთი გამოჩნდება. დაკვირვების საათებში აღინიშნება ამინდის პირობები: ტემპერატურა, ჰაერის ტენიანობა და დრო რომლის გავლის შემდეგ ფოთლის კიდებზე კვლავ გამოჩნდება წვეთი (განმეორებით, პირველი წვეთის მოცილების შემდეგ). დაკვირვების სანიმუშო შედეგები მოცემულია ქვემოთ მოყვანილ ცხრილში 6.

ცხრილი 6.

რიცხვი	მცენარის აღმოცენების ადგილი	ჰაერის ტემპერატურა (ცელსიუსით)	ჰაერის შეფარდებითი ტენიანობა %-ობით	დაკვირვების საათების რაოდენობა	მცენარეთა დასახელება	წვეთის გამოჩენის დრო
17/VII	საცდელი ნაკვეთი	12	96	5	კამა მარმუჭი სიმინდი შერია	10 წმ 30 წმ 1 წთ 50 წმ
23/VII	–	10	73	8	შერია სიმინდი	2 წთ 18 წთ

მეტეოროლოგურად განსხვავებულ პირობებში დაკვირვების რამდენიმე დღის განმავლობაში განმეორების შემდეგ მიღებული შედეგები უნდა განვაზოგადოთ.

ცდა უმჯობესია ჩაატაროს 3–4 სტუდენტმა ცალ–ცალკე დღის სხვადასხვა საათებში. ამრიგად, განსხვავებული მეტეოროლოგიური პირობების დროს მივიღებთ დიდ განსხვავებულ ციფრობრივ მასალას.

მიღებული შედეგებით ასკვნიან, თუ გუტაცის მოვლენა რა დამოკიდებულებაში და როგორ რეაგირებს განსხვავებულ მეტეოროლოგიურ პირობებში. რამდენადაც მეტია ჰაერის შეფარდებითი ტენიანობა, იმდენად ინტენსიურად წარმოებს გუტაცია. ჰაერის დაბალი ტემპერატურა იწვევს ნიადაგის ძლიერ გაცივებას, ამ დროს გუტაცის

პროცესი ფერხდება, რადგანაც შემცირებულია გაცივებული ნიადაგიდან ფესვების მიერ წყლის შეწოვა.

სასურველია მცენარეთა ტირილსა და გუტაციაზე დაკვირვება ჩატარდეს ერთსა და იმავე დროს, რადგან ორივე ეს მოვლენა ერთი მიზეზით – ფესვური წნევით არის გამოწვეული. ამ მუშაობის შესრულების დროს შეიძლება სტუდენტებს მიეცეს ასეთი ამოცანა:

- გამომჟღავნდეს და დადგინდეს უფრო ძლიერი გუტაციის მქონე მცენარეები;
- დადგინდეს ერთისა და იმავე სახის მცენარეებზე წვეთების წარმოქმნის სისწრაფე სხვადასხვა გარემო პირობებში აღმოცენებისას;
- განსხვავებული გუტაციის უნარის მქონე მცენარეებში შესწავლილი იქნეს ფოთლის ანატომიური თავისებურებებანა და სხვ.

## სამუშაო 27.

### მცენარის ზრდის გაზომვა სახაზავით

სახეობისა და საარსებო პირობების მიხედვით მცენარე იზრდება ძლიერად ან სუსტად. მცენარის ზრდის სისწრაფეზე დაკვირვების ერთ-ერთ ხერხს სახაზავით გაზომვა წარმოადგენს.

**მასალა და მონაცობილობა:** 1. საზრდელი ყლორტი. 2. დანაყოფებიანი სახაზავი.

**მუშაობის მიმდინარეობა.** ზრდის პროცესის რაოდენობრივად განსაზღვრისათვის იყენებენ ღეროს სიმაღლის გაზომვას მილიმეტრიანი სახაზავით. ეს მეთოდი სარწმუნო შედეგებს გვაძლევს სწრაფმობარდ ობიექტებზე, რომლებიც დროის მოკლე მონაკვეთშიც საგრძნობლად იცვლის ზომას. თუ ზრდა უმნიშვნელოდ მიმდინარეობს,

მაშინ გაზომვა ტარდება რამდენიმე დღის ან კვირის ინტერვალებით. დანაყოფიანი სახაზავით მცენარის ზრდის განსაზღვრა ძალიან მარტივი წესია და თვალსაჩინო შედეგების მისაღებად საჭიროა ხანგრძლივი დაკვირვება.

## სამუშაო 28

### მერქნიან მცენარეთა ყლორტების ზრდის პერიოდულობა

ყლორტის ზრდა, ისევე როგორც მცენარის ცალკეული ნაწილების ზრდა, არათანაბარია. დასაწყისში მცენარეს ემჩნევა ნელი ზრდა, შემდეგ სისწრაფე მატულობს და მაქსიმუმს აღწევს; ბოლოს ხდება შენელება და ზრდა წყდება.

ამრიგად შეიმჩნევა ყლორტის ზრდის პერიოდულობა, რომელიც ვლინდება ზრდის დიდი პერიოდის კანონში.

ყლორტების ზრდის პერიოდულობა მუდამ ვლინდება ყლორტის ზრდასთან ერთად წარმოქმნილი მუხლოთშორისების სიგრძე მატულობს ფუძიდან შუა ადგილამდე და აქ მაქსიმუმს აღწევს, ხოლო ყლორტის წვეროსაკენ კვლავ კლებულობს.

**მასალა და მონაცემილობა:** 1. მერქნიან მცენარეთა ყლორტები; 2. სახაზავი.

**მუშაობის მიმდინარეობა.** სახაზავით ზომავენ რომელიმე მერქნიან ჯიშის ყლორტის მუხლოთშორისების სიგრძეს. მიღებული შედეგების საფუძველზე აგებენ ზრდის დიდი პერიოდის მრუდს. მრუდის აგებისას ორდინატზე აღნიშნავენ მუხლოთშორისების სიგრძეს, ხოლო აბსცისაზე კი ყლორტის ფუძიდან გამოთვლილი მუხლოთშორისების რიგით ნომერს. შემდეგ აკეთებენ დასკვნას ყლორტის ზრდის პერიოდულობის შესახებ.

## სამუშაო 29

### დაკვირვება ფესვის ზრდაზე საქსის ნიშანდების მეთოდით

ლაბორატორიულ პირობებში წლის ყოველ დროსაა მოსახერხებელი ზრდაზე დაკვირვება საქსის ნიშანდების მეთოდის გამოყენებით. ამ წესით ზრდაზე დაკვირვებისათვის მოზარდ ორგანოზე (ფესვისა და ღეროს წვეროები) ტუპით აკეთებენ რამდენიმე ნიშანს და აკვირდებიან მათ გადაადგილებას. ამ მეთოდის გამოყენებით შესაძლებელია, ფესვისა და ღეროს ზრდის ზონების დადგენა.

**მასალა და მონაცობილობა:** 1. ბარდის გაღვივებული თესლები სწორი ფესვებით; 2. ტუპი; 3. ალუმინის ან მოკალეული მავთული 5. აკვარიუმები; 6. თერმოსტატი; 7. კორპის საცობები.

**მუშაობის მიმდინარეობა.** ცდისათვის შეარჩევენ თავიდანვე ძლიერი ზრდის თვისების მქონე (მაგ. ლობიოს, ცერცვის ან სიმინდის თესლს). გაღვივებულ თესლს წამოაგებენ ალუმინის ან მოკალეულ მავთულზე (უკეთესია ნიკელის მავთული) და ათავსებენ პატარა ოთხკუთხა მინის ჭურჭელში (აკვარიუმი). მავთულს გაამაგრებენ საცობის ნაჭრებში და მისი აწევ-დანევით ღივებს ისეთ სიმაღლეზე გააჩერებენ, რომ მხოლოდ ფესვის წვერი ეხებოდეს ჭურჭლის ფსკერზე დასხმულ წყალს. ნოტიო ატმოსფეროს შესაქმნელად აკვარიუმს ზემოდან გადაათარებენ გადმოპირქვავებულ

ისეთსავე ჭურჭელს და მათ შუა დარჩენილ მანძილს ამოავსებენ ბამბით. როდესაც ფესვების სიგრძე 15 მმ–ს მიაღწევს, მათზე ტუშით გააკეთებენ ნიშნებს. ამისათვის ფესვებს ჯერ ფილტრის ქალაღლით და რბილი ჩვრით გაამშრალევენ და მერე წვრილი ფუნჯით დახაზავენ ზედ თითო მილიმეტრით დაცილებულ ნიშნებს. ამ სამუშაოს შესრულების დროს უნდა გვახსოვდეს, რომ პირველი ნიშანი (ნულოვანი) გაარებული უნდა იყოს ზედ ზრდის წერტილზე, რომელიც ფესვის წვერიდან ჩვეულებრივად 0,2–0,5 მილიმეტრით არის დაშორებული. ნიშნების გაკეთების შემდეგ დივები რამდენიმე ხანს მთლიანად აკვარიუმის ჰაერში უნდა იყოს დაკიდებული და მხოლოდ ტუშის შეშრობის შემდეგ დასწევნ მავთულებს იმდენად, რომ ფესვის წვერი წყლის ზედაპირს შეეხოს.

ნიშნებს შორის მანძილის ცვლილებებზე დაკვირვებას ყოველ 12 ან 14 საათში აწარმოებენ.

ცდის დროს ტემპერატურა უსათუოდ უნდა აღინიშნოს, რისთვისაც იყენებენ აკვარიუმში მოთავსებულ თერმომეტრს.

## სამუშაო 30.

### ღეროს ზრდის ზონის განსაზღვრა

**მასალა და მოწყობილობა:** 1. სიბნელეში აღმოცენებული მზესუმზირის 2–3 სმ–ის სიმაღლის ნაზარდები; 2. ტუში; 3. პრეპარატების დამზადების დროს სახმარი ხისტარიანი ნემსები ან ხის ნიჩაბი; 4. სახაზავი.

**მუშაობის მიმდინარეობა:** აღმონაცენის წვროდან ყოველი 2 მილიმეტრის დაშორებით აკეთებენ დაახლოებით 10 დანაყოფს (ნიშანს) აღმონაცენს ათავსებენ

სიბნელეში 20–25<sup>0</sup>ტემპერატურაზე. ერთი დღე–ღამის შემდეგ ზომავენ მანძილს ნიჟნებს შორის და აღრიცხავენ (გამოიანგარიშებენ) ღეროს სხვადასხვა წილის ზრდის ნამატს.

**ცხრილი 7.**

აღმონაცენი	ზრდის ნამატი (მმ–ობით)										შენიშვნა
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1											
2											
3											
4											

ცდის შედეგები გამოისახება გრაფიკულად. აბსცისის ღერძზე აღნიშნება დანაცოფების რიგითი ნომერი, ხოლო ორდინატის ღერძზე – ნაზარდი. კეთდება დასკვნა ღეროს ზრდის ხასიათზე.

**გამოყენებული ლიტერატურა:**

1. ალ. კობერიძე., ნ. ბენდიანიშვილი., თ. აბრამიშვილი. მცენარეთა ფიზიოლოგიის პრაქტიკუმი. გამომცემლობა „განათლება“. თბილისი -1975.

2. Храменкова Ольга Михайловна . ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИОЛОГИИ РАСТЕНИЙ. Министерство образования Республики Беларусь. Гомель 2017

3. Experiments in Plant Physiology: A Laboratory Manual Paperback – Import, 30 January 1999 by D. Bajracharya (Author)