

ფოტოსინთეზის ზოგიერთი საკითხის სწავლების შესახებ სკოლაში

ბაკურ ონიანი

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
ქუთაისი, აკაკი წერეთლის ქუჩა №59**ანოტაცია**

განხილულია ფოტოსინთეზის სწავლება სკოლაში. საკითხის უკეთ გაგება-გააზრების მიზნით ჩვენ მიერ დამატებით შეთავაზებულია ფოტოსინთეზის Z სქემა, რომლის დახმარებით ახსნილია თილაკოიდის მემბრანაზე სინათლის შთანთქმით გამოწვეული პროცესები და მათი შედეგების მექანიზმები, კერძოდ პროტონული გრადიენტის ფორმირებისა და ატფ-ის სინთეზის მექანიზმები.

საკვანძო სიტყვები: ფოტოსინთეზი, ფოტოლიზი, ფოტოსისტემები, ელექტროსატრანსპორტო ჯაჭვი

სწავლების დროს გამოსაყენებელი მეთოდების შერჩევასას მასწავლებელი დამოკიდებულია მის ხელთ არსებულ რესურსებსა და შესასწავლი მასალის სპეციფიკაზე. საკითხი აქტუალურია დღეს, როცა ახალი სახელმძღვანელოებისა და პროგრამების მიუხედავად სწავლების მეთოდების დივერსიფიცირებისათვის საჭირო რესურსები შეზღუდულია. ძალიან მნიშვნელოვანია დამატებითი სამეცნიერო ინფორმაციის მოძიება, მისი დამუშავება და მოსწავლისათვის მიწოდება, ამავდროულად საზიანოა გაკვეთილის გადატვირთვა დამხმარე მასალებით და ცნებებით, რადგან მოსწავლეები ვერ ასწრებენ ცნებების გააზრებას და ერთმანეთთან დაკავშირებას. ბიოლოგია სხვა დისციპლინების მსგავსად მოიცავს უამრავ ცნებას და მათ შორის ურთიერთმიმართებას. სწავლების პროცესში ცნება თანდათან ვითარდება. თავიდან ის ყალიბდება მარტივ, ბავშვისათვის იოლად აღსაქმელ ფორმაში. შემდგომში ის ვითარდება სხვა ცნებებთან კავშირში. ცოდნა მიიღწევა ცნებათა მნიშვნელობის სწორი გაგება-გააზრებით რთულ ბიოლოგიურ პროცესებში. ზოგჯერ ცნებებს შორის სწორი კავშირის დამყარება მასწავლებლის დახმარებითაც ძნელდება მოსწავლეებისათვის. ამ დროს დიდი მნიშვნელობა ენიჭება დამხმარე სასწავლო საშუალებების, მათ შორის დამატებითი ინფორმაციის გამოყენებას ცოდნის უკეთესი ორგანიზებისათვის [1].

ბიოლოგიის X კლასის სახელმძღვანელოში ფოტოსინთეზი ისწავლება მცენარეებში პლასტიკურ ცვლასთან კონტექსტში. თემას ეთმობა 2 სთ. ფოტოსინთეზის გაცნობას ბავშვები ფაქტიურად იწყებენ IX კლასში, სადაც აკეთებენ დასკვნას, რომ ამ პროცესში მზის ენერჯია გარდაიქმნება ქიმიური ბმების ენერჯიად და აკუმულირდება (ინახება) გლუკოზის მოლეკულაში, რომ ფოტოსინთეზის შედეგად გამოიყოფა ჟანგბადი და ცოცხალი ორგანიზმებისათვის იქმნება საკვები, ხოლო მოცემულ გაკვეთილში (X კლ.) სწავლობენ ფოტოსინთეზის სინთეზის რეაქციებს, ქლოროფილის შთანთქმის სპექტრს, თილაკოიდის მემბრანაზე ენერჯის შთანთქმის შედეგად მიმდინარე პროცესს, პროტონული გრადიენტის ფორმირებისა და ატფ-ის სინთეზის ფიზიკურ მექანიზმს [2]. ჩვენი მიზანია მასწავლებელს მივაწოდოთ დამატებითი, დამუშავებული მასალა ფოტოსინთეზის, სინათლის შთანთქმით თილაკოიდების მემბრანებში გამოწვეული პროცესების და მათი შედეგების შესახებ, რათა ამ მასალის სახელმძღვანელოში მოცემულ მასალასთან

The 2nd Teacher Conference “University and School” (Problems of Teaching and Education)
6-7 June, 2014. Materials

ინტეგრირებით ხელი შევუწყოთ ამ საკმაოდ რთული ფიზიკურ-ქიმიური პროცესის უკეთ გაგება-გააზრებას.

პროგრამით გათვალისწინებული 2 სთ-დან პირველი ეთმობა ლაბორატორიულ ცდას: ქრომატოგრაფიის მეთოდის გამოყენებით მცენარის ფოტოლში სხვადასხვა სახის პიგმენტის აღმოჩენას. მეორე საათი კი ეთმობა ფოტოსინთეზის, როგორც მცენარეულ უჯრედში პლასტიკური ცვლის მაგალითის შესწავლას. დასაწყისში მასწავლებელი ბავშვებს ახსენებს პლასტიკური ცვლის რაობას (მიმართავს სტრატეგიას: არსებული ცოდნის გახსენება). ყურადღებას ამახვილებს დედამიწაზე ფოტოსინთეზის მასშტაბებზე და შედეგად წარმოქმნილი ორგანული ნივთიერებების რაოდენობაზე. დაფაზე წერს ფოტოსინთეზის ჯამურ რეაქციას: $6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow{\text{სინათლის ენერგია}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2$ (გლუკოზა) + $6O_2$ აქ მნიშვნელოვანია მოხდეს ამ რეაქციის შედარება უჯრედული სუნთქვის ამსახველი რეაქციის განტოლებასთან $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{ენერგია}$ და იმის ხაზგასმა, რომ ფოტოსინთეზი მორეაგირე ნივთიერებებისა და რეაქციის შედეგად წარმოქმნილი პროდუქტების მიხედვით, უჯრედის სუნთქვის შებრუნებული პროცესია. ფოტოსინთეზის შემაჯამებელი განტოლების მიხედვით გაკვეთილის განმავლობაში პასუხი უნდა გაეცეს კითხვებს: წარმოქმნილი O_2 ნახშირორჟანგს ეკუთვნის თუ წყალს: როგორ გარდაიქმნა სინათლის ენერგია ქიმიური ბმის ენერგიად? როგორ წარმოქმნიან CO_2 და წყალი გლუკოზას (ორგანულ ნივთიერებას)?

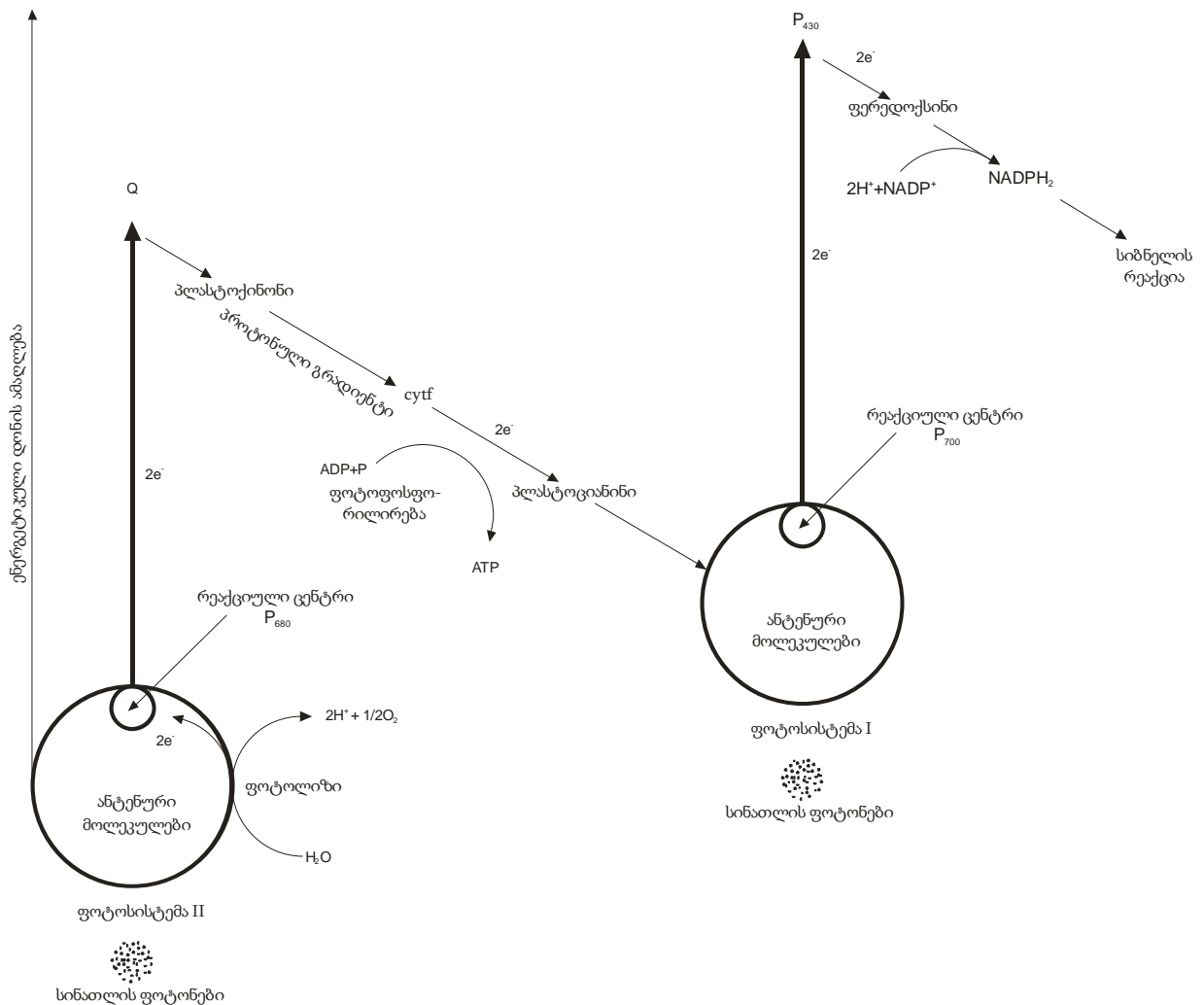
ფოტოსინთეზი ორ ეტაპად მიმდინარეობს, პირველ ეტაპს წარმოადგენს სინათლის რეაქციების ეტაპი, მეორეს კი კალვინის ციკლი, ანუ სიბნელის რეაქციები. სინათლის რეაქციების ეტაპის გარჩევის დაწყებამდე მასწავლებელი კითხვებით ეხმარება მოსწავლეებს არსებული ცოდნის გახსენებაში: ქლოროპლასტების აგებულების, მემბრანების აგებულებისა და მემბრანული სატრანსპორტო სისტემების, განსაკუთრებით ატფ-აზების აგებულების და ფუნქციონირების შესახებ. ქლოროპლასტი ორი მემბრანისაგან შედგება: გარე და შიგნითა (ისევე, როგორც მიტოქონდრია). ქლოროპლასტი სქელი სითხით – სტრომით არის ამოვსებული. მასში თილაკოიდებია, რომლებიც გრანებს ქმნიან. თილაკოიდის მემბრანებშია ჩაშენებული ქლოროპლასტები, რომლებსაც მზის სხივი ეცემა და იწყება ფოტოსინთეზის პროცესი. აქ მასწავლებელმა სასურველია გამოიყენოს წინასწარ მომზადებული სადემონსტრაციო მასალა, სადაც მზის სინათლის სხივები დახასიათებულია ფერის სიგრძისა და ენერგიის მიხედვით, რომ იისფერ და განსაკუთრებით ულტრაიისფერ სხივებს ყველაზე მოკლე ტალღა და დიდი ენერგია აქვთ, ხოლო წითელ სხივებს ყველაზე გრძელი ტალღები და მცირე ენერგია.

სანამ ქლოროფილის მოლეკულის მიერ მზის სინათლის შთანთქმაზე და თანმდევ პროცესებზე ისაუბრებს, მასწავლებელმა ბავშვებს უნდა გაახსენოს წინარე (არსებული) ცოდნა ატომის აღნაგობაზე.

სინათლის ენერგიის ქიმიურში გარდაქმნის I ეტაპი არის სინათლის შთანთქმა. ქლოროფილი პიგმენტია, რომლის მოლეკულა შთანთქავს სინათლეს. ქლოროფილი ძირითადად შთანთქავს იისფერ, ლურჯ და წითელ სინათლეს, ირეკლავს მწვანეს. ფოტოსინთეზის სინათლის სტადიის შესახებ უფრო სრული ინფორმაციის მისაწოდებლად მასწავლებელი მოსწავლეებს აცნობს დამატებით მასალას ფოტოსინთეზის შესახებ, რომელსაც ბავშვები ინიშნავენ რვეულში. ქლოროპლასტებში ქლოროფილები და სხვა პიგმენტები, რომლებიც თილაკოიდებშია ჩართული, შეკრებილია ფუნქციონალურ ერთეულებში, რომელთაც ფოტოსინთეზი ეწოდება. თითოეული ფოტოსინთეზი შეიცავს

250-400 მოლეკულას. ფოტოსისტემის ყველა პიგმენტი შთანთქავს სინათლეს, მაგრამ მხოლოდ ქლოროფილის ერთი მოლეკულა ფოტოსისტემაში იყენებს შთანთქმულ ენერგიას ფოტოქიმიურ რეაქციებში. ქლოროფილის ამ მოლეკულას ეწოდება ფოტოსისტემის რეაქციული ცენტრი. პიგმენტის სხვა მოლეკულებს ანტენური ეწოდება. ანტენური მოლეკულების მიერ შთანთქმული ენერგია აღწევს რეაქციული ცენტრის მოლეკულამდე. სწორედ ამ მოლეკულაში ენერგიის შთანთქმის შედეგად ელექტრონები გადადიან უფრო მაღალ ენერგეტიკულ დონეზე და იწვევენ ელექტრონების ნაკადს. როდესაც პროტონები გადაადგილდებიან ატფ სინთაზაში თილაკოიდის შიდა არედან სტრომაში ელექტრული და კონცენტრაციული გრადიენტის მიმართულებით. ხდება ადფ-ის ფოსფორილირება და ატფ-ის წარმოქმნა. ამ პროცესს ფოტოფოსფორილირებასაც უწოდებენ. თითოეულ 3 პროტონზე, რომელიც ატფ სინთეზაში გაივლის სინთეზდება 1 მოლეკულა ატფ. არსებობს ორი ფოტოსისტემა. პირველ ფოტოსისტემაში რეაქციული ცენტრი წარმოდგენილია ქლოროფილ a-ს სპეციფიკური მოლეკულით და აღინიშნება P₇₀₀ (P- პიგმენტი, 700 არის შთანთქმის ოპტიმუმი ნმ-ში). ფოტოსისტემა II-ის რეაქციული ცენტრიც წარმოდგენილია ქლოროფილის სპეციფიკური მოლეკულით და აღინიშნება P₆₈₀ (შთანთქმის ოპტიმუმი 680 ნმ) მთლიანობაში ორივე ფოტოსისტემა მუშაობს სინქრონულად [3].

ქლოროფილის მოლეკულის მიერ სინათლის შთანთქმის შედეგად ელექტრონები გადავა უფრო მაღალ ენერგეტიკულ დონეზე ანუ გადაინაცვლებს ბირთვიდან დაცილებული უფრო მაღალი ორბიტებისაკენ. ამის შემდეგ პროცესები შეიძლება შემდეგნაირად წარმართოს: 1) ელექტრონის ენერგია გაიზნეს სითბოს სახით; 2) შეიძლება სწრაფად გამოიყოს სინათლის ენერგიის სახით (ფლუორესცენცია); 3) შეიძლება ელექტრონი გადაადგილდეს თილაკოიდის მემბრანაში ჩაშენებულ ელექტროტრანსპორტულ ჯაჭვში და საბოლოოდ მისი ენერგია შენახულ იქნეს ქიმიური ბმების სახით (რაც ხდება კიდევ ფოტოსინთეზის პროცესში) [4]. ქლოროფილი ელექტრონებს აღიდგენს წყლის ფოტოლიზის შედეგად წარმოქმნილი ელექტრონებით. ფოტოლიზი ახალი ცნებაა და ნიშნავს სინათლის გავლენით წყლის მოლეკულის დაშლას. H_2O სინათლის ენერგია $2H^+ + 1/2O_2 + 2e^-$. ფოტოლიზში მონაწილე ფერმენტები მოთავსებულია თილაკოიდის მემბრანის შიგნითა მხარეზე. ფოტოლიზის შედეგად წარმოქმნილი ჟანგბადი უჯრედიდან გარემოში გამოიყოფა. მასწავლებელი ხაზს უსვამს, რომ ფოტოსინთეზის ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი პროდუქტი – თავისუფალი ჟანგბადი მიიღება წყლის ფოტოლიზის შედეგად. თავისუფალი ელექტრონები ხვდება თილაკოიდის მემბრანაში ჩაშენებულ ელექტროტრანსპორტული ჯაჭვის გადამტანებზე. ამ ჯაჭვის ძირითადი კომპონენტები არიან ცილები: ციტოქრომები, ქინონები, ქლოროფილი, პლასტოციანინი. ამ ჯაჭვში გადაადგილების შედეგად საბოლოოდ ელექტრონები აღმოჩნდებიან სტრომაში. პროცესს თან ახლავს პროტონების (H^+) შეტუმბვა სტრომიდან თილაკოიდის შიგნით. შედეგად თილაკოიდის მემბრანის გარეთ ქლოროპლასტის სტრომაში გროვდება უარყოფითი მუხტი, ხოლო შიგნით დადებითი, რომლის წარმოქმნაში აგრეთვე მონაწილეობენ წყლის ფოტოლიზის შედეგად წარმოქმნილი პროტონები. აქ სასურველია მასწავლებელმა თილაკოიდების მემბრანაში მიმდინარე ეს პროცესი შეადაროს მიტოქონდრიის შიგნითა მემბრანაზე მიმდინარე პროცესს.



ფოტოსინთეზის Z სქემა.

სქემა ასახავს ორი ფოტოსისტემის ერთობლივ მუშაობას, რომლის თანახმად სინათლის ენერგია შედის ფოტოსისტემა II-ში, სადაც ის გადადის რეაქციულ ცენტრზე P₆₈₀, სადაც ის აღიგზნება, მისი ელექტრონები წყვილებად გადადიან აქცეპტორზე (Q). ელექტრონები ეშვებიან ელექტროტრანსპორტულ ჯაჭვში ფოტოსისტემა I-ისკენ. ელექტრონების გადაადგილებისას, ელექტროსატრანსპორტო ჯაჭვში ხდება პროტონული გრადიენტის გენერაცია და ატფ-ის სინთეზი (ფოტოფოსფორილირება). სინათლის ენერგია ელექტრონებს გადაიტანს P₇₀₀-დან P₄₃₀-ზე, შემდეგ ფერედოქსინზე, შემდეგ NADPH-ზე. P₇₀₀ ელექტრონებს შეივსებს ფოტოსისტემა II-დან.

ელექტროსატრანსპორტო ჯაჭვში ელექტრონების გადაადგილებისას ხდება პროტონული გრადიენტის ფორმირება. პროტონული გრადიენტის ენერგიას თილაკოიდის მემბრანაში ჩაშენებული ატფ-სინთაზა იყენებს ატფ-ის სინთეზისათვის (ფოტოსინთეზის Z სქემა სასკოლო სახელმძღვანელოში წარმოდგენილ ფოტოსინთეზის სქემასთან ერთად უფო სრულ წარმოდგენას შეუქმნის მოსწავლეებს ფოტოსინთეზის სინათლის სტადიაზე). ე.ი. მოხდა ენერგიის შენახვა ატფ-ის მაკროერგულ ბმებში. აქ მთავრდება

ფოტოსინთეზის სინათლის ფაზა. ამ ფაზაში მივიღეთ ჟანგბადის და ატფ-ის მოლეკულები და პროტონები.

სინათლის ფაზა გადადის სიბნელის ფაზაში, რაც იმას ნიშნავს, რომ ამ ფაზაში რეაქციებისათვის სინათლის ენერგია საჭირო არაა. ამ ფაზაში მიმდინარე რეაქციების ერთობლიობას კალვინის ციკლი უწოდეს. ეს რეაქციები ქლოროპლასტის სტრომაში მიმდინარეობს. ატფ-ის ენერგიის გამოყენებით ფერმენტები CO_2 -ის ნახშირბადატომებს ერთმანეთთან აკავშირებენ. რეაქციაში წყალბადის და ჟანგბადის ატომებიც მონაწილეობენ და მიიღება ექვსნახშირბადიანი ორგანული მოლეკულა გლუკოზა $C_6H_{12}O_6$, რომლისგანაც შემდეგ სხვა ორგანული ნივთიერებები მიიღება.

ზემოთაღწერილი პროცესი შეიძლება მოკლედ ჩამოყალიბდეს: სინათლის ენერგია თილაკოიდის მემბრანაზე ლოკალიზებულ ქლოროფილის მოლეკულაში იწვევს ელექტრონების გადასვლას მაღალ ორბიტაზე და მის გადასვლას ელექტროსატრანსპორტო ჯაჭვში. ამ ჯაჭვში ელექტრონების გადაადგილების შედეგად ხდება პროტონული გრადიენტის წარმოქმნა. პროტონული გრადიენტის წარმოქმნაში მონაწილეობენ წყლის ფოტოლიზის შედეგად წარმოქმნილი პროტონებიც. მოლეკულური ჟანგბადი - O_2 სწორედ წყლის მოლეკულის ფოტოლიზის შედეგად მიიღება. წყლის ფოტოლიზის შედეგად მიღებული ელექტრონები იკავებენ ქლოროფილის მოლეკულიდან ამოვარდნილი ელექტრონების ადგილს. პროტონული გრადიენტის ენერგიის (იგივე პროტონმამოძრავებელი ძალის) ხარჯზე თილაკოიდის მემბრანაში ჩაშენებული ატფ სინთაზა (ფერმენტი) ახდენს ატფ-ის სინთეზს. სიბნელის რეაქციების სტადიაზე კალვინის ციკლის ფერმენტები ქლოროპლასტის სტრომაში ატფ-ის ენერგიის ხარჯზე CO_2 და წყალბადისგან ახდენენ ორგანული ნივთიერების (გლუკოზის) სინთეზს.

ლიტერატურა

1. ზოგადი ბიოლოგიის გაკვეთილები. თბილისი 1974.
2. ზაალიშვილი ნ., იოსებაშვილი ნ. ბიოლოგია X კლასი.
3. Рейвн Р., Эверт Р., Айкхорн С. Современная ботаника. М. 1990.
4. ქომეთიანი ზ. მემბრანოლოგიის შესავალი. თბ., 2004.