ԹԵՄԱ 3

Բջջային շնչառություն և ֆոտոսինթեզ

(48 ժամ)

ԽԱՉՎՈՂ ՀԱՍԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

Պատճառ և հետևանք

Տերևների գույնը պայմանավորված է լույսի սպեկտրի որոշ ալիքների անդրադարձմամբ:

Համակարգեր և համակարգային մոդելներ

Ցիտոքրոմային համակարգը կարող է համագործակցել թաղանթային այլ սպիտակուցների հետ՝ իրականացնելով էլեկտրոնների և պրոտոնների փոխադրում:

Էներգիա և Նյութ

Ֆոտոսինթեզի գործընթացում տեղի է ունենում էներգիայի փոխակերպում և նոր նյութերի սինթեզ:

Նպատակ

1. **Ներկայացնել** էներգիական և պլաստիկ փոխանակությունը:
2. **Զարգացնել** պատկերացումները ֆոտոսինթեզի և բջջային շնչառության կարևորության վերաբերյալ:
3. **Ձևավորել** պատկերացումներ բջջային շնչառության և ֆոտոսինթեզի գործընթացների վերաբերյալ:
4. **Նկարագրել** խմորման գործընթացը և դրա կիրառությունը:
5. **Զարգացնել** փորձարարական հմտություններ:

Սովորողը պետք է կարողանա՝

- **Համեմատել** ավտոտրոֆ և հետերոտրոֆ սննդառությունների առանձնահատկությունները՝ բերելով օրինակներ:
- **Տարբերակել** պլաստիկ և էներգիական փոխանակությունները. սինթեզ (անբոլիզմ) և քայքայում (կատաբոլիզմ):
- **Նկարագրել** կենդանի օրգանիզմների համար էներգիայի անհրաժեշտությունը՝ պարզաբանելով դրա դերը սինթեզի ռեակցիաների, ակտիվ փոխադրման, շարժման և մարմնի ջերմաստիճանի պահպանման առումով:
- **Նկարագրել** բջջային շնչառությունը՝ որպես բջիջներում օրգանական միացություններից էներգիայի ստացման գործընթաց (ԱԵՖ-ի մակրոէրգիկ կապերում առկա էներգիայի տեսքով):
- **Նկարագրել** ԱԵՖ-ի կառուցվածքը՝ որպես ֆոսֆորիլացված նուկլեոտիդ:

- **Նկարագրել** ԱԵՖ-ի՝ որպես էներգիայի համընդհանուր կրողի դերը:
- **Բնութագրել** գլիկոլիզը՝ որպես գլյուկոզի ֆոսֆորիլացման, առաջացած հեքսոզ-6-ֆոսֆատի ճեղքավորման և օքսիդացման աստիճանական ռեակցիաների շղթա, որի արդյունքում առաջանում է երկու մոլեկուլ պիրոխաղողաթթու, երկու մոլեկուլ ԱԵՖ և երկու մոլեկուլ վերականգնված ՆԱԴ:
- **Բացատրել**, որ թթվածնի առկայության դեպքում պիրոխաղողաթթուն փոխակերպվում է ացետիլ կոֆերմենտ A-ի (2C), որը հետագայում դառնում է Կրեբսի ցիկլի ելանյութ:
- **Բնութագրել** Կրեբսի ցիկլը ընդհանուր գծերով, բացատրել, որ ացետիլ կոֆերմենտ A-ից (2C) և թրթնջկաքացախաթթվից՝ օքսալոացետատից առաջանում է կիտրոնաթթու, որը վերափոխակերպվում է օքսալոացետատի միտոքոնդրիումների մատրիքսում տեղի ունեցող մի շարք ցիկլիկ ռեակցիաների միջոցով (լրացուցիչ մանրամասներ պետք չեն), որոնց արդյունքում առաջանում է ածխածնի երկօքսիդ, ԱԵՖ և վերականգնված ՆԱԴ:
- **Նկարագրել** միտոքոնդրիումների ներքին թաղանթի՝ կրիստների վրա էլեկտրոնափոխադրիչ շղթայի հետ կապված ԱԵՖ-ի կենսասինթեզը (էլեկտրոնափոխադրիչների վերաբերյալ մանրամասներ պետք չեն), ինչպես նաև թթվածնի՝ որպես էլեկտրոններ ընդունողի (ակցեպտոր) դերը:
- **Համեմատել** բջջային շնչառության երեք փուլերի՝ գլիկոլիզի, Կրեբսի ցիկլի, էլեկտրոնափոխադրիչ շղթայի ելանյութերը, վերջնանյութերը, էներգիական ելքը և տեղակայումը բջջում:
- **Համեմատել** խմորման տարբեր ձևերի ելանյութերը և վերջնանյութերը:
- **Բացատրել** ածխաջրերի, լիպիդների և սպիտակուցների մոլեկուլների էներգիական արժեքը:
- **Բացատրել** լուսային էներգիայի դերը ֆոտոսինթեզի լուսային փուլում ջրի ֆոտոլիզի գործընթացում:
- **Բացատրել** տեսանելի լույսի սպեկտրի և ֆոտոսինթեզի գործընթացի կապը:
- **Բացատրել**, թե լույսը, ջերմությունը, ածխաթթու գազի կոնցենտրացիան և ջրի քանակն ինչպես են ազդում ֆոտոսինթեզի արագության վրա:
- **Նկարագրել** երկշաքիլների տերևի կառուցվածքը, մեզոֆիլային շերտի սյունաձև բջիջներն ու քլորոպլաստները և կապել դրանց կառուցվածքը գործառույթի հետ:
- **Քննարկել** քլորոպլաստի գունանյութերի դերը լույսի սպեկտրի կլանման մեջ:
- **Նկարագրել** քլորոֆիլի ֆոտոակտիվացումը, որի արդյունքում տեղի է ունենում ջրի ֆոտոլիզ և ԱԵՖ-ի սինթեզ, ինչպես նաև՝ ՆԱԴՖ-ի վերականգնում (ցիկլիկ ֆոտոֆոսֆորիլացումը նկարագրել չի պահանջվում):
- **Նկարագրել** ԱԵՖ-ի և վերականգնված ՆԱԴՖ-ի օգտագործումը ֆոտոսինթեզի մթնային փուլում:
- **Նկարագրել** Կալվինի ցիկլը ընդհանուր գծերով, ներառյալ ածխածնի երկօքսիդի՝ լույսից անկախ ֆիքսումը 5C բաղադրիչի հետ միանալու

միջոցով և երկու 3C բաղադիրչների առաջացումը, ինչպես նաև գլիցերալդեհիդ-3-ֆոսֆատի փոխակերպումը ածխաջրերի, լիպիդների և ամինաթթուների:

- **Քննարկել** ֆոտոսինթեզի սահմանափակող գործոնները և իրականացնել հետազոտություն ֆոտոսինթեզի արագության վրա լույսի ինտենսիվության և տեսանելի լույսի ալիքի երկարության, ածխածնի երկօքսիդի և ջերմաստիճանի ազդեցության վերաբերյալ:
- **Բացատրել** C4 բույսերի, օրինակ՝ եգիպտացորենի տերևների կառուցվածքի և ֆիզիոլոգիայի հարմարվածությունը բարձր ջերմաստիճանին և ածխածնի երկօքսիդի բարձր կոնցենտրացիային:
- Ընդհանուր գծերով **բացատրել** քեմոսինթեզը՝ բերելով քեմոսինթետիկ բակտերիաների օրինակներ:
- **Համեմատել** քեմոսինթեզը և ֆոտոսինթեզը:

Պլաստիկ և էներգետիկ փոխանակություն (2 ժամ)
Էներգիայի կարիքը կենդանի օրգանիզմներում

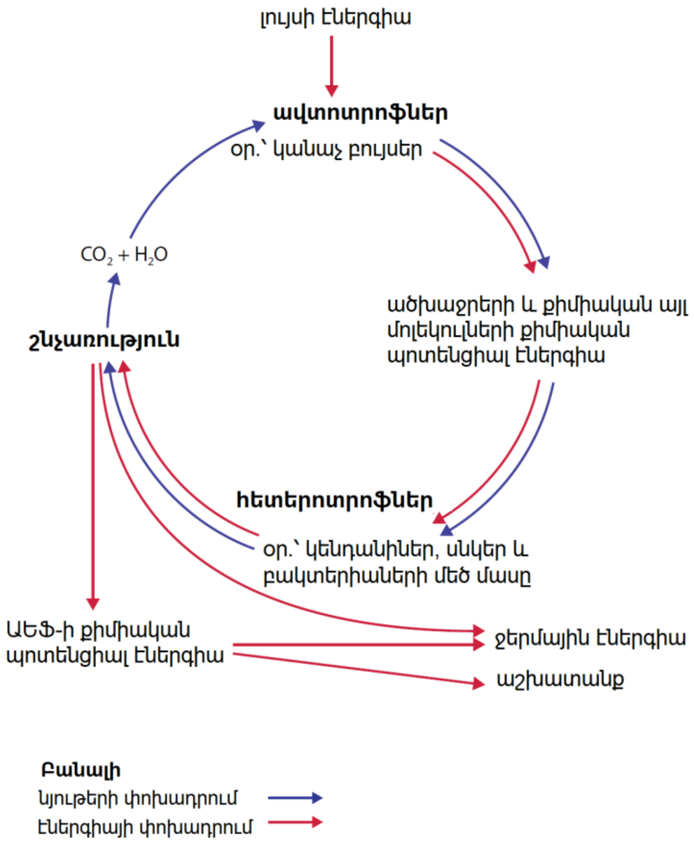
Բոլոր կենդանի օրգանիզմները կենդանի մնալու համար պահանջում են էներգիայի շարունակական պաշար կա՛մ լույսի էներգիայի կլանումից, կա՛մ քիմիական պոտենցիալ էներգիայից (սննդանյութի մոլեկուլներում պահվող էներգիան): Ֆոտոսինթեզի գործընթացում լույսի էներգիան վերածվում է քիմիական պոտենցիալ էներգիայի, և այդ պատճառով Երկրի վրա գրեթե ամբողջ կյանքը ուղղակի կամ անուղղակի կերպով կախված է ֆոտոսինթեզից: Ֆոտոսինթեզը կենդանի օրգանիզմների երկու կարևոր պահանջ է բավարարում՝ մատակարարելով էներգիա և ածխածնի օգտագործելի միացություններ:

Կենսաբանական բոլոր մակրոմոլեկուլները, ինչպիսիք են ածխաջրերը, լիպիդները, սպիտակուցները և նուկլեինաթթուները, պարունակում են ածխածին: Ուստի բոլոր կենդանի օրգանիզմները ածխածնի աղբյուրի կարիք ունեն: Օրգանիզմները, որոնք կարող են անօրգանական ածխածնի աղբյուր օգտագործել ածխածնի երկօքսիդը, կոչվում են ավտոտրոֆներ: Պատրաստի օրգանական ածխածնի մատակարարման կարիք ունեցողները հետերոտրոֆ են:

Օրգանական մոլեկուլը միացություն է, որում ածխածին և ջրածին կա: Այս եզրույթն ի սկզբանե նշանակում էր օրգանիզմից ստացված մոլեկուլ, բայց այժմ

ներառում է ածխածնի և ջրածնի բոլոր միացությունները, եթե նույնիսկ դրանք բնական եղանակով չեն առաջանում:

Կենդանի օրգանիզմները օրգանական մոլեկուլները կարող են օգտագործել երկու եղանակով: Դրանք կարող են ծառայել օրգանիզմին որպես «կառուցման աղյուսներ» այլ անհրաժեշտ օրգանական մոլեկուլներ պատրաստելու համար և կարող են ներկայացնել քիմիական պոտենցիալ էներգիա, որը կարող է անջատվել շնչառության ժամանակ մոլեկուլների ճեղքման շնորհիվ (էջ 272): Այս էներգիան այնուհետև կարող է օգտագործվել աշխատանքի բոլոր ձևերի համար: Հետերոտրոֆները կախված են ավտոտրոֆներից ինչպես նյութերի, այնպես էլ էներգիայի պահանջը լրացնելու համար (նկար 12.2):



Նկար 12.2 Նյութերի և էներգիայի փոխադրումը էկոհամակարգում

Աշխատանք

Աշխատանքը կենդանի օրգանիզմներում ներառում է՝

■ բարդ նյութերի սինթեզը ավելի պարզ նյութերից (անաբոլիկ ռեակցիաներ), ինչպիսիք են բազմաշաքարների սինթեզը միաշաքարներից, լիպիդների սինթեզը գլիցերինից և ճարպաթթուներից, պոլիպեպտիդների սինթեզը ամինաթթուներից և նուկլեինաթթուների սինթեզը նուկլեոտիդներից,

■ նյութերի ակտիվ փոխադրումը դիֆուզիայի գրադիենտի հակառակ ուղղությամբ, ինչպիսին է նատրիում-կալիումական պոմպի գործունեությունը (նկար 4.18, էջ 87),

■ մեխանիկական աշխատանքը, ինչպիսիք են մկանների կծկումը (էջ 344) և այլ բջջային շարժումները. օրինակ՝ թարթիչների և մտրակի շարժում (էջ 189), ամեոբայանման շարժումները և բշտիկների շարժումը ցիտոպլազմայով,

■ մի քանի օրգանիզմներում՝ կենսաբանական լյումինեսցենցիա և էլեկտրական պարպում:

Կաթնասուններն ու թռչուններն օգտագործում են ջերմային էներգիա (ջերմություն), որն անջատվում է նյութափոխանակային ռեակցիաներից՝ մարմնի կայուն ջերմաստիճանը պահպանելու համար: Կենդանիների մեծ մասը սառնարյուն է, անջատում է այնքան ջերմային էներգիա, որ անհրաժեշտության դեպքում պահպանի շրջապատի ջերմաստիճանից բարձր մարմնի ջերմաստիճան: Նրանք նաև պահպանում են մարմնի կայուն ջերմաստիճանը բացասական հետադարձ կապի միջոցով:

Որպեսզի կենդանի օրգանիզմն աշխատանք կատարի, էներգիա պահանջող ռեակցիաները պետք է կապվեն էներգիա արտադրող ռեակցիաների հետ: Թթվածնային պայմաններում գլյուկոզի ($C6H12O6$) ամբողջական օքսիդացման դեպքում մեծ քանակությամբ էներգիա է մատչելի դառնում.

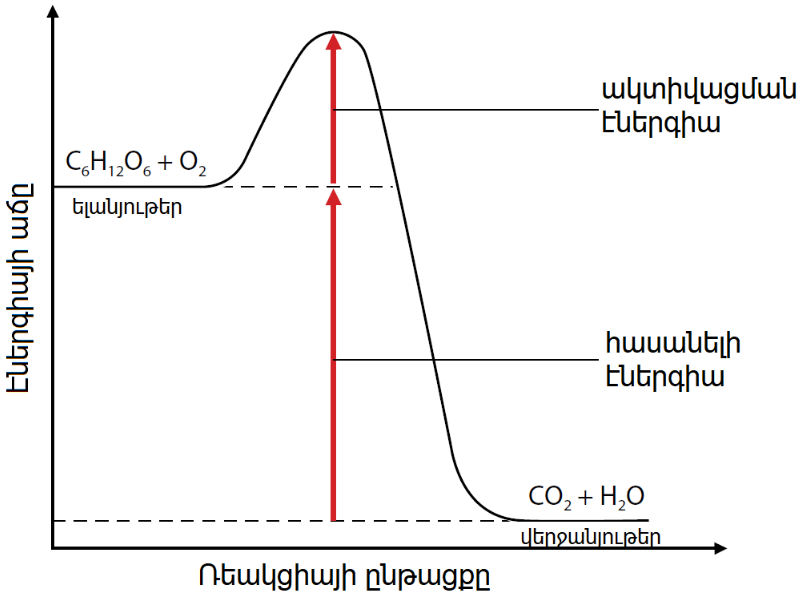
$C6H12O6 + 6O2 \rightarrow 6CO2 + 6H2O + 2870$ կՋ

Այսպիսի ռեակցիաները տեղի են ունենում մի շարք փոքր քայլերով, որոնցից յուրաքանչյուրի ժամանակ մատչելի ընդհանուր էներգիայի փոքր քանակ

է անջատվում: Բազմաքայլ ռեակցիաները թույլ են տալիս ճշգրիտ վերահսկել հետադարձ մեխանիզմների միջոցով (գլուխ 3): Ավելին, բջիջը չէր կարողանա արդյունավետ օգտագործել ընդհանուր մատչելի էներգիան, եթե ամբողջ էներգիան հասանելի լիներ մեկ ակնթարթում:

Թեև գլյուկոզի լիակատար օքսիդացումը ածխածնի երկօքսիդի և ջրի շատ բարձր էներգիական ելք ունի, այդ ռեակցիան հեշտությամբ տեղի չի ունենում: Գլյուկոզի մոլեկուլը իրականում բավականին կայուն է ակտիվացման էներգիայի պատճառով, որը պետք է ավելացվի, մինչև որևէ ռեակցիա տեղի ունենա (նկար 12.3): Կենդանի օրգանիզմներում ակտիվացման էներգիան հաղթահարվում է՝ ֆերմենտների միջոցով այն նվազեցնելով, ինչպես նաև գլյուկոզի էներգիայի մակարդակը բարձրացնելով:

Տեսականորեն շնչառության յուրաքանչյուր քայլի ժամանակ անջատված էներգիան կարող էր ուղղակիորեն օգտագործվել բջիջում որևէ աշխատանք կատարելու համար: Սակայն իրականում գործում է շատ ավելի ճկուն համակարգ, որի դեպքում բոլոր օրգանիզմներում էներգիա անջատող ռեակցիաների ժամանակ սինթեզվում է միջնորդ մոլեկուլ՝ ԱԵՖ:



Նկար 12.3 Գլյուկոզի օքսիդացումը

Տե՛ս հղումը՝

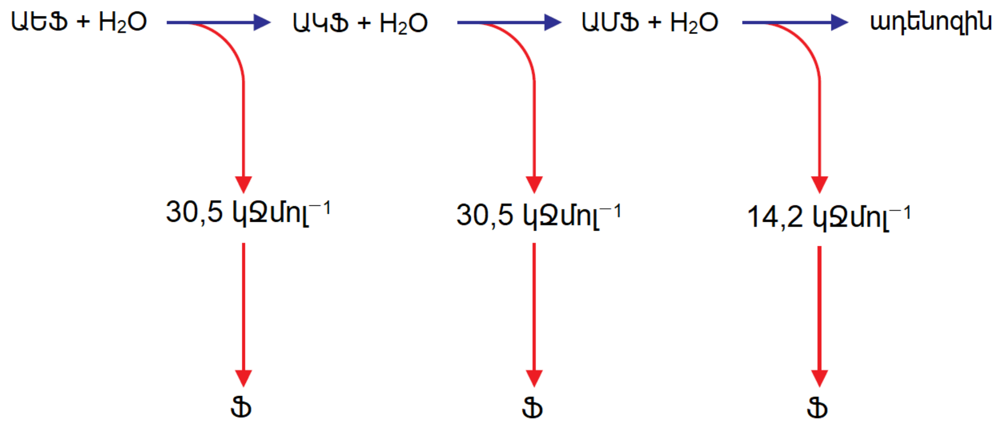
https://drive.google.com/drive/folders/1Fj06lFFtrJb1jofeMYt-zKpnPlTcB1uN

ԱԵՖ (1 ժամ)

Սովորողներին տրվող նյութ

ԱԵՖ-ը՝ որպես էներգիայի «արժույթ»

Վերհիշենք ԱԵՖ-ի կառուցվածքը: Երբ ֆոսֆատային խումբը հեռացվում է ԱԵՖ-ից, առաջանում է ադենոզին կրկնաֆոսֆատ (ԱԿՖ) և 30,5 կՋմոլ$^{-1}$ էներգիա է անջատվում: Երկրորդ ֆոսֆատի հեռացման դեպքում առաջացնում է ադենոզին միաֆոսֆատ (ԱՄՖ), և կրկին 30,5 կՋմոլ$^{-1}$ էներգիա է անջատվում: Վերջին ֆոսֆատի հեռացման դեպքում, երբ մնում է միայն ադենոզինը, անջատվում է ընդամենը 14,2 կՋմոլ$^{-1}$ էներգիա (նկար 12.4): Նախկինում արտաքին ֆոսֆատային երկու խմբերը միացնող կապերը համարվել են բարձր էներգիա ունեցող կապեր, քանի որ դրանց ճեղքման ժամանակ ավելի շատ էներգիա է անջատվում, քան վերջին ֆոսֆատը պոկելու ժամանակ: Այս նկարագրությունը ապակողմնորոշիչ է և պետք է խուսափել դրանից, քանի որ էներգիան գալիս է ոչ թե պարզապես այդ կապերը ճեղքելուց, այլ համակարգի բոլոր մասերի քիմիական պոտենցիալ էներգիայի փոփոխություններից:



Նկար 12.4 ԱԵՖ-ի հիդրոլիզը (Ֆ-ն օրգանական ֆոսֆատն է, H_3PO_4)

Այս բոլոր ռեակցիաները դարձելի են: ԱԵՖ-ի և ԱԿՖ-ի՝ մեկը մյուսին փոխակերպվելն է, որ կարևոր է բջջին անհրաժեշտ էներգիան ապահովելու համար.

ԱԵՖ + H_2O = ԱԿՖ + H_3PO_4 ± 30,5 կՋ

Փոխադարձ փոխակերպման արագությունը շատ մեծ է: Հաշվարկվում է, որ հանգստի վիճակում մարդը 24 ժամվա ընթացքում օգտագործում է մոտ 40 կգ ԱԵՖ, բայց ցանկացած պահի ունի ընդամենը մոտ 5 գ ԱԵՖ: Շատ ակտիվ մարզվելիս կարող է մեկ րոպեում 0,5 կգ ԱԵՖ ճեղքվել:

Բջջի՝ էներգիա արտադրող ռեակցիաները կապված են ԱԵՖ-ի սինթեզի հետ: Բջիջը ԱԵՖ-ն օգտագործում է աշխատանքի բոլոր ձևերն իրականացնելիս: ԱԵՖ-ը համընդհանուր միջնորդ մոլեկուլ է բջիջում ընթացող էներգիա արտադրող և էներգիայի կարիք ունեցող ռեակցիաների միջև՝ անկախ բջիջների տեսակից: Այլ կերպ ասած, ԱԵՖ-ը բջիջի «էներգիայի արժույթն» է: Բջիջն «առևտուր» է անում ԱԵՖ-ով մի շարք տարբեր միջանկյալ մոլեկուլներ օգտագործելու փոխարեն: ԱԵՖ-ն այս դերի համար շատ հարմար մոլեկուլ է: Այն ոչ միայն հեշտությամբ հիդրոլիզվում է՝ անջատելով էներգիա, այլև փոքր է և լուծվում է ջրում: Դա հնարավորություն է տալիս, որ այն հեշտությամբ տեղափոխվի բջիջում:

Էներգիայի փոխանցումներն անարդյունավետ են: Երբ էներգիան փոխանցվում է, որոշ էներգիա վերածվում է ջերմայինի: Շնչառության պես բազմաքայլ ռեակցիայի տարբեր փուլերում մատչելի էներգիան կարող է կատարելապես չհամապատասխանել ԱԵՖ սինթեզելու համար անհրաժեշտ էներգիային: Ցանկացած ավելցուկային էներգիա վերածվում է ջերմայինի: Բացի այդ, բջիջներում էներգիա պահանջող շատ ռեակցիաներ ավելի քիչ էներգիա են օգտագործում, քան ԱԿՖ-ի առաջացմամբ ԱԵՖ-ի հիդրոլիզի ժամանակ անջատվող էներգիան է: Դարձյալ ցանկացած ավելցուկային էներգիա անջատվում է որպես ջերմային էներգիա:

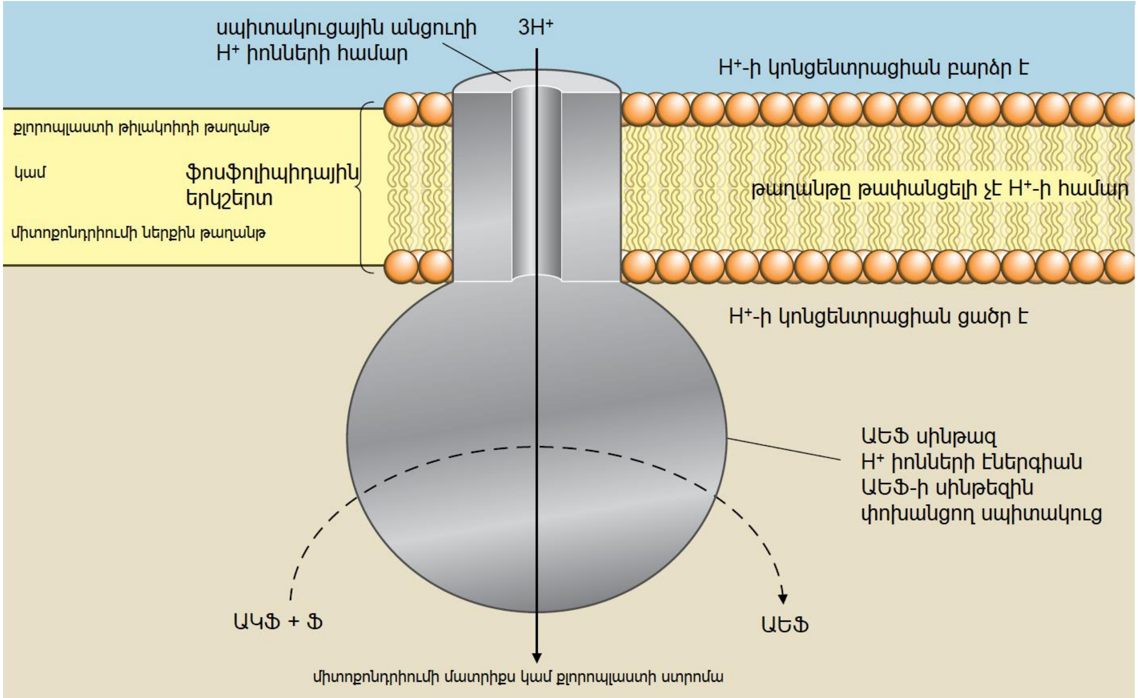
Ջգույշ եղիր այն մոլեկուլները տարբերակելիս, որոնք օգտագործվում են որպես էներգիայի արժույթ և որպես էներգիայի պահուստ: Էներգիայի արժույթի մոլեկուլը հանդես է գալիս որպես էներգիայի անմիջական դոնոր բջիջի էներգիա պահանջող ռեակցիաների համար: Էներգիա պահեստավորող մոլեկուլը քիմիական պոտենցիալ էներգիայի կարճաժամկետ (գլյուկոզ կամ սախարոզ) կամ երկարաժամկետ (գլիկոգեն, օսլա կամ եռգլիցերիդ) պաշար է:

ԱԵՖ-ի սինթեզը

Էներգիան ԱԵՖ-ի սինթեզի համար կարող է հասանելի լինել երկու եղանակով: Շնչառության ժամանակ գլիկոլիզի և Կրեբսի ցիկլի ընթացքում քիմիական կապերը (քիմիական պոտենցիալ էներգիա) վերադասավորելու ընթացքում անջատված էներգիան օգտագործվում է որոշ քանակությամբ ԱԵՖ արտադրելու համար: Սակայն բջիջներում ԱԵՖ-ի մեծ մասն առաջանում է էլեկտրական պոտենցիալ էներգիայի օգտագործմամբ: Այս էներգիան առաջանում է միտոքոնդրիումներում և քլորոպլաստներում էլեկտրոնի կրիչների կողմից էլեկտրոնների փոխանցումից: Այն պահվում է որպես պրոտոնների (ջրածնի իոնների) կոնցենտրացիայի տարբերություն միտոքոնդրիումների և քլորոպլաստների որոշ ֆոսֆոլիպիդային թաղանթներում, որոնք, ըստ էության, անթափանց են պրոտոնների համար: Դրանից հետո պրոտոններին թույլատրվում է հոսել իրենց կոնցենտրացիայի գրադիենտի ուղղությամբ (հեշտացված դիֆուզիոն միջոցով) մի սպիտակուցի միջով, որը տեղակայված է ֆոսֆոլիպիդային երկշերտում: Այս սպիտակուցի մի մասը գործում է որպես ֆերմենտ, որը սինթեզում է ԱԵՖ և կոչվում է **ԱԵՖ սինթազ**: Երեք պրոտոնների տեղափոխումը թույլ է տալիս արտադրել ԱԵՖ-ի մեկ մոլեկուլ, պայմանով, որ օրգանոիդի ներսում առկա են ԱԿՖ և անօրգանական ֆոսֆատային խումբ (Ֆ): Այս գործընթացը տեղի է ունենում ինչպես միտոքոնդրիումներում, այնպես էլ քլորոպլաստներում և ամփոփված է նկար 12.5-ում: Այս գործընթացն առաջին անգամ առաջարկել է Փիթեր Միտչելը 1961թ., կոչվում է **քեմիօսմոս**:

Նշենք, որ ջրածնի ատոմը բաղկացած է մեկ պրոտոնից և մեկ էլեկտրոնից: Էլեկտրոն կորցնելիս առաջանում է ջրածնի իոն, որը մեկ պրոտոն է.

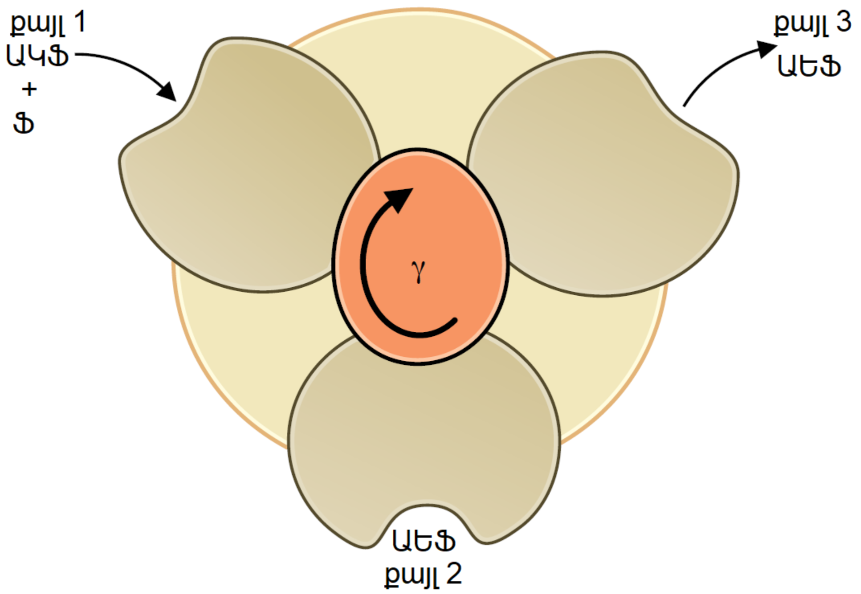
$$H \rightleftharpoons H^+ + e^-$$



Նկար 12.5 ԱԵՖ սինթեզը (քեմիօսմոս)

ԱԵՖ սինթազը երեք կապող հատված ունի (նկար 12.6), և մոլեկուլի մի մասը (γ) պտտվում է, երբ ջրածնի իոններն (H^+) անցնում են: Սա կառուցվածքային փոփոխություններ է առաջացնում կապող հատվածներում և թույլ է տալիս հաջորդական երեք փուլերի ընթացքը.

- ԱԿՖ-ի և Ֆ-ի միացում,
- ԱԵՖ-ի առաջացում,
- ԱԵՖ-ի անջատում:



Նկար 12.6 ԱԵՖ սինթազի լայնակի կտրվածքը (ԼԿ), որտեղ երևում է վերջինիս աշխատանքը

ՀԱՐՑ

12.1 Գրիր ԱԵՖ սինթազով կատալիզվող ռեակցիայի հավասարումը:

ԱԵՖ-ի դերը ակտիվ փոխադրման ժամանակ

Ակտիվ փոխադրումը մոլեկուլների կամ իոնների շարժումն է մասամբ թափանցելի թաղանթի միջով իրենց կոնցենտրացիայի գրադիենտի հակառակ ուղղությամբ: ԱԵՖ-ի էներգիան անհրաժեշտ է այդ մասնիկների՝ իրենց կոնցենտրացիայի գրադիենտի ուղղությամբ շարժվելու հակվածությանը հակազդելու համար:

Բջիջներում իոնների, մասնավորապես՝ նատրիումի և կալիումի իոնների կոնցենտրացիաները տարբեր են բջջի ներսում և դրանց շրջապատող լուծույթում: Բջիջների մեծ մասի բջջաթաղանթում կան նատրիումի պոմպեր, որոնք բջիջից դուրս են մղում նատրիումի իոնները: Սովորաբար դա զուգորդվում է շրջապատող լուծույթից կալիումի իոնները պոմպով դեպի բջջի ներսը մղելու հետ:

Նատրիում-կալիումական պոմպը սպիտակուց է, որը ներդրված է բջջաթաղանթում (նկար 4.18): Այն ներսից ունի նատրիումի իոնների (Na^+) և ԱԵՖ-ի

միանալու հատվածներ և կալիումի իոնների (K^+) միանալու հատվածներ՝ արտաքին կողմում: Սպիտակուցը գործում է որպես ԱԵՖ-ազ և կատալիզում է ԱԵՖ-ի հիդրոլիզը ԱԿՖ-ի և անօրգանական ֆոսֆատի՝ անջատելով էներգիա, որն օգտագործվում է պոմպն աշխատեցնելու համար: Սպիտակուցի ձևի փոփոխությունների շնորհիվ նատրիումի և կալիումի իոնները տեղափոխվում են թաղանթով հակառակ ուղղությամբ: Օգտագործված յուրաքանչյուր ԱԵՖ-ի համար կալիումի երկու իոն տեղափոխվում է բջիջ, և նատրիումի երեք իոն դուրս է գալիս բջիջից: Քանի որ բջիջից դուրս եկած նատրիումի յուրաքանչյուր երեք իոնների համար բջիջների պարունակությանն ավելացվում է կալիումի միայն երկու իոն, թաղանթի երկու կողմերում առաջանում է պոտենցիալների տարբերություն, որը բացասական է ներսում՝ դրսի նկատմամբ: Ինչպես նատրիումի, այնպես էլ կալիումի իոնները հետ են հոսում թաղանթի միջով՝ ըստ իրենց կոնցենտրացիայի գրադիենտների նվազման ուղղության: Սակայն բջջաթաղանթները շատ ավելի քիչ են թափանցելի նատրիումի իոնների, քան կալիումի իոնների համար, ուստի այս տարբերությունը իրականում մեծացնում է թաղանթի պոտենցիալ տարբերությունը:

Պոտենցիալների հնարավոր տարբերությունն առավել նկատելի է նյարդային բջջի հանգստի պոտենցիալի համար: Նյարդային բջիջի մասնագիտացումներից մեկը նատրիում-կալիումական պոմպի գործունեության արդյունքում բջջաթաղանթում պոտենցիալ տարբերության մեծացումն է:

Չի կարելի թերագնահատել ակտիվ փոխադրման կարևորությունը իոնների՝ բջջից դուրսուներս շարժվելու մեջ: Հանգստի վիճակում գտնվող կաթնասունի օգտագործած ԱԵՖ-ի մոտ 50%-ը ծախսվում է բջիջների իոնային պարունակության պահպանման համար:

ԱԵՖ և բջջային աշխատանք

Սննդից ստացվող ածխաջրերը, ճարպերը և այլ վառելիքային մոլեկուլները ուղղակիորեն չեն սնում մեր բջիջներում կատարվող աշխատանքը: Իրականում բջջային շնչառության ընթացքում օրգանական մոլեկուլների ճեղքումից արտազատված քիմիական էներգիան օգտագործվում է ԱԵՖ-ի մոլեկուլների

սինթեզի համար: ԱԵՖ-ի այս մոլեկուլներն այնուհետև բջջային աշխատանքին էներգիա են տրամադրում: ԱԵՖ-ը գործում է էներգետիկ մարտկոցի նման՝ պահելով սննդից ստացված էներգիան և հետագայում անհրաժեշտության դեպքում արտազատելով այն:

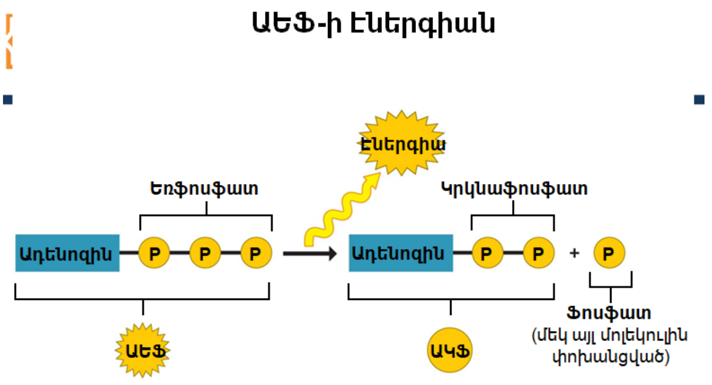
ԱԵՖ-ի կառուցվածքը

ԱԵՖ հապավումը նշանակում է ադենոզին եռֆոսֆատ: **ԱԵՖ**-ը կազմված է ադենոզին կոչվող օրգանական մոլեկուլից՝ ավելացրած երեք ֆոսֆատային խմբերով պոչիկը ((P)) (**նկար 5.4**): Եռֆոսֆատային պոչիկը ԱԵՖ-ի «աշխատող» ծայրն է, այն մասը, որն էներգիա է ապահովում բջջային աշխատանքի համար: Յուրաքանչյուր ֆոսֆատային խումբ լիցքավորված է բացասական: Բացասական լիցքերը վանվում են մեկը մյուսից: Եռֆոսֆատային պոչիկի բացասական լիցքերի ամպը ներդրում ունի ԱԵՖ-ի պոտենցիալ էներգիայի մեջ: Դա նման է սեղմված զսպանակում կուտակված էներգիային, եթե զսպանակը բաց թողնես, այն «կթուլանա», և դու կարող ես այդ ձգվածությունն օգտագործել որոշակի օգտակար աշխատանք կատարելու համար: ԱԵՖ-ի ուժի դեպքում ֆոսֆատն անջատվում է եռֆոսֆատային պոչիկի ծայրից, ինչը էներգիա է տրամադրում բջիջների գործունեության համար: Մնում է **ԱԿՖ**-ն՝ ադենոզին կրկնաֆոսֆատը (երեքի փոխարեն երկու ֆոսֆատային խումբ, տե՛ս նկար 5.4-ը):

Ֆոսֆատի տեղափոխումը

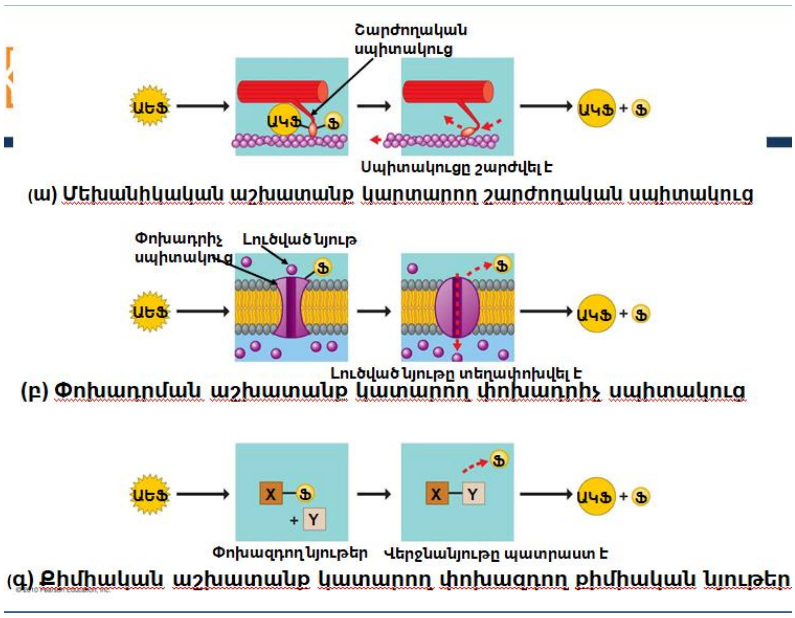
Երբ ԱԵՖ-ը բջիջների աշխատանքի համար էներգիա է տրամադրում, ֆոսֆատային խմբերն ուղղակի չեն ցրվում տարածության մեջ: ԱԵՖ-ը բջջի մյուս մոլեկուլներին ակտիվացնում է՝ ֆոսֆատային խումբն այդ մոլեկուլների վրա տեղափոխելով: Ֆոսֆատային խմբերի այսպիսի տեղափոխումը բջիջներին օգնում է իրականացնելու աշխատանքի երեք հիմնական տեսակները՝ մեխանիկական աշխատանք, փոխադրման աշխատանք և քիմիական աշխատանք:

Պատկերացրու՝ հեծանվորդը բլրով վեր է բարձրանում: Հեծանվորդի ոտքերի մկանային բջիջների դեպքում ԱԵՖ-ը ֆոսֆատային խմբերը տեղափոխում է շարժողական սպիտակուցների վրա: Այնուհետև սպիտակուցները փոխում են իրենց տարածական ձևը՝ հանգեցնելով մկանային բջիջների կծկման և մեխանիկական աշխատանքի կատարման (**նկար 5.5ա**): ԱԵՖ-ը նաև հեծանվորդի ուղեղի բջիջների թաղանթների միջով իոնների և այլ նյութերի տեղափոխման հնարավորություն է տալիս (**նկար 5.5բ**): Իոնների տեղափոխումը ուղեղի բջիջներին նախապատրաստում է մկաններին և այլ հյուսվածքներին ազդանշաններ հաղորդելու գործընթացին: ԱԵՖ-ը նաև էներգիայով ապահովում է բջջային որոշ մեծ մոլեկուլներ կառուցելու քիմիական աշխատանքը (**նկար 5.5գ**): Նկար 5.5-ում կրկին ուշադրություն դարձրու, որ աշխատանքի այս բոլոր տեսակներն իրականանում են, երբ թիրախ մոլեկուլները ԱԵՖ-ից մեկ ֆոսֆատային խումբ են ընդունում:



Նկար 5.4. ԱԵՖ-ի էներգիան

ԱԵՖ-ի եռֆոսֆատային պոչիկի յուրաքանչյուր P իրենից ներկայացնում է մեկ ֆոսֆատային խումբ՝ ֆոսֆորի ատոմը միացած թթվածնի ատոմներին: Ֆոսֆատի տեղափոխումը եռֆոսֆատային պոչիկից այլ մոլեկուլներին բջջային գործունեության ապահովում է անհրաժեշտ էներգիայով:



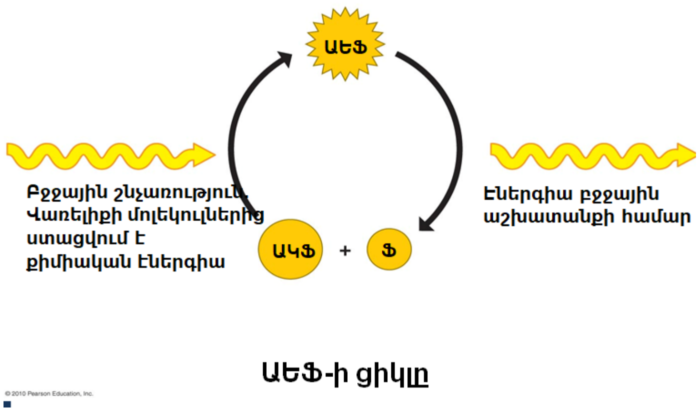
Նկար 5.5. Ինչպես է ԱԵՖ-ն ապահովում բջջային աշխատանքը

Այստեղ պատկերված յուրաքանչյուր աշխատանքի տեսակ իրականացվում է, երբ ֆերմենտները ֆոսֆատային խումբն ԱԵՖ-ից տեղափոխում են ընդունող մոլեկուլ:

ԱԵՖ-ի ցիկլը

Քո բջիջներն անընդհատ ԱԵՖ են ծախսում: Բարեբախտաբար դա վերականգնվող պաշար է: ԱԵՖ-ը կարելի է վերականգնել՝ ֆոսֆատային խումբը նորից ԱԿՖ-ին վերադարձնելով: Դա, զսպանակը սեղմելու նման, էներգիա է պահանջում: Ահա թե ուր է սնունդը վերադառնում այս պատմության մեջ:

Քիմիական էներգիան, որը բջջային շնչառությունը ստանում է շաքարներից և այլ օրգանական վառելիքներից, օգտագործվում է բջիջի ԱԵՖ-ի պաշարների վերականգնման համար: Բջջային աշխատանքը ծախսում է ԱԵՖ, որը վերականգնվում է, երբ ԱԿՖ-ն և ֆոսֆատը միանում են՝ օգտագործելով բջջային շնչառության արտազատած էներգիան (**նկար 5.6**): Այսպիսով, այս էներգիա առաջացնող գործընթացների էներգիան, օրինակ՝ օրգանական վառելիքների ճեղքման էներգիան փոխանցվում է այնպիսի էներգիա սպառող գործընթացներին, ինչպիսիք են մկանային կծկումը և բջջային այլ աշխատանքները: ԱԵՖ-ի ցիկլում երրորդ ֆոսֆատային խումբը գործում է որպես էներգետիկ մաքոք:



Նկար 5.6. ԱԵՖ-ի ցիկլը

ԱԵՖ-ի ցիկլն ընթանում է ապշեցուցիչ արագությամբ: Աշխատող մկանային բջիջներն իրենց ամբողջ ԱԵՖ-ը վերականգնում են յուրաքանչյուր րոպեում մոտավորապես մեկ անգամ: Այսինքն՝ մեկ բջջում մեկ վայրկյանում ծախսվում և վերականգնվում է մոտավորապես 10 միլիոն ԱԵՖ-ի մոլեկուլ: √

√ <u>ՍՏՈՒԳԻՉ ՀԱՐՑ</u>

1. Մեկնաբանիր, թե ինչպես է ԱԵՖ-ն էներգիայով ապահովում բջջային աշխատանքը:
2. Որն է ԱԿՖ-ից ԱԵՖ-ի վերկանգնման համար անհրաժեշտ էներգիայի աղբյուրը:

   Պատասխաններ. **1.** *ԱԵՖ-ը ֆոսֆատային խումբը փոխանցում է մեկ այլ մոլեկուլի՝ մեծացնելով այդ մոլեկուլի էներգիայի պարունակությունը:* **2.** *Բջջային շնչառության ճանապարհով շաքարներից և այլ օրգանական վառելիքից ստացվող քիմիական էներգիան:*

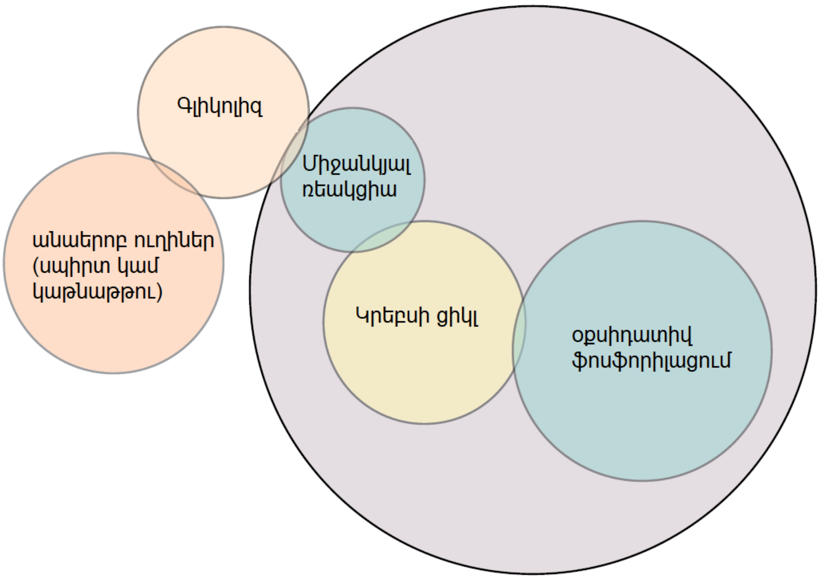
Բջջային շնչառություն.ակնարկ (4 ժամ)

Սովորողներին տրվող նյութ

Շնչառությունն այն գործընթացն է, որում օրգանական մոլեկուլները հանդես են գալիս որպես վառելիք: Օրգանական մոլեկուլները ճեղքավորվում են մի շարք փուլերով՝ անջատելով քիմիական պոտենցիալ էներգիա, որն օգտագործվում է ԱԵՖ-ի սինթեզի համար: Բջիջների մեծ մասի հիմնական վառելիքը ածխաջրերն են, սովորաբար՝ գլյուկոզը: Շատ բջիջներ, որպես շնչառական սուբստրատ, կարող են օգտագործել միայն գլյուկոզը, բայց մյուսները շնչառության ժամանակ ճեղքավորում են ճարպաթթուներ, գլիցերին և ամինաթթուներ:

Գլյուկոզի ճեղքավորումը կարելի է բաժանել չորս փուլի՝ **գլիկոլիզ**, **միջանկյալ ռեակցիա**, **Կրեբսի ցիկլ** և **օքսիդատիվ ֆոսֆորիլացում** (նկար 12.7):

Գլիկոլիտիկ ուղի



Նկար 12.7 Իրադարձությունների հաջորդականությունը շնչառության ժամանակ

Գործնական աշխատանք

Խմորասնկերի բջջային շնչառության վրա ջերմաստիճանի ազդեցության ուսումնասիրությունը

Այս փորձի ընթացքում դու պետք է ուսումնասիրես տարբեր ջերմաստիճաններում (10^{0}C, 25^{0}C, 37^{0}C, 50^{0}C, 70^{0}C) խմորասնկերի բջջային շնչառության ինտենսիվությունը՝ դատելով ռեակցիայի ընթացքում անջատված ածխաթթու գազի պղպջակների քանակից:

1. Պատրաստիր **5%-անոց 60 մլ խմորասնկի կախույթ**: Դրա համար քեզ տրված է խմորասունկ չոր վիճակում, ջուր, կշեռք, չափիչ բաժակ, ապակե ձող՝ լուծույթը խառնելու համար: Ցույց տուր հաշվարկդ:

2. Պատրաստիր **10%-անոց 100 մլ սախարոզի լուծույթ**: Դրա համար քեզ տրված է սախարոզ, ջուր, կշեռք, չափիչ բաժակ, ապակե ձող լուծույթը խառնելու համար: Ցույց տուր հաշվարկդ:

3. Վերցրու 10 փորձանոթ և յուրաքանչյուրում ավելացրու 7 մլ 10%-անոց սախարոզի լուծույթ:
4. Պատրաստիր ջրային բաղնիքի վերը նշված ջերմաստիճանները՝ օգտագործելով սենյակային ջերմաստիճանի ջուր, եռացրած ջուր, սառույց:
5. Յուրաքանչյուր ջերմաստիճանի ջրային բաղնիք պատրաստելուց հետո սախարոզի լուծույթ պարունակող երկու փորձանոթի վրա գրիր ջրային բաղնիքի համապատասխան ջերմատիճանը և ավելացրու 5-ական մլ 5%-անոց խմորասնկի կախույթ: Խառնիր ապակե ձողիկով և 5 րոպե դիր ջրային բաղնիքի մեջ:
6. Ռեակցիայի արդյունքում անջատված պղպջակների քանակը գնահատիր 1-10 սանդղակով և արդյունքները լրացրու ստորև բերված աղյուսակում:

Ջերմաստիճան	1-ին փորձանոթ	2-րդ փորձանոթ	Միջին արժեք
10^0C			
25^0C			
37^0C			
50^0C			
70^0C			

7. Աղյուսակում ստացված արդյունքներն օգտագործելով՝ կազմիր ջերմաստիճանից անջատված ածխաթթու գազի քանակության կախվածության գրաֆիկ:

Գործնական աշխատանք

Խմորասնկերի մոտ դեհիդրոգենազի ակտիվության վրա ջերմաստիճանի ազդեցության ուսումնասիրություն

Անվտանգություն

Զգույշ եղե՛ք, երբ օգտագործում եք տաքացված պարագաներ:

Կենսաբանական նյութերին ձեռք տալուց հետո ձեռքերը լվացե՛ք:

Սարքավորումներ և նյութեր

- Ջերմակայուն փորձանոթներ
- 10 սմ^3 ծավալով ներարկիչ
- Մեծ բաժակ (ջրային բաղնիք)
- Եռոտանի
- Բյունզենի այրիչ
- Փորձանոթի բռնիչ
- Խառնող ձող/խողովակ
- 100 սմ^3 ծավալով 10%-անոց ակտիվ շնչառություն իրականացնող խմորասնկերի սուսպենզիա /կախույթ
- Շտատիվ փորձանոթների համար
- 1 սմ^3 ծավալով ներարկիչ
- Ջերմաչափ
- Թանզիֆ
- Ջերմակայուն ցանց
- Վայրկենաչափ
- Թորած ջուր
- 5 սմ^3 ծավալով 0.5%-անոց տրիֆենիլտետրազոլիում քլորիդի լուծույթ

Ներածություն

Այս աշխատանքում սովորողը պետք է.

- Իրականացնի պրոցեսը տարբեր ջերմաստիճաններում՝ սենյակայինից 70 °C միջակայքում՝ խմորասնկերի մոտ դեհիդրոգենազի ակտիվության վրա ջերմաստիճանի ազդեցությունն ուսումնասիրելու համար:

Ակտիվորեն շնչառություն իրականացնող խմորասնկերը պարունակում են դեհիդրոգենազ ֆերմենտներ: Նորմալ պայմաններում, երբ խմորասնկերը իրականացնում են շնչառություն, ջրածինը շնչառական սուբստրատից տեղափոխվում է ջրածնի ակցեպտորի վրա, ինչպիսին է ՆԱԴ-ը: Հնարավոր է օգտագործել տրիֆենիլտետրազոլիում քլորիդ կոչվող արհեստական ջրածնի ակցեպտոր՝ ցույց տալու այս ֆերմենտների ակտիվությունը: Տրիֆենիլտետրազոլիում քլորիդը վերօքս/օքսիդովերկանգնող ցուցիչ/ինդիկատոր է: Այն անգույն է, երբ օքսիդացված է և վարդագույն է, երբ

վերականգնվում է: Եթե տրիֆենիլտետրազոլիում քլորիդը խառնել խմորասնկերի բջիջների հետ կախույթում, ջրածնի մի մասը կանցնի տրիֆենիլտետրազոլիում քլորիդի վրա՝ հանգեցնելով վերջինիս վերականգնմանն ու գույնի փոփոխությանը անգույնից վարդագույն:

Աշխատանքի ընթացքը

1 Օգտագործե՛ք ներարկիչ 10 սմ^3 ծավալով խմորասնկերի կախույթը ջերմակայուն փորձանոթներ տեղափոխելու համար և ավելացրե՛ք 1.0 սմ^3 ծավալով թորած ջուր: Այս փորձանոթը կլինի որպես սկզբնական գունային ստուգիչ ռեակցիայի համար, այդպիսով կարող եք տեսնել, թե փորձնական փորձանոթներում երբ է տեղի ունենում գույնի փոփոխություն:

2 Պատրաստե՛ք ջրային բաղնիք՝ սենյակային ջերմաստիճանով: Չափե՛ք և գրանցե՛ք ջրային բաղնիքի ջրի ջերմաստիճանը:

3 Մաքուր ջերմակայուն փորձանոթի մեջ լցրե՛ք 10 սմ^3 ծավալով խմորասնկերի կախույթ: Երկրորդ մաքուր փորձանոթում լցրե՛ք 1.0 սմ^3 ծավալով տրիֆենիլտետրազոլիում քլորիդը:

4 Երկու փորձանոթները տեղադրե՛ք ջրային բաղնիքում մի քանի րոպե՝ թույլ տալով դրանց հավասարակշռության գալ ջրի ջերմաստիճանի հետ: Ինչպե՞ս կարող եք ստուգել՝ դրանք հավասարակշռվա՞ծ են, թե ոչ:

5 Փորձանոթների պարունակությունները միախառնե՛ք՝ տրիֆենիլտետրազոլիում քլորիդին ավելացնելով խմորասնկերը: Փորձանոթը թափահարե՛ք և վերադարձրե՛ք ջրային բաղնիք: Միացրե՛ք վայրկենաչափը:

6 Գրանցե՛ք ժամանակը, երբ սկզբնական գունային ստուգիչի նկատմամբ հստակ կդիտվի վարդագույն երանգ: Ընթացքում փորձանոթը զգուշորեն թափահարե՛ք՝ կանխելու փորձանոթի հատակին խմորասնկերի նստեցումը:

7 Կրկնե՛ք **1–6** քայլերը հինգ այլ ջերմաստիճանների համար՝ սենյակայինից 70 °C ջերմաստիճանային միջակայքում: Յուրաքանչյուր ջերմաստիճանի համար ուշադի՛ր եղեք պահպանել ջրային բաղնիքի ջերմաստիճանը հնարավորինս հաստատուն:

8 Ձեր արդյունքները ներկայացրե՛ք աղյուսակի տեսքով: Ռեակցիայի արագության կամայական չափումը կարելի է գտնել՝ հաշվելով գույնի զարգանալու ժամանակի հակադարձ մեծությունը (արագություն=$\frac{1}{\text{ժամանակ}}$): Եթե հաշվեք $\frac{1000}{\text{ժամանակ (վայրկյան)}}$ արժեքը, դա կտա ավելի կառավարելի թվեր: Այս արժեքներն ավելացրե՛ք աղյուսակում:

9 Գծե՛ք ռեակցիայի արագության (կամայական միավոր) ջերմաստիճանից կախվածության գրաֆիկ:

10 **Անդրադարձե՛ք հետևյալ կետերին ու հարցերին:**

1. Ի՞նչ դեր ունեն դեհիդրոգենազ ֆերմենտները շնչառության պրոցեսում:

2. Քննարկե՛ք, թե ինչ է ներկայացնում գրաֆիկը խմորասնկերում դեհիդրոգենազների ակտիվության մասին՝ սենյակայինից 70 °C ջերմաստիճանային միջակայքում:
3. Բացատրե՛ք, թե ինչու է ակտիվությունը փոփոխության ենթարկվել այդ կերպ:
4. Ո՞րն է այս փորձի սխալի կամ սահմանափակման հիմնական աղբյուրը:
5. Ինչպե՞ս կարող եք ուղղել այս փորձի ընթացքը:

Տե՛ս հղումը՝

Բջջային շնչառություն. ակնարկ, հայերեն նյութեր

https://drive.google.com/drive/folders/1uHJh66zyios47_QbO9kigcm_3sLc4eDR

Հարցաշար անգլերեն

https://drive.google.com/drive/folders/1uHJh66zyios47_QbO9kigcm_3sLc4eDR

Բջջային շնչառություն. հայերեն նյութեր https://drive.google.com/drive/folders/1Jalxz3MkNcNpNAUCkVs6O1VcHpuWerTW

Գլիկոլիզ (4 ժամ)

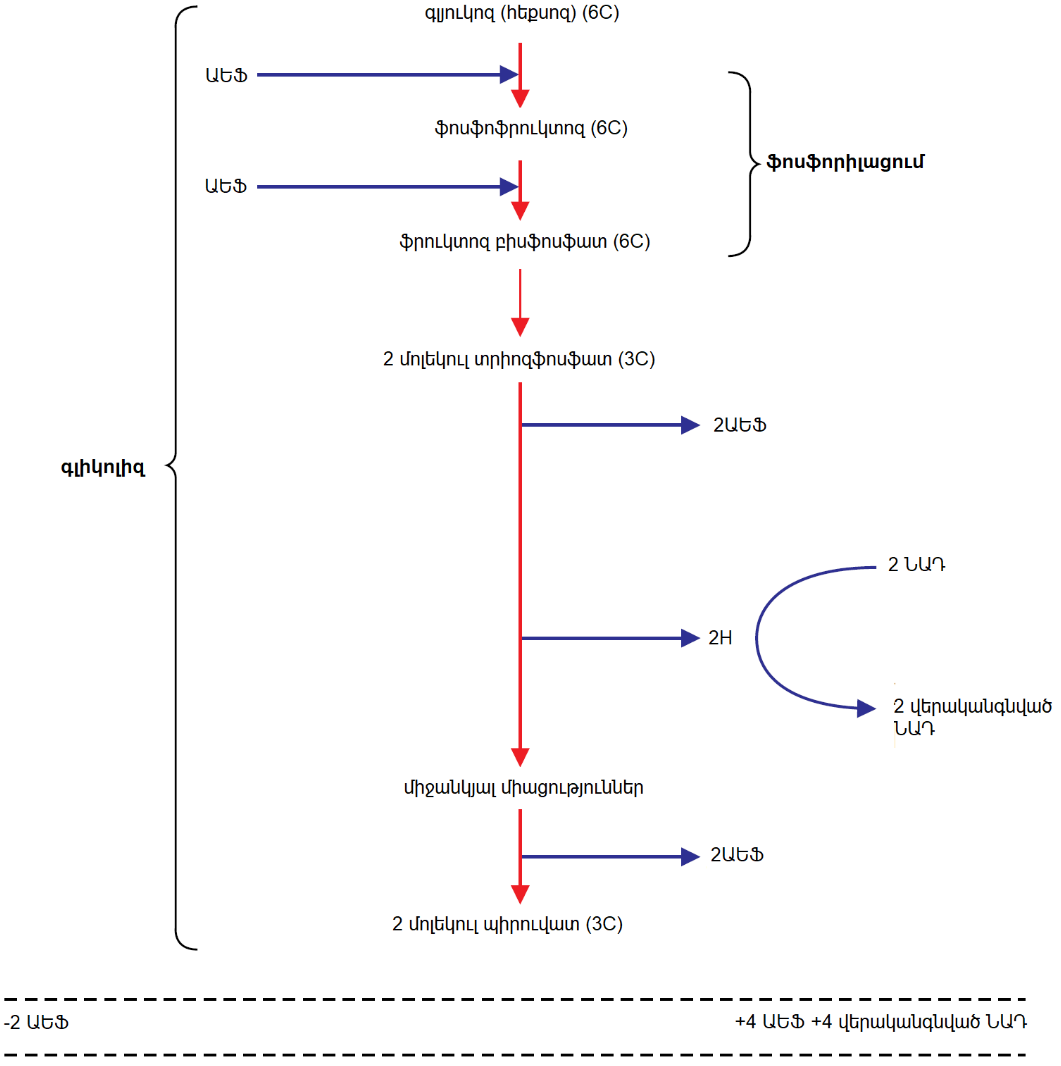
Սովորողներին տրվող նյութ

Գլիկոլիզը գլյուկոզի մասնատումը կամ քայքայումն է: Դա բազմաքայլ գործընթաց է, երբ ածխածնի ատոմ ունեցող գլյուկոզի մոլեկուլը ի վերջո բաժանվում է պիրուվատի երկու մոլեկուլի, որոնցից յուրաքանչյուրն ունի ածխածնի երեք ատոմ: ԱԵՖ-ի էներգիան անհրաժեշտ է առաջին փուլերում, իսկ հետագա փուլերում անջատվում է էներգիա, որը կարող է օգտագործվել ԱԵՖ արտադրելու համար: Գլյուկոզի մեկ մոլեկուլի քայքայումն ընթանում է գումարային երկու մոլեկուլ ԱԵՖ-ի շահույթով: Գլիկոլիզը տեղի է ունենում բջջի ցիտոպլազմայում: Ուղու պարզեցված տրամագիրը ներկայացված է նկար 12.8-ում:

Առաջին փուլում՝ **ֆոսֆորիլացման** ընթացքում, գլյուկոզը ֆոսֆորացվում է՝ օգտագործելով ԱԵՖ: Գլյուկոզն էներգիայով հարուստ է, բայց հեշտությամբ չի փոխազդում: Գլյուկոզի կապի էներգիան ստանալու համար նախ պետք է էներգիա օգտագործվի՝ ռեակցիան ավելի հեշտ դարձնելու համար (նկար 12.3): ԱԵՖ-ի երկու մոլեկուլ է օգտագործվում գլյուկոզի յուրաքանչյուր մոլեկուլի համար, նախ ֆոսֆոգլյուկոզ, ապա ֆոսֆոֆրուկտոզ և հետո ֆրուկտոզ բիսֆոսֆատ ստանալու համար, որը քայքայվում է՝ առաջացնելով տրիոզֆոսֆատի երկու մոլեկուլ:

Դրանից հետո ջրածինը հեռացվում է տրիոզֆոսֆատից և տեղափոխվում է կրող մոլեկուլ ՆԱԴ-ի (նիկոտինամիդ ադենին դինուկլեոտիդ) վրա: ՆԱԴ-ի կառուցվածքը ներկայացված է նկար 12.12-ում: Գլիկոլիզին մասնակից գլյուկոզի յուրաքանչյուր մոլեկուլի համար արտադրվում է վերականգնված ՆԱԴ-ի երկու մոլեկուլ: Վերականգնված ՆԱԴ-ի միջոցով տեղափոխվող ջրածինները հեշտությամբ կարող են փոխանցվել այլ մոլեկուլների և օգտագործվել օքսիդատիվ ֆոսֆորիլացման մեջ՝ ԱԵՖ արտադրելու համար:

Գլիկոլիզի վերջնական արտադրանքը՝ պիրուվատը, դեռ պարունակում է մեծ քանակությամբ քիմիական պոտենցիալ էներգիա: Երբ ազատ թթվածինը հասանելի է, այս էներգիայի մի մասը կարող է անջատվել Կրեբսի ցիկլի և օքսիդատիվ ֆոսֆորիլացման միջոցով: Սակայն, պիրուվատը նախ մտնում է միջանկյալ ռեակցիայի մեջ, որը տեղի է ունենում միտոքոնդրիումում:



Նկար 12.8 Գլիկոլիտիկ ուղին

Միջանկյալ ռեակցիա

Պիրուվատն ակտիվ փոխադրմամբ միտոքոնդրիումի արտաքին և ներքին թաղանթներով ցիտոպլազմայից անցնում է միտոքոնդրիումի մատրիքս: Այստեղ այն դեկարբոքսիլացված է (սա նշանակում է, որ ածխածնի երկօքսիդը հեռացվում է), դեհիդրոգենիզացվում է (ջրածինը հեռացվում է) և այն միանում է կոֆերմենտ A-ին (CoA)՝ առաջացնելով ացետիլ կոֆերմենտ A: Սա հայտնի է որպես **միջանկյալ ռեակցիա** (նկար 12.9): Կոֆերմենտ A-ն բարդ մոլեկուլ է, որը բաղկացած է վիտամինին (պանտոտենաթթու) միացած նուկլեոզիդից (ադենին գումարած ռիբոզ) վիտամինով (պանտոտենաթթու) և գործում է որպես Կրեբսի ցիկլում ացետիլ խմբեր կրող: Պիրուվատից անջատված ջրածինը փոխադրվում է ՆԱԴ-ի վրա.

պիրուվատ + CoA + ՆԱԴ

$\rightleftharpoons$ ացետիլ CoA + CO_2 + վերականգնված ՆԱԴ

Ճարպերի նյութափոխանակությունից ստացված ճարպաթթուները նույնպես կարող են օգտագործվել ացետիլ կոֆերմենտ A արտադրելու համար: Ճարպաթթուները ճեղքավորում են միտոքոնդրիում այնպիսի ռեակցիաների արդյունքում, երբ յուրաքանչյուր ցիկլում ճարպաթթվային շղթան կրճատվում է երկու ածխածին պարունակող ացետիլ միավորով: Սրանցից յուրաքանչյուրը կարող է փոխազդել կոֆերմենտ A-ի հետ՝ առաջացնելով ացետիլ կոֆերմենտ A, որը, ինչպես պիրուվատից արտադրվածը, այժմ մտնում է Կրեբսի ցիկլ:

Տե՛ս հղում՝

Գլիկոլիզի կապը պենտոզ-ֆոսֆատային ուղու հետ. հայերեն տեսանյութ

https://drive.google.com/drive/folders/1uHJh66zyios47_QbO9kigcm_3sLc4eDR

Կրեբսի ցիկլ (6 ժամ)

Սովորողներին տրվող նյութ

Կրեբսի ցիկլը (հայտնի է նաև որպես կիտրոնաթթվային ցիկլ կամ եռկարբոնաթթվային ցիկլ) հայտնաբերել է Հանս Կրեբսը 1937 թ.: Այն ներկայացված է նկար 12.9-ում:

Կրեբսի ցիկլը ֆերմենտներով կարգավորող ռեակցիաների փակ ուղի է:

- Ացետիլ կոֆերմենտ A-ն միանում է չորս ածխածնային միացության (օքսալոացետատ) հետ և առաջացնում վեց ածխածնային միացություն (ցիտրատ):

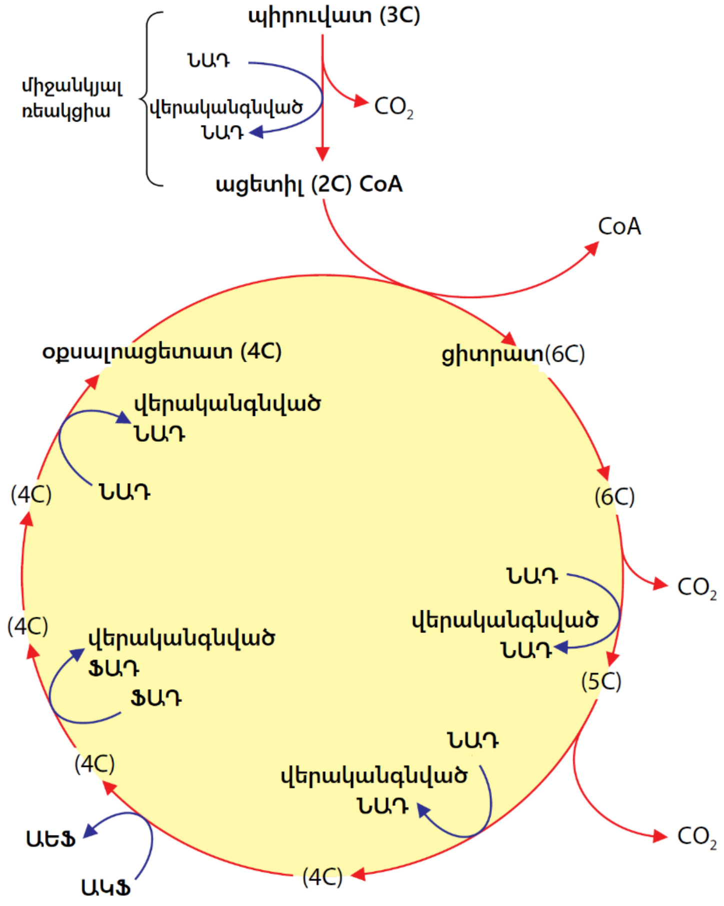
- Ցիտրատը դեկարբօքսիլացվում և դեհիդրոգենիզացվում է մի շարք քայլերով՝ ածխաթթու գազ ստանալու համար, որն արտանետվում է որպես թափոնային գազ, իսկ ջրածինները ընդունվում են ՆԱԴ և ՖԱԴ կրիչների կողմից:

■ Օքսալոացետատը վերականգնվում է մեկ այլ ացետիլ կոֆերմենտ A-ի հետ միանալու համար:

Ցիկլի յուրաքանչյուր շրջադարձի ընթացքում արտադրվում է ածխաթթու գազի երկու մոլեկուլ, մեկ մոլեկուլ ՖԱԴ և երեք մոլեկուլ ՆԱԴ է վերականգնվում, և մեկ մոլեկուլ ԱԵՖ է առաջանում միջանկյալ միացության միջոցով:

Կրեբսի ցիկլի ռեակցիաները թեև թթվածնային շնչառության մաս են կազմում, չեն օգտագործում մոլեկուլային թթվածին: Սակայն թթվածինն անհրաժեշտ է թթվածնային շնչառության վերջին փուլի համար, որը կոչվում է օքսիդատիվ ֆոսֆորիլացում:

Կրեբսի ցիկլի ամենակարևոր ներդրումը բջջի էներգետիկայում ջրածնի անջատումն է, որը կարող է օգտագործվել օքսիդատիվ ֆոսֆորիլացման մեջ՝ էներգիա տրամադրելով ԱԵՖ-ի սինթեզի համար:



Նկար 12.9 Միջանկյալ ռեակցիան և Կրեբսի ցիկլը

ՀԱՐՑ

12.2 Բացատրիր, թե Կրեբսի ցիկլի իրադարձություններն ինչպես կարող են ցիկլային լինել:

Տես հղումը՝

Կրեբսի ցիկլ. հայերեն նյութեր

https://docs.google.com/document/d/1H5haWhJRJUPmt2hNVRosqeUtCcve-oqZ/edit

Կրեբսի ցիկլ. հայերեն տեսանյութ

https://drive.google.com/drive/folders/1eUzG0FFDaeIUAspmNse0_WQsORxABgGe

Էլեկտոռնափոխադրիչ շղթա (4 ժամ)

Սովորողներին տրվող նյութ

Օքսիդատիվ ֆոսֆորիլացում և էլեկտրոնափոխադրիչ շղթա

Թթվածնային շնչառության վերջին փուլում՝ **օքսիդատիվ ֆոսֆորիլացման** ժամանակ, ԱԵՖ-ի առաջացմամբ ԱԿՖ-ի ֆոսֆորիլացման էներգիան ապահովվում է **էլեկտրոնափոխադրիչ շղթայի** գործունեության շնորհիվ: Օքսիդատիվ ֆոսֆորիլացումը տեղի է ունենում միտոքոնդրիումի ներքին թաղանթում (նկար 12.10):

Վերականգնված ՆԱԴ-ը և վերականգնված ՖԱԴ-ը փոխանցվում են էլեկտրոնափոխադրիչ շղթային: Այստեղ ջրածինները հեռացվում են ջրածնի երկու կրիչներից, և յուրաքանչյուրը բաժանվում է իր բաղկացուցիչ մասերի՝ պրոտոնի (H^+) և էլեկտրոնի (e^-): Էներգետիկ էլեկտրոնը փոխանցվում է էլեկտրոն կրող մոլեկուլներից առաջին խմբին:

Փոխադրողների մեծ մասը կապված է թաղանթային սպիտակուցների հետ, դրանք չորս տեսակի են: Կառուցվածքային միավորը, որ կոչվում է շնչառական համալիր, բաղկացած է այս սպիտակուցներից յուրաքանչյուրից, որոնք այնպես են դասավորված, որ էլեկտրոնները կարող են մեկից մյուսը փոխանցվել իրենց էներգիայի գրադիենտի նվազման ուղղությամբ:

Երբ էլեկտրոնը տեղափոխում է բարձր էներգիական մակարդակով կրիչից ավելի ցածր էներգիական մակարդակ ունեցող կրիչին, անջատվում է էներգիա: Այս էներգիայի մի մասն օգտագործվում է պրոտոնները միտոքոնդրիումի մատրիքսից (նկար 12.11) ներքին և արտաքին թաղանթների միջև եղած տարածություն տեղափոխելու համար: Սրա հետևանքով միջթաղանթային տարածքում պրոտոնների կոնցենտրացիան ավելի է մեծանում, քան մատրիքսում, ստեղծելով կոնցենտրացիայի գրադիենտ:

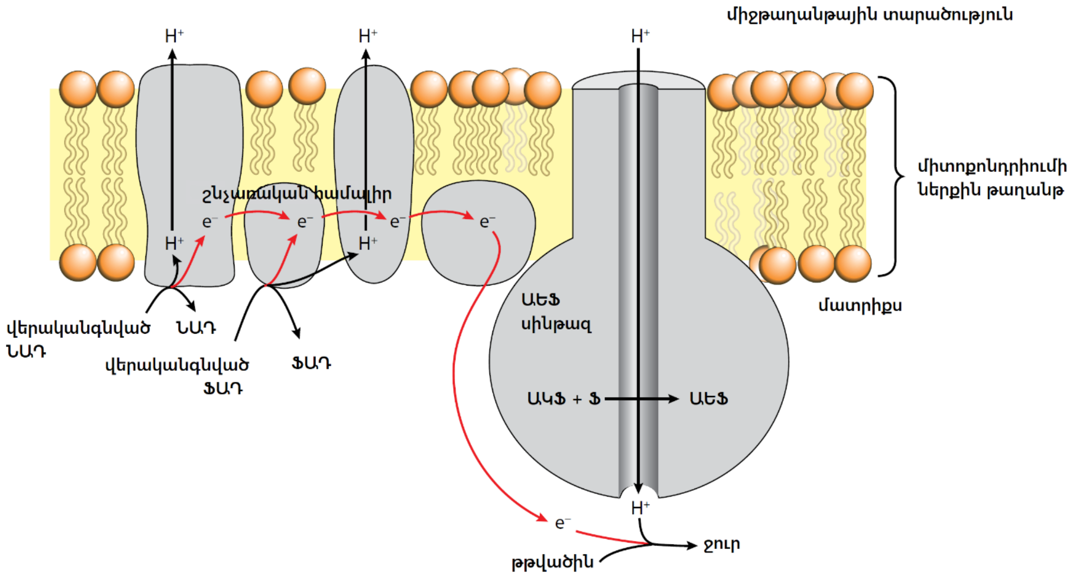
Այժմ պրոտոնները վերստին անցնում են միտոքոնդրիումի մատրիքս՝ ներքին թաղանթում գտնվող սպիտակուցային անցուղիներով շարժվելով իրենց կոնցենտրացիայի գրադիենտի նվազման ուղղությամբ: Յուրաքանչյուր անցուղու հետ կապված է ԱԵՖ սինթազ ֆերմենտը: Երբ պրոտոններն անցնում են անցուղով, դրանց էլեկտրական պոտենցիալ էներգիան օգտագործվում է ԱԵՖ սինթեզելու համար քեմիօսմոս կոչվող գործընթացում (նկար 12.5):

Վերջապես, թթվածինը հանդես է գալիս որպես էլեկտրոնների վերջնական ընդունիչ: Միտոքոնդրիումի մատրիքսում էլեկտրոնն ու պրոտոնը միանում են

թթվածնին՝ առաջացնելով ջուր: Թթվածնային շնչառության գործընթացն ավարտված է:

Շնչառության ռեակցիաները և դրանց վայրերը ներկայացված են նկար 12.11-ում: Շնչառության ուղի մուտք գործող գլյուկոզի յուրաքանչյուր մոլեկուլի համար օգտագործված և սինթեզված ԱԵՖ-ի հաշվեկշիռը ներկայացված է աղյուսակ 12.1-ում:

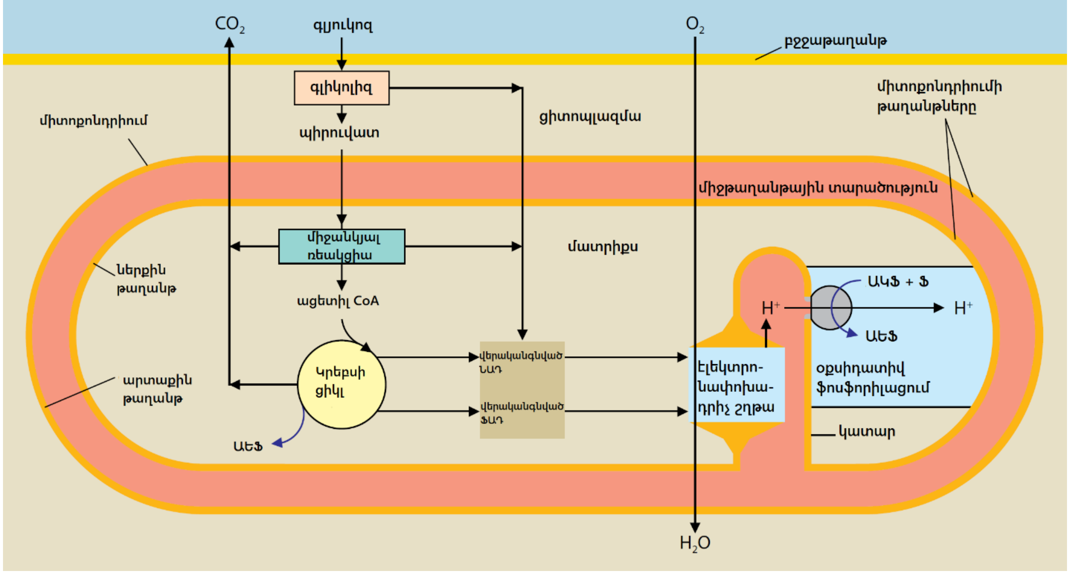
Տեսականորեն վերականգնված ՆԱԴ-ի յուրաքանչյուր մոլեկուլի համար կարող է արտադրվել երեք մոլեկուլ ԱԵՖ, իսկ վերականգնված ՖԱԴ-ի յուրաքանչյուր մոլեկուլի համար՝ երկու մոլեկուլ ԱԵՖ: Սակայն այդպիսի ելք հնարավոր չէ, քանի դեռ միտոքոնդրիումի ներսում առկա չեն ԱԿՖ և Ֆ: Էլեկտրոնների փոխանցման ընդհանուր էներգիայի ելքի մոտ 25%-ն օգտագործվում է ԱԿՖ-ն միտոքոնդրիում, իսկ ԱԵՖ-ը՝ ցիտոպլազմա տեղափոխելու համար: Հետևաբար, շղթա մտնող վերականգնված ՆԱԴ-ի յուրաքանչյուր մոլեկուլ արտադրում է միջինը երկուսուկես մոլեկուլ ԱԵՖ, իսկ վերականգնված ՖԱԴ-ի յուրաքանչյուր մոլեկուլ առաջացնում է մեկուկես մոլեկուլ ԱԵՖ: Արտադրվող ԱԵՖ-ի մոլեկուլների քանակն իրականում տատանվում է տարբեր հյուսվածքներում և տարբեր հանգամանքներում. հիմնականում դա կախված է նրանից, թե որքան էներգիա է օգտագործվում նյութերը միտոքոնդրիումներ փոխադրելու և այնտեղից դուրս բերելու համար:



Նկար 12.10 Օքսիդատիվ ֆոսֆորիլացում. էլեկտրոնափոխադրիչ շղթա

	Օգտագործված ԱԵՖ	Սինթեզված ԱԵՖ	ԱԵՖ-ի գումարային ելքը
գլիկոլիզ	−2	4	+2
միջանկյալ ռեակցիա	0	0	0
Կրեբսի ցիկլ	0	2	+2
օքսիդատիվ ֆոսֆորիլացում	0	28	+28
Ընդհանուր	−2	**34**	+**32**

Աղյուսակ 12.1 ԱԵՖ-ի օգտագործման և սինթեզի հաշվեկշիռը շնչառություն մտնող գլյուկոզի յուրաքանչյուր մոլեկուլի համար



Նկար 12.11 Շնչառության ռեակցիաները և դրանց վայրերը

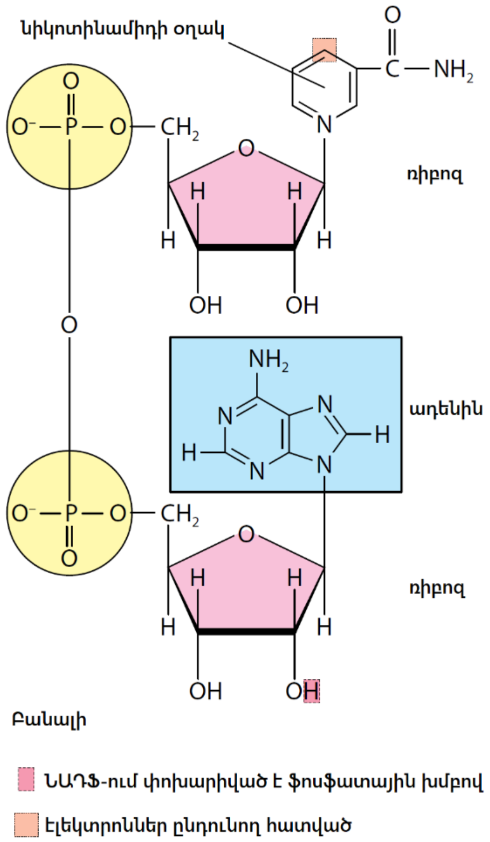
Ջրածին կրող մոլեկուլներ

ՆԱԴ-ը կազմված է իրար միացած երկու նուկլեոտիդներից (նկար 12.12), երկուսն էլ պարունակում են ռիբոզ: Նուկլեոտիդներից մեկը պարունակում է ադենին ազոտային հիմքը, իսկ մյուսն ունի նիկոտինամիդի օղակ, որը կարող է ընդունել ջրածնի իոն ու երկու էլեկտրոն և վերականգնվել.

$$\text{ՆԱԴ} + 2H \rightleftharpoons \text{վերականգնված ՆԱԴ}$$
$$\text{ՆԱԴ}^+ + 2H \rightleftharpoons \text{ՆԱԴH}^+ + H^+$$

ՆԱԴ-ի մի փոքր այլ ձևը ռիբոզի օղակներից մեկի 1-ին ածխածնի ջրածնի փոխարեն պարունակում է ֆոսֆատային խումբ: Այս մոլեկուլը կոչվում է ՆԱԴՖ (նիկոտինամիդ ադենին դինուկլեոտիդ ֆոսֆատ) և օգտագործվում է որպես ջրածին կրող մոլեկուլ ֆոտոսինթեզի ընթացքում:

ՖԱԴ-ը (ֆլավին ադենին դինուկլեոտիդ) իր գործառույթով նման է ՆԱԴ-ին և օգտագործվում է շնչառության ժամանակ Կրեբսի ցիկլի ընթացքում: ՖԱԴ-ը կազմված է ռիբոզ և ադենին պարունակող մեկ նուկլեոտիդից, և մեկ այլ նուկլեոտիդից, որն ունի անսովոր կառուցվածք՝ ռիբոզի փոխարեն պարունակում է գծային մոլեկուլ՝ ռիբիտոլ:



Նկար 12.12 ՆԱԴ (նիկոտինամիդ ադենին դինուկլեոտիդ)

Պետք չէ սովորել այս մոլեկուլի կառուցվածքը, բայց կարող ես այն համեմատել ԴՆԹ և ՌՆԹ կազմող միավորների հետ:

ՀԱՐՑ

12.3 Ինչո՞վ է տարբերվում ՆԱԴ-ի նուկլեոտիդների միջև եղած կապը պոլինուկլեոտիդում եղած կապից:

Միտոքոնդրիումի կառուցվածքը և գործառույթը

Սովորողներին տրվող նյութ

Կորիզավոր օրգանիզմներում Կրեբսի ցիկլը և էլեկտրոնափոխադրիչ շղթան տեղի են ունենում միտոքոնդրիումում: Միտոքոնդրիումները ձողաձև կամ թելանման օրգաններ են՝ մոտ 0,5–1,0 մկմ տրամագծով: Լուսանկարը ցույց է տալիս, որ դրանք կոշտ չեն, բայց կարող են փոխել իրենց ձևը:

Բջիջում միտոքոնդրիումների քանակը կախված է դրա գործունեությունից: Օրինակ՝ կաթնասունների լյարդի ակտիվ բջիջները պարունակում են 1000-2000 միտոքոնդրիում՝ զբաղեցնելով բջիջների ծավալի 20%-ը:

Միտոքոնդրիումի կառուցվածքը ներկայացված է նկար 1.22-ում և 12.13-ում: Քլորոպլաստի նման, յուրաքանչյուր միտոքոնդրիում շրջապատված է ֆոսֆոլիպիդային թաղանթի երկշերտով (էջ 74): Արտաքին թաղանթը հարթ է, բայց ներքինը ներսից ծալված է՝ առաջացնելով **կատարներ** (զագաթ, կրիստ): Այս կատարները մեծացնում են ներքին թաղանթի ընդհանուր մակերեսը: Տարբեր տիպի բջիջների միտոքոնդրիումների կատարների չափերը տատանվում են, բայց, ընդհանուր առմամբ, ակտիվ բջիջների միտոքոնդրիումներն ունեն ավելի երկար, ավելի խիտ փաթեթավորված կատարներ, քան ավելի պակաս ակտիվ բջիջների միտոքոնդրիումները:

Նկար 12.13 Ենթաստամոքսային գեղձի միտոքոնդրիումի տրանսմիսիոն էլեկտրոնային մանրապատկեր (15 000x)

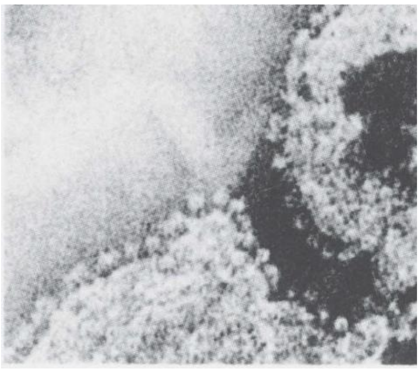
Երկու թաղանթների կառուցվածքը և հատկությունները տարբեր են: Արտաքին թաղանթը համեմատաբար թափանցելի է փոքր մոլեկուլների համար, մինչդեռ ներքին թաղանթը պակաս թափանցելի է:

Ներքին թաղանթը ցրված է շուրջ 9 նմ տրամագիծ ունեցող փոքրիկ գնդերով, որոնք ամրանում են ներքին թաղանթին (նկար 12.14): Այդ փոքրիկ գնդիկները **ԱԵՖ սինթազ** ֆերմենտի մոլեկուլներն են: Ներքին թաղանթը էլեկտրոնափոխադրիչ շղթայի գտնվելու տեղն է և պարունակում է դրա համար անհրաժեշտ սպիտակուցներ: Երկու թաղանթների միջև ընկած տարածությունը սովորաբար ավելի ցածր pH ունի, քան միտոքոնդրիումի մատրիքսը, քանի որ էլեկտրոնափոխադրիչ շղթայի գործունեության շնորհիվ առաջացած պրոտոններն անջատվում են դեպի միջթաղանթային տարածություն:

Միտոքոնդրիումի մատրիքսը միջանկյալ ռեակցիայի և Կրեբսի ցիկլի վայրն է և պարունակում է այդ ռեակցիաների համար անհրաժեշտ ֆերմենտներ: Այն նաև պարունակում է փոքր (70S) ռիբոսոմներ և միտոքոնդրիումային օղակաձև ԴՆԹ-ի մի քանի նույնական պատճեններ:

Կատարի վրա գտնվող ԱԵՖ սինթազի միջոցով մատրիքսում սինթեզվում է ԱԵՖ: ԱԵՖ-ի սինթեզի համար անհրաժեշտ էներգիան գալիս է միջթաղանթային

տարածության և մատրիքսի միջև պրոտոնային գրադիենտից: ԱԵՖ-ը կարող է օգտագործվել բջիջի՝ էներգիա պահանջող բոլոր ռեակցիաների համար, ինչպես միտոքոնդրիումի ներսում, այնպես էլ նրանից դուրս:



Նկար 12.14 Միտոքոնդրիումի ներքին թաղանթում գտնվող ԱԵՖ սինթազի մասերի տրանսմիսիոն էլեկտրոնային մանրապատկեր (400 000x)

ՀԱՐՑԵՐ

12.4 Հաշվիր վերականգնված ՆԱԴ-ի և վերականգնված ՖԱԴ-ի մոլեկուլների քանակը, որոնք արտադրվում են շնչառության ուղի մտնող գլյուկոզի յուրաքանչյուր մոլեկուլի համար, երբ առկա է թթվածին:

12.5. Օգտագործելով **12.4** հարցին քո պատասխանը, հաշվիր գլյուկոզի յուրաքանչյուր մոլեկուլի համար արտադրված ԱԵՖ-ի մոլեկուլների քանակը օքսիդատիվ ֆոսֆորիլացման ժամանակ:

12.6 Բացատրիր, թե ինչու է ջրածնի անջատումը, այլ ոչ թե ԱԵՖ-ի ուղղակի արտադրությունը Կրեբսի ցիկլի կարևոր ներդրումը բջջային էներգետիկայի մեջ:

12.7 Բացատրիր, թե ինչպես է միտոքոնդրիումի կառուցվածքը հարմարեցված թթվածնային շնչառության մեջ իր գործառույթների համար:

Տե՛ս հղումը
Էլեկտրոնների փոխադրման համակարգ. հայերեն տեսանյութ
https://drive.google.com/drive/folders/1uHJh66zyios47_QbO9kigcm_3sLc4eDR
Էլեկտրոնափոխադրիչ շղթա. հայերեն նյութեր
https://docs.google.com/document/d/1UulXyOsyP_3SEiF-ppkX2ud_i-tSvciW/edit

Խմորում (4 ժամ)
Շնչառությունը թթվածնի բացակայությամբ

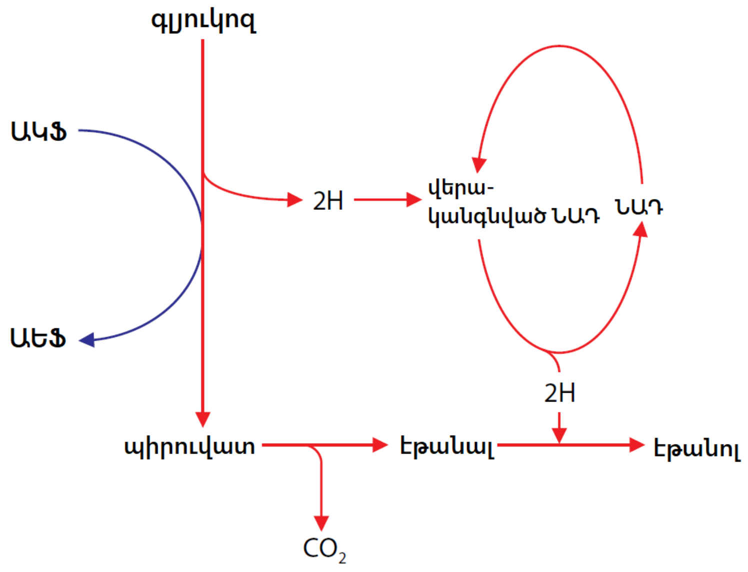
Սովորողներին տրվող նյութ

Երբ ազատ թթվածին չկա, ջրածինը չի կարող հեռացվել թթվածնին միանալով: Հետևաբար էլեկտրոնափոխադրիչ շղթան այլևս չի գործում և

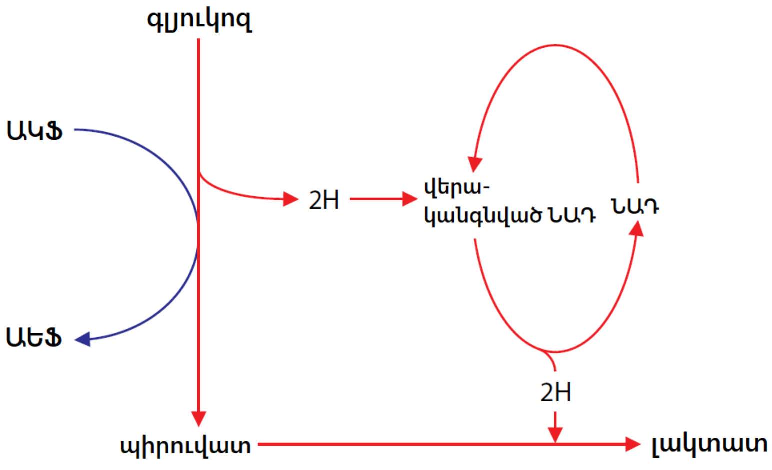
օքսիդատիվ ֆոսֆորիլացումից ԱԵՖ չի առաջանում: Եթե անգամ գլյուկոլիզով ստացված յուրաքանչյուր գլյուկոզի համար բջիջը ստանա ԱԵՖ-ի երկու մոլեկուլը, անհրաժեշտ է, որ գլիկոլիզի ընթացքում վերականգնված ՆԱԴ-ի մոլեկուլներից ջրածինները փոխանցվեն: Գոյություն ունեն երկու տարբեր անթթվածին ուղիներ, որոնք լուծում են ջրածնի այսպես կոչված «թափման» (արագ հեռացման) խնդիրը: Երկու ուղիներն էլ տեղի են ունենում բջիջի ցիտոպլազմայում:

Տարբեր միկրոօրգանիզմներում, ինչպիսիք են խմորասնկերը, և որոշ բուսական հյուսվածքներում վերականգնված ՆԱԴ-ից ջրածինը փոխանցվում է էթանալին (CH_3CHO): Սրա հետևանքով ՆԱԴ-ն ազատվում է և թույլ տալիս շարունակել գլիկոլիզը: Ուղին ներկայացված է նկար 12.15-ում: Նախ, պիրուվատը դեկարբօքսիլացվում է էթանալի, այնուհետև էթանալը վերածվում է էթանոլի (C_2H_5OH) ալկոհոլ դեհիդրոգենազ ֆերմենտի օգնությամբ: Գլյուկոզի՝ էթանոլի վերածումը կոչվում է **սպիրտային խմորում**:

Այլ միկրոօրգանիզմներում և կաթնասունների մկաններում թթվածնից զրկվելիս պիրուվատը գործում է որպես ջրածնի ընդունիչ և վերածվում է **լակտատի (կաթնաթթու)**՝ լակտատ դեհիդրոգենազ ֆերմենտի միջոցով (այդպես է կոչվում հակադարձ ռեակցիայի պատճառով, որը նույնպես կատալիզում է): ՆԱԴ-ն ազատվում է և թույլ է տալիս, որ գլիկոլիզը շարունակվի անթթվածին պայմաններում: Այս ուղին կոչվում է **կաթնաթթվային խմորում** և ներկայացված է նկար 12.16-ում:



Նկար 12.15 Սպիրտային խմորում



Նկար 12.16 Կաթնաթթվային խմորում

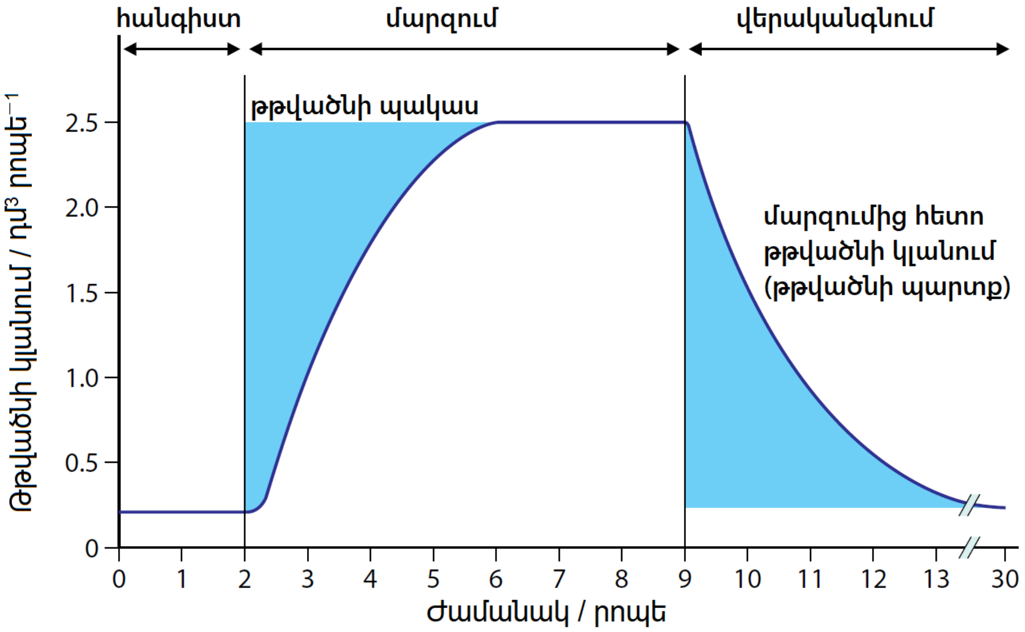
Այս ռեակցիաները «ժամանակ են առնում»: Դրանք թույլ են տալիս շարունակաբար արտադրել առնվազն որոշ քանակությամբ ԱԵՖ այն դեպքում, երբ թթվածինը հասանելի չէ որպես ջրածնի ընդունիչ: Սակայն, քանի որ անթթվածին ռեակցիայի արտադրանքը՝ էթանոլը կամ լակտատը թունավոր են, ռեակցիաները չեն կարող անվերջ շարունակվել: Դեպի էթանոլ տանող ուղին դարձելի չէ, և էթանոլի մնացած քիմիական պոտենցիալ էներգիան վատնվում է: Կաթնաթթվային ուղին դարձելի է կաթնասունների մոտ: Կաթնաթթուն արյան պլազմայի միջոցով տեղափոխվում է լյարդ և վերափոխվում է պիրուվատի: Լյարդը եկած կաթնաթթվի մասը (20%) օքսիդացնում է ածխաթթու գազի և ջրի՝ թթվածնային շնչառության միջոցով, երբ թթվածինը կրկին հասանելի է: Կաթնաթթվի մնացորդը լյարդը վերածում է գլիկոգենի:

Նկար 12.17-ը ցույց է տալիս, թե ինչ է տեղի ունենում մարդու օրգանիզմում թթվածնի կլանման հետ ծանր վարժություններ կատարելուց առաջ, դրա ընթացքում և հետո: Անշարժ կանգնած մարդը կլանում է 0,2 դմ^3 րոպե$^{-1}$ թթվածին հանգստի մակարդակում: (Սա մարդու նյութափոխանակության մակարդակի չափն է:) Երբ վարժությունը սկսվում է, անհրաժեշտ է ավելի շատ թթվածին մարդու մկաններում թթվածնային շնչառությունն ապահովելու համար՝ ընդհանուր պահանջարկը բարձրացնելով մինչև 2,5 դմ^3 րոպե^{1}: Սակայն, սրտից և թոքերից պահանջվում է չորս րոպե այդ պայմաններին դիմանալու համար, որից հետո մկաններում սկսվում է կաթնաթթվային խմորում: Այսպիսով, մարդու օրգանիզմում սկսվում է թթվածնի պակաս կուտակվել: Հաջորդ երեք րոպեների ընթացքում բավարար քանակությամբ թթվածին է մատակարարվում: Երբ մարզումը դադարում է, մարդը շարունակում է խորը շնչել և թթվածին կլանել ավելի մեծ արագությամբ, քան հանգստի ընթացքում: Լրացուցիչ թթվածնի այսպիսի կլանումը մարզումն ավարտելուց հետո, որը «վերադարձնում է» թթվածնի պակասը, կոչվում է **թթվածնի պարտք**: Թթվածինն անհրաժեշտ է, որպեսզի.

- լյարդում կաթնաթթուն վերածվի գլիկոգենի,

■ արյան մեջ հեմոգլոբինը թթվածին միացնի,

■ նյութափոխանակության մակարդակը բարձր լինի, քանի որ շատ օրգաններ գործում են հանգստից բարձր մակարդակում:



Նկար 12.17 Թթվածնի կլանումը մարզումից առաջ, ընթացքում և հետո

Տե՛ս հղումը
Խմորում. հայերեն նյութեր
https://drive.google.com/drive/folders/1znYiGyfX9nzllEE0Rb1KZRSRSECSdA5V

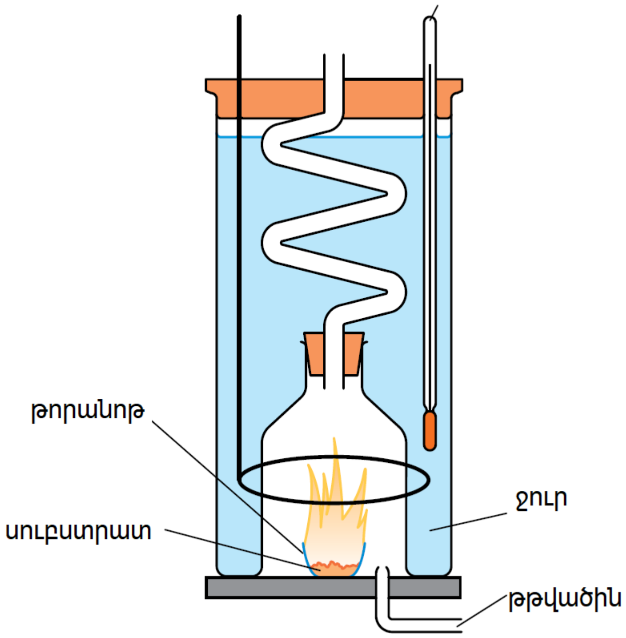
Շնչառական սուբստրատներ

Թեև գլյուկոզը որոշ բջիջների՝ ուղեղի նեյրոնների, արյան կարմիր բջիջների և լիմֆոցիտների համար անհրաժեշտ շնչառական սուբստրատ է, ուրիշ բջիջներ կարող են օքսիդացնել լիպիդներ ու ամինաթթուներ: Լիպիդների շնչառության դեպքում ածխածնի ատոմները ճարպաթթվային շղթաներից զույգերով հանվում են որպես ացետիլ կոֆերմենտ A և սնուցում են Կրեբսի ցիկլը: Ամինաթթուների ածխածնաջրածնային կմախքները վերածվում են պիրուվատի կամ ացետիլ կոֆերմենտ A-ի:

Շնչառական սուբստրատների էներգիայի արժեքները

Թթվածնային շնչառության ընթացքում անջատված էներգիայի մեծ մասը ստացվում է ջրածնի օքսիդացումից (որի ընթացքում առաջանում է ջուր), երբ

վերականգնված ՆԱԴ-ն ու վերականգնված ՖԱԴ-ը փոխանցվում են էլեկտրոնափոխադրիչ շղթային: Հետևաբար որքան շատ է ջրածնի քանակը սուբստրատի մոլեկուլում, այնքան բարձր է էներգիայի արժեքը: Ճարպաթթվի մեկ մոլեկուլում ավելի շատ ջրածին կա, քան ածխաջրի մեկ մոլեկուլում, հետևաբար լիպիդներն ավելի մեծ էներգիական արժեք ունեն միավորի զանգվածում կամ **էներգիայի խտություն**, քան ածխաջրերը կամ սպիտակուցները: Սուբստրատի էներգիայի արժեքը որոշվում է հայտնի զանգվածով նյութը թթվածնի առկայությամբ **կալորիաչափում** այրելու միջոցով (Նկար 12.18):



Նկար 12.18 Պարզ կալորիաչափ, որում չափվում է շնչառական սուբստրատի էներգիայի արժեքը

Սուբստրատը օքսիդացնելու միջոցով անջատված էներգիան կարելի է որոշել կալորիաչափում՝ ջրի հայտնի զանգվածի ջերմաստիճանի բարձրացումից: Էներգիայի արժեքները ներկայացված են աղյուսակ 12.2-ում:

Շնչառական սուբստրատը	Էներգիայի խտությունը / կՋ գ$^{-1}$
ածխաջուր	15,8
լիպիդ	39,4
սպիտակուց	17,0

Նկար 12.2 Էներգիայի արժեքները

Շնչառական գործակից (ՇԳ)

Գլյուկոզի՝ թթվածնային շնչառության ընդհանուր հավասարումը ցույց է տալիս, որ օգտագործված թթվածնի և արտադրված ածխաթթու գազի մոլեկուլների քանակը, որից հետևում է, որ ծավալները նույնն են.

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{էներգիա}$$

Այսպիսով, վերցված թթվածնի և անջատված ածխաթթու գազի **հարաբերակցությունը** 1:1 է: Սակայն, այլ սուբստրատների շնչառության ժամանակ օգտագործվող թթվածնի և անջատվող ածխաթթու գազի ծավալների հարաբերակցությունը տարբերվում է: Դրանից բխում է, որ այս հարաբերակցությունը չափելը, որը կոչվում է **շնչառական գործակից (ՇԳ)**, ցույց է տալիս, թե ինչ սուբստրատ է օգտագործվում շնչառության ժամանակ: Այն կարող է նաև ցույց տալ, թե արդյոք առկա է անթթվածին շնչառություն:

$$\text{ՇԳ} = \frac{\text{միավոր ժամանակում անջատված ածխաթթու գազի ծավալը}}{\text{միավոր ժամանակում կլանված թթվածնի ծավալը}}$$

կամ՝

$$\text{ՇԳ} = \frac{\text{անջատված ածխաթթու գազի մոլերի կամ մոլեկուլների քանակը}}{\text{կլանված թթվածնի մոլերի կամ մոլեկուլների քանակը}}$$

Գլյուկոզի թթվածնային շնչառության դեպքում՝

$$ՇԳ = \frac{CO_2}{O_2}$$
$$= \frac{6}{6}$$
$$= 1,0$$

Երբ օլեինաթթու կոչվող ճարպաթթուն (ձիթապտղի յուղից) մասնակցում է շնչառությանը, հավասարումը հետևյալն է.

$$C_{18}H_{34}O_2 + 25,5O_2 \rightarrow 18CO_2 + 17H_2O + \text{էներգիա}$$

Օլեինաթթվի թթվածնային շնչառության դեպքում՝

$$ՇԳ = \frac{CO_2}{O_2}$$
$$= \frac{18}{25,5}$$
$$= 0,7$$

Թթվածնային շնչառության ընթացքում տարբեր սուբստրատներին բնորոշ ՇԳ-ները ներկայացված են աղյուսակ 12.3-ում:

Շնչառական սուբստրատը	Շնչառական գործակիցը (ՇԳ)
ածխաջուր	1,0
լիպիդ	0,7
սպիտակուց	0,9

Աղյուսակ 12.3 Տարբեր սուբստրատների շնչառական գործակիցները

ՀԱՐՑ

12.8 Հաշվիր ստեարաթթու ($C_{18}H_{36}O_2$) ճարպաթթվի ՇԳ-ն՝ թթվածնային շնչառության ժամանակ:

Ի՞նչ է տեղի ունենում անթթվածին շնչառության ժամանակ: Խմորասնկի բջիջում գլյուկոզի սպիրտային խմորման հավասարումը հետևյալն է.

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 + \text{էներգիա}$$

$$\text{ՇԳ} = \frac{CO_2}{O_2} = \frac{2}{0} = \infty$$

Իրականում խմորասնկի բջիջում շնչառության որոշ մասը կլինի թթվածնային, հետևաբար քիչ ծավալով թթվածին կվերցվի, և ՇԳ-ն անվերջությունից քիչ կլինի: ՇԳ-ի բարձր արժեքները ցույց են տալիս, որ տեղի է ունենում սպիրտային խմորում: Նկատի ունեցիր, որ կաթնաթթվային խմորման ժամանակ մկանային բջիջների համար հնարավոր չէ հաշվել ՇԳ-ն, քանի որ ածխաթթու գազ չի արտադրվում.

$$\text{գլյուկոզ } (C_6H_{12}O_6) \rightarrow 2 \text{ կաթնաթթու } (C_3H_6O_3) + \text{էներգիա}$$

Թթվածնի կլանումը

Շնչառության ընթացքում թթվածնի կլանումը կարելի է չափել **շնչաչափով (ռեսպիրոմետր)**: Տարբեր ջերմաստիճաններում սերմերի կամ փոքր ցամաքային անողնաշարավորների՝ թթվածնի սպառման արագությունը չափելու համար շնչաչափ է ցուցադրված նկար 12.19-ում:

Շնչառության ընթացքում արտադրված ածխածնի երկօքսիդը ներծծվում է այնպիսի քիմիական նյութերի միջոցով, ինչպիսիքն են սոդա-կրաքարը, կալիումի հիդրօքսիդի (KOH) կամ նատրիումի հիդրօքսիդի (NaOH) խիտ լուծույթը: Օրգանիզմները շրջապատող օդի ծավալի նվազումն այդ օրգանիզմներով թթվածնի սպառման արդյունք է: Միավոր ժամանակում թթվածնի սպառումը կարելի է չափել՝ գրանցելով ճնշաչափի մակարդակը՝ սանդղակի համեմատ:

Ջերմաստիճանի և ճնշման փոփոխությունները փոխում են օդի ծավալը սարքում, հետևաբար չափումներ անելիս շրջակա միջավայրի ջերմաստիճանը պետք է պահպանվի կայուն, օրինակ՝ օգտագործելով ջրային բաղնիք, որի ջերմաստիճանը հնարավոր է կարգավորել: Օրգանիզմների օգտագործած ծավալին հավասար իներտ նյութ պարունակող ստուգիչ խողովակի առկայությունն օգնում է փոխհատուցելու մթնոլորտային ճնշման փոփոխությունները:

Երբ մի շարք ջերմաստիճաններում չափումներ են կատարվել, կարելի է կառուցել թթվածնի սպառման՝ ջերմաստիճանից կախվածության գրաֆիկ:

Նույն սարքը կարող է օգտագործվել օրգանիզմի ՇԳ-ն չափելու համար: Նախ որոշվում է թթվածնի սպառումը որոշակի ջերմաստիճանում (x՝ սմ^3 րոպե^1): Հետո շնչաչափը նույն օրգանիզմի հետ տեղադրվում է նույն ջերմաստիճանում, բայց առանց ածխաթթու գազը կլանող քիմիական նյութի: Ճնշաչափի սանդղակը ցույց կտա՝ կլանված թթվածնի և արտադրված ածխածնի երկօքսիդի ծավալները նույնն են, թե ոչ: Երբ ծավալները նույնն են, ճնշաչափի հեղուկի մակարդակը չի փոխվի և ՇԳ = 1: Երբ արտադրված ածխաթթու գազն ավելի շատ է, քան կլանված թթվածինը, շնչաչափի սանդղակը ցույց կտա օդի ծավալի ավելացում (y՝ սմ^3 րոպե^1-ով): Դրանից հետո կարող ենք հաշվել ՇԳ-ն՝

$$ՇԳ = \frac{CO_2}{O_2} - \frac{x+y}{x}$$

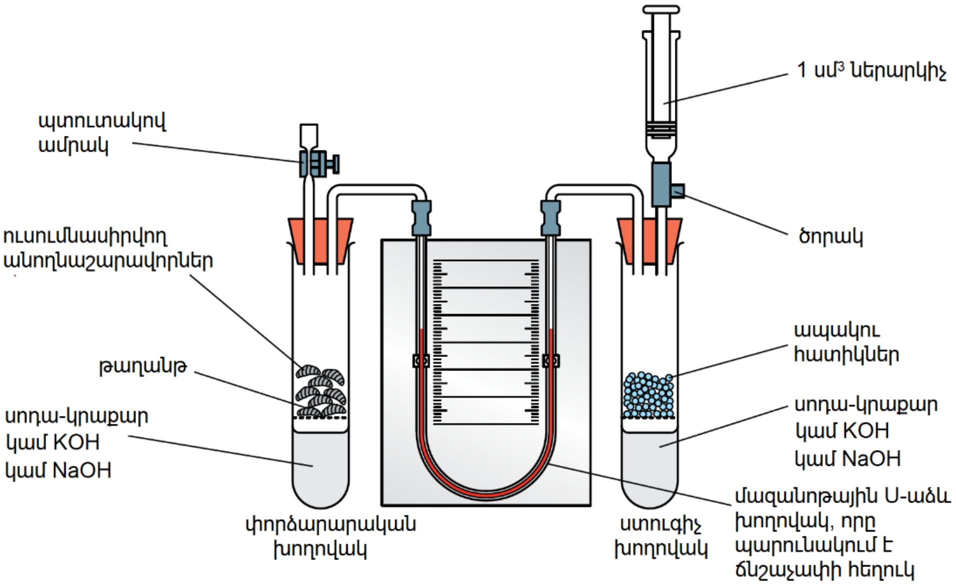
Եվ հակառակը, երբ ավելի քիչ ածխաթթու գազ է արտադրվում, քան կլանված թթվածինն է, շնչաչափում օդի ծավալը կնվազի (z՝ սմ^3 րոպե$^{-1}$-ով), և հաշվարկը կլինի՝

$$ՇԳ = \frac{CO_2}{O_2} - \frac{x-z}{x}$$

Խմորասնկերում շնչառության արագությունն ուսումնասիրելու մեկ այլ եղանակ է ռեդօքս ներկի՝ դիքլորոֆենոլինդոֆենոլի լուծույթի (ԴՔՖԻՖ) կամ մեթիլեն կապույտի օգտագործումը: Այս ներկանյութերը չեն վնասում բջիջները և կարող են

ավելացվել խմորասնկերի բջիջների կախույթին: Վերականգնվելիս այս կապույտ ներկերը դառնում են անգույն: Կապույտից անգույն փոխելու արագությունը խմորասնկի շնչառության արագության չափն է:

Այս տեխնիկան կարող է օգտագործվել խմորասնկերի շնչառության վրա տարբեր գործոնների, օրինակ՝ ջերմաստիճանի, սուբստրատի կոնցենտրացիայի կամ տարբեր սուբստրատների ազդեցությունն ուսումնասիրելիս:



Նկար 12.19 Շնչաչափ

ՀԱՐՑ

12.8 Նշիր այն քայլերը, որոնք կիրականացնես շնչառության մակարդակի վրա ջերմաստիճանի ազդեցությունն ուսումնասիրելու համար:

Բրինձի հարմարանքները խոնավ միջավայրում

Չնայած բրինձը կարող է աճել չոր պայմաններում, հաճախ աճեցվում է դաշտերում, որտեղ հողը միտումնավոր հեղեղված է ջրով: Բրինձը կարող է դիմանալ ջրի առատությանը, սակայն մոլախոտերի մեծ մասը, որ կարող է մրցել նրա հետ, ի վիճակի չէ դա անել (նկար 12.20):

Բույսերի մեծ մասը չի կարող աճել խորը ջրում, քանի որ նրանց արմատները բավարար քանակությամբ թթվածին չեն ստանում: Թթվածնային շնչառության համար, որն ապահովում է ԱԵՖ որպես էներգիայի աղբյուր ակտիվ փոխադրման և էներգիա սպառող այլ գործընթացների համար, ինչպիսիք են բջիջների բաժանումը, անհրաժեշտ է թթվածին: Եթե տերևները սուզվում են, ֆոտոսինթեզ չի կարող տեղի ունենալ, քանի որ ածխաթթու գազի բավարար քանակ չկա: Դա տեղի է ունենում այն պատճառով, որ գազերը ջրի մեջ շատ ավելի դանդաղ են դիֆուզիայի ենթարկվում, քան օդում: Ավելին, ջրի մեջ լուծված թթվածնի և ածխաթթու գազի կոնցենտրացիաները շատ ավելի քիչ են, քան օդում: Սա հատկապես ճիշտ է բրինձի թաղարներում, որտեղ հողը, որի մեջ տնկվում են բրինձի արմատները, պարունակում է միկրոօրգանիզմների մեծ պոպուլյացիաներ, որոնցից շատերը աերոբ են և ջրից թթվածին են վերցնում:

Բրինձի որոշ սորտեր առատ ջրին արձագանքում են՝ ավելի բարձր աճելով: Երբ ջուրը բարձրանում է, նրանք շարունակում են աճել վերևում, որպեսզի տերևների վերին մասերը և ծաղիկների հասկերը միշտ ջրից վեր լինեն: Սա թույլ է տալիս թթվածին և ածխաթթու գազ փոխանակել տերևների հերձանցքերի միջոցով:

Բրինձի բույսերի ցողունները պարունակում են թույլ փաթեթավորված բջիջներ, որոնք առաջացնում են հյուսվածք, որը հայտնի է որպես **աերենքիմ** (նկար 12.21): Գազերն ունակ են աերենքիմի միջոցով տարածվել բույսի այլ մասեր, ներառյալ ջրի տակ գտնվողները: Սա լրացվում է ստորջրյա տերևների արանքում գտնվող օդով: Այս տերևներն ունեն հիդրոֆոբ, ծալքավոր մակերևույթ, որն օդի բարակ շերտ է պահում, երբ այն շփվում է տերևի մակերեսի հետ:

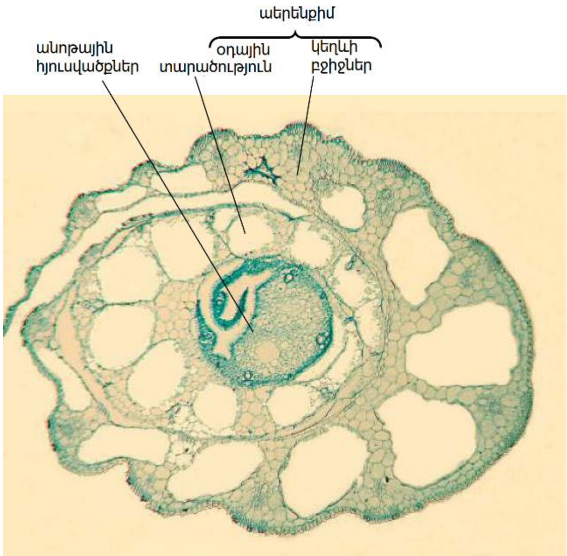
Սակայն ջրի մեջ սուզված արմատների բջիջները գոնե որոշ ժամանակ ստիպված են սպիրտային խմորում իրականացնել: Ուստի էթանոլը կարող է կուտակվել հյուսվածքներում: Էթանոլը թունավոր է, բայց բրինձի արմատների բջիջները կարող են հանդուրժել շատ ավելի բարձր մակարդակ, քան բույսերի մեծ մասը: Դրանք նաև ավելի շատ ալկոհոլ դեհիդրոգենազ են առաջացնում, որը

քայքայում է էթանոլը: Սա թույլ է տալիս բույսերին ակտիվորեն աճել նույնիսկ թթվածնի սակավության դեպքում՝ օգտագործելով սպիրտային խմորման ժամանակ արտադրված ԱԵՖ-ը:

ՀԱՐՑ

12.9 Նշիր այն հատկությունները, որոնց շնորհիվ բրինձը հարմարված է մասամբ ջրի մեջ ընկղմված աճելուն:

Նկար 12.20 Մաղագասկարում աճող բրինձ: Բրինձ բույսի դաշտերը տնկվել են տարբեր ժամանակներում և գտնվում են աճի տարբեր փուլերում:



Նկար 12.21 Բրինձի ցողունի լայնական կտրվածքը ծայրին մոտ հատվածում, որի շուրջը գտնվում է տերևի հիմնական մասը: Ներքևում ցողունն ամբողջովին դատարկ է (140×):

Ամփոփում (2 ժամ)

■ Օրգանիզմները կենդանի մնալու համար պետք է աշխատանք կատարեն: Այս աշխատանքի համար անհրաժեշտ է լույս, որպեսզի ֆոտոսինթեզ տեղի ունենա կամ օրգանական մոլեկուլների քիմիական պոտենցիալ էներգիա: Աշխատանքը ներառում է անաբոլիկ ռեակցիաներ, ակտիվ փոխադրում և շարժում:

■ Որոշ օրգանիզմներ, ինչպիսիք են կաթնասունները և թռչունները, իրենց մարմնի ջերմաստիճանը պահպանելու համար օգտագործում են նյութափոխանակության ռեակցիաների ընթացքում անջատված ջերմային էներգիան: Էներգիա անջատող ռեակցիաները պետք է զուգորդվեն էներգիա պահանջող ռեակցիաներով: Սա ընթանում է միջնորդ մոլեկուլով՝ ԱԵՖ-ով, որը կարող է սինթեզվել ԱԿՖ-ից և ֆոսֆատից՝ օգտագործելով էներգիա, և հիդրոլիզվել՝ առաջացնելով ԱԿՖ և ֆոսֆատ, որի ժամանակ անջատվում է էներգիա: Հետևաբար ԱԵՖ-ը գործում է որպես էներգիայի արժույթ բոլոր կենդանի օրգանիզմներում:

■ Շնչառությունը ֆերմենտով կարգավորվող քայլերի հաջորդականությունն է, որի միջոցով օրգանական մոլեկուլը, սովորաբար գլյուկոզը, ճեղքավորվում է, որպեսզի դրա քիմիական պոտենցիալ էներգիան օգտագործվի էներգիայի արժույթ՝ ԱԵՖ սինթեզելու համար: Թթվածնային շնչառության մեջ հաջորդականությունը ներառում է չորս հիմնական փուլ՝ գլիկոլիզ, միջանկյալ ռեակցիա, Կրեբսի ցիկլ, օքսիդատիվ ֆոսֆորիլացում:

■ Գլիկոլիզի ժամանակ գլյուկոզը նախ ֆոսֆորացված է, ապա բաժանվում է տրիոզֆոսֆատի երկու մոլեկուլի: Դրանք հետագայում օքսիդանում են՝ առաջացնելով պիրուվատ՝ տալով ԱԵՖ-ի ցածր ելք և վերականգնված ՆԱԴ: Գլիկոլիզը տեղի է ունենում բջիջի ցիտոպլազմայում: Երբ թթվածինը հասանելի է (թթվածնային շնչառություն), պիրուվատը միտոքոնդրիումի մատրիքս է տեղափոխվում: Միտոքոնդրիումում, միջանկյալ ռեակցիայի ընթացքում պիրուվատը դեկարբօքսիլացվում և դեհիդրոգենիզացվում է, իսկ մնացած 2C ացետիլային միավորը միանում է կոֆերմենտ A-ին՝ առաջացնելով ացետիլ կոֆերմենտ A:

■ Ացետիլ կոֆերմենտ A-ն միտոքոնդրիումի մատրիքսով մտնում է Կրեբսի ցիկլ և ացետիլային միավորը տրամադրում է օքսալոացետատին (4C)՝ ցիտրատ (6C) պատրաստելու համար: Կրեբսի ցիկլում ցիտրատը մի շարք փոքր քայլերով դեկարբօքսիլացվում և դեհիդրոգենիզացվում է՝ առաջացնելով օքսալոացետատ: Դրանից հետո օքսալոացետատը կարող է փոխազդել միջանկյալ ռեակցիայից եկող ացետիլ կոֆերմենտ A-ի մեկ այլ մոլեկուլի հետ:

■ Դեհիդրոգենիզացման հետևանքով անջատվում են ջրածնի ատոմներ, որոնք ընդունվում են ՆԱԴ և ՖԱԴ կրիչների կողմից: Դրանք անցնում են միտոքոնդրիումի ներքին թաղանթ, որտեղ բաժանվում են պրոտոնների և էլեկտրոնների:

■ Օքսիդատիվ ֆոսֆորիլացման գործընթացում էլեկտրոններն անցնում են մի շարք կրիչներով: Օքսիդատիվ ֆոսֆորիլացման ընթացքում անջատված էներգիայի մի մասն օգտագործվում է պրոտոնները միտոքոնդրիումի մատրիքսից միջթաղանթային տարածություն տեղափոխելու համար: Էլեկտրոնների շարժումը պրոտոնների գրադիենտ է ստեղծում միտոքոնդրիումի ներքին թաղանթի երկու կողմում: Պրոտոնները ներքին թաղանթում գտնվող սպիտակուցային անցուղիների միջոցով հետ են անցնում մատրիքս՝ շարժվելով իրենց կոնցենտրացիայի գրադիենտի նվազման ուղղությամբ: ԱԵՖ սինթազ ֆերմենտը կապված է պրոտոնային անցուղիներից յուրաքանչյուրի հետ: ԱԵՖ սինթազն օգտագործում է պրոտոնային գրադիենտի էլեկտրական պոտենցիալ էներգիան՝ ԱԿՖ-ն ԱԵՖ-ի ֆոսֆորիլացնելու համար: Շղթայի վերջում էլեկտրոնները և պրոտոնները վերամիավորվում են, և թթվածինը վերականգնվում է՝ առաջացնելով ջուր:

■ Թթվածնի բացակայության դեպքում որպես ջրածնի ընդունիչ (սպիրտային և կաթնաթթվային խմորումներում), գլիկոլիզի միջոցով առաջացած ԱԵՖ-ի ելքը ցածր է, այնուհետև ջրածինն անցնում է այլ ուղիներ, որոնց ընթացքում առաջանում է էթանոլ կամ լակտատ: Կաթնաթթվային ուղին կարող է հետ շրջվել կաթնասունների մոտ, երբ թթվածինը հասանելի է դառնում: Կաթնաթթվային

խմորման ընթացքում արտադրված լակտատը հեռացնելու համար անհրաժեշտ թթվածինը կոչվում է թթվածնի պարտք:

■ Շնչառական սուբստրատների էներգիայի արժեքները կախված են մեկ մոլեկուլին բաժին ընկնող ջրածնի ատոմների քանակից: Լիպիդների էներգիայի խտությունն ավելի մեծ է, քան ածխաջրերինը կամ սպիտակուցներինը: Շնչառական գործակիցը (ՇԳ) կլանված թթվածնի ծավալի և շնչառության ժամանակ անջատված ածխաթթու գազի ծավալի հարաբերությունն է: ՇԳ-ն բացահայտում է շնչառական սուբստրատի բնույթը: Ածխաջրածնի ՇԳ-ն 1,0 է, լիպիդինը՝ 0,7, իսկ սպիտակուցինը՝ 0,9: Թթվածնի կլանումը և, հետևաբար, ՇԳ-ն կարելի է չափել շնչաչափի միջոցով:

Գլուխն ամփոփող հարցեր

1. Նշվածներից ո՞րը տեղի չի ունենում այն ժամանակ, երբ գլյուկոզից առաջանում է երկու մոլեկուլ պիրուվատ.

   Ա. ԱԵՖ-ի հիդրոլիզ

   Բ. ԱԵՖ-ի ֆոսֆորիլացում

   Գ Տրիոզ (3C) շաքարի ֆոսֆորիլացում

   Դ. ՆԱԴ-ի վերականգնում [1]

2. Կորիզավոր բջջում որտե՞ղ է տեղի ունենում թթվածնային շնչառության յուրաքանչյուր փուլ.

	Միջանկյալ ռեակցիա	Կրեբսի ցիկլ	Օքսիդատիվ ֆոսֆորիլացում
A	ցիտոպլազմա	միտոքոնդրիումի մատրիքս	միտոքոնդրիումի կատար
B	միտոքոնդրիումի կատար	ցիտոպլազմա	միտոքոնդրիումի մատրիքս
C	ցիտոպլազմա	միտոքոնդրիումի կատար	միտոքոնդրիումի մատրիքս
D	միտոքոնդրիումի մատրիքս	միտոքոնդրիումի մատրիքս	միտոքոնդրիումի կատար

[1]

3. Տրամագրում ամփոփված է, թե ինչպես կարելի է գլյուկոզն օգտագործել ԱԵՖ արտադրելու համար՝ առանց թթվածնի օգտագործման.

գլյուկոզ → X → Y կենդանիներում
↓
Z խմորասնկերում

Ո՞ր միացություններն են ներկայացված X, Y և Z տառերով:

	X	Y	Z
A	էթանոլ	պիրուվատ	լակտատ
B	լակտատ	էթանոլ	պիրուվատ
C	պիրուվատ	էթանոլ	լակտատ
D	պիրուվատ	լակտատ	էթանոլ

[1]

4. Տարբերակիր.

ա. էներգիայի արժույթի մոլեկուլ և էներգիա պահեստավորող մոլեկուլ
[2]

բ. դեկարբօքսիլացում և ջրազրկում
[2]

[Ընդհանուր՝ 4]

5. Նշիր այս մոլեկուլների դերը շնչառության ժամանակ.

ա. ՆԱԴ [1]

բ. կոֆերմենտ A [1]

գ. թթվածին [1]

[Ընդհանուր՝ 3]

6. Պատճենիր և լրացրու աղյուսակը՝ ցույց տալով, թե որքան ԱԵՖ է օգտագործվում և արտադրվում շնչառության տարբեր փուլերում գլյուկոզի յուրաքանչյուր մոլեկուլի համար:

	Օգտագործված ԱԵՖ-ը	Արտադրված ԱԵՖ-ը	ԱԵՖ-ի գումարային ելքը
գլիկոլիզ			
միջանկյալ ռեակցիա			
Կրեբսի ցիկլ			
օքսիդատիվ ֆոսֆորիլացում			
Ընդհանուր			

[5]

7. ա. Բացատրիր, թե ինչու է լիպիդների էներգիայի արժեքը երկու անգամ ավելի ածխաջրերի էներգիայի արժեքից:

[2]

բ Բացատրիր, թե ինչ է **շնչառական գործակիցը (ՇԳ)**: [2]

գ Պատճենիր և լրացրու աղյուսակը՝ ցույց տալով շնչառական սուբստրատը և նրա ՇԳ-ն.

Շնչառական սուբստրատ	ՇԳ
	1,0
	0,7
	0,9

[3]

դ Շնչաչափում սերմերի ծլման միջոցով թթվածնի կլանման և ածխաթթու գազի արտադրության չափումները ցույց տվեցին, որ միևնույն ժամանակահատվածում օգտագործվել է 25 սմ^3 թթվածին և արտադրվել է 17,5 սմ^3 ածխաթթու գազ:

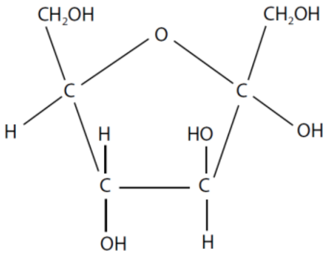
i Հաշվիր այս սերմերի ՇԳ-ն:

[2]

ii Նշիր այս սերմերի օգտագործած շնչառական սուբստրատը:

[1]

ե Գեորգինա (Dahlia) բույսերը պահեստավորում են ինուլին կոչվող միացություն, որը ֆրուկտոզի պոլիմեր է: Ֆրուկտոզի կառուցվածքը ներկայացված է գծապատկերում.



Հաշվիր ՇԳ-ն, երբ ինուլինը հիդրոլիզվում և հետո օգտագործվում է թթվածնային շնչառության մեջ:

[2]

[Ընդհանուր՝ 12]

8. Պատճենիր և լրացրու հետևյալ հատվածը, որը նկարագրում է բրինձի հարմարվածությունը ջրի մեջ ընկղմված աճելու համար:

   Բրինձի բույսերի ցողուններն ու տերևներն ունեն շատ մեծ .... հյուսվածք, որը կոչվում է ....: Այն թույլ է տալիս թթվածնին օդից անցնել ....: Արմատները շատ մակերեսային են՝ մակերևութային ջրերում ավելի բարձր կոնցենտրացիայով .... հասանելիություն: Երբ թթվածնի կոնցենտրացիան ընկնում է, արմատները կարող են օքսիդացնել գլյուկոզը ....-ի միջոցով: Դրա հետևանքով առաջանում է ...., որը թունավոր է: Սակայն, արմատի բջիջները կարող են դիմանալ այդ միացության ավելի բարձր կոնցենտրացիաների ի տարբերություն բջիջների մեծ մասի, քանի որ պարունակում են մեծ քանակով ֆերմենտ այն քայքայելու համար:

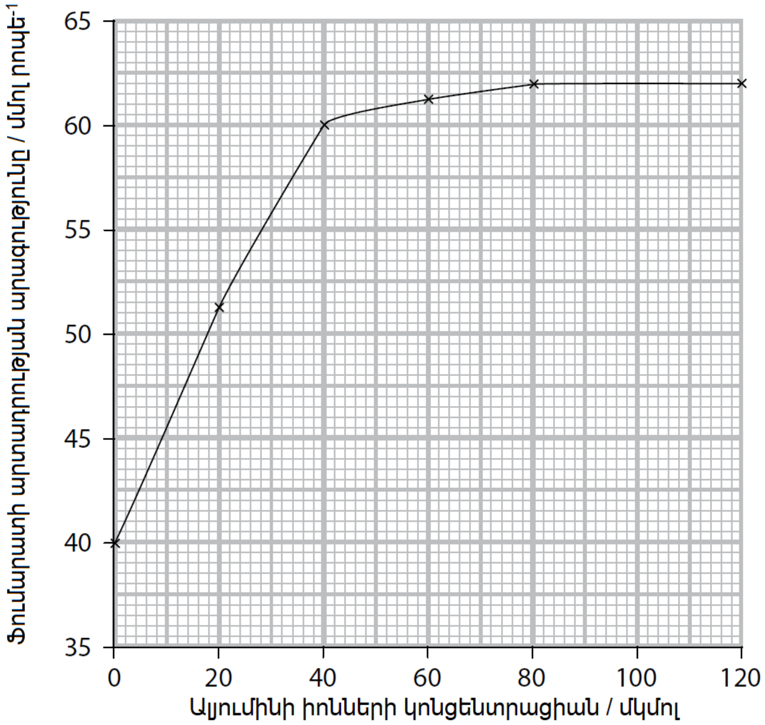
[7]

9. Թթվածնային շնչառության ժամանակ Կրեբսի ցիկլը դիտվում է որպես փոքր քայլերի շարք: Այդ քայլերից մեկը սուկցինատ դեհիդրոգենազ ֆերմենտի օգնությամբ սուկցինատի վերափոխումն է ֆումարատի:

ա. Նշիր Կրեբսի ցիկլում դեհիդրոգենազ ֆերմենտների դերը **և** համառոտ բացատրիր դրանց կարևորությունը ԱԵՖ-ի արտադրության մեջ:

[3]

բ. Ուսումնասիրվել է սուկցինատ դեհիդրոգենազի գործունեության վրա ալյումինի իոնների տարբեր կոնցենտրացիաների ազդեցությունը: Ֆերմենտի կոնցենտրացիան և մնացած բոլոր պայմանները պահպանվել են հաստատուն: Ստորև ներկայացված գծապատկերը ցույց է տալիս այդ հետազոտության արդյունքները.



Հղում կատարելով գրաֆիկին՝

i նկարագրիր ալյումինի իոնների կոնցենտրացիայի ազդեցությունը ֆումարատի արտադրության արագության վրա,

[2]

ii առաջարկիր այս ազդեցության բացատրություն:

[2]

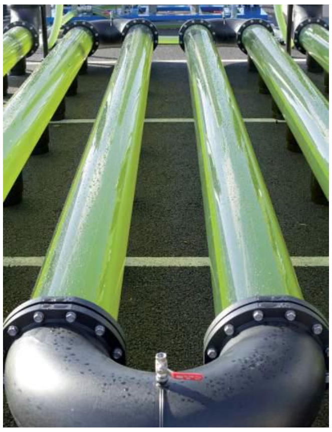
[Ընդհանուր՝ 7]

Ֆոտոսինթեզ. ակնարկ (4 ժամ)
Սովորողին տրվող նյութ

Վառելիք ջրիմուռներից

Չնայած միլիոնավոր ժամերի ուսումնասիրությանը՝ մարդկությանը դեռ չի հաջողվել ստեղծել քիմիական արտադրության այնպիսի համակարգ, որը կկարողանա լույսի էներգիան կլանել և օգտագործել այն բարդ քիմիական նյութեր պատրաստելու համար այնպես, ինչպես դա անում են բույսերը և որոշ պրոտոկտիստներ: Այսպիսով, ինչո՞ւ թույլ չտանք, որ բջիջները դա անեն մեզ համար:

Նկար 13.1-ը ցույց է տալիս կենսաբանական ֆոտոռեակտոր՝ խողովակների հավաքածու, որը լցված է ֆոտոսինթեզ կատարող միաբջիջ օրգանիզմով՝ *Chlorella*-ով: Ապահովիր լույս, ածխաթթու գազ և անօրգանական նյութեր, և բջիջները ֆոտոսինթեզ կկատարեն: Նման կենսաբանական ֆոտոռեկտորներն ամբողջ աշխարհում օգտագործվում են կենսազանգված արտադրելու համար՝ որպես կենդանիների կեր, և քիմիական նյութեր արտադրելու համար, որոնք կարող են օգտագործվել որպես սննդային հավելումներ կամ կիրառվել կոսմետիկայի արտադրության մեջ: Դրանք կարող են օգտագործվել նաև Արևի էներգիան էթանոլի կամ կենսավառելիքի վերածելու համար, բայց մինչ այժմ կենսաբանական ռեակտորները չեն կարող այնքան էժան կենսազանգված արտադրել, որ մրցակցեն հանածո վառելիքի օգտագործման հետ:



Նկար 13.1 Կենսաբանական ֆոտոռեակտոր

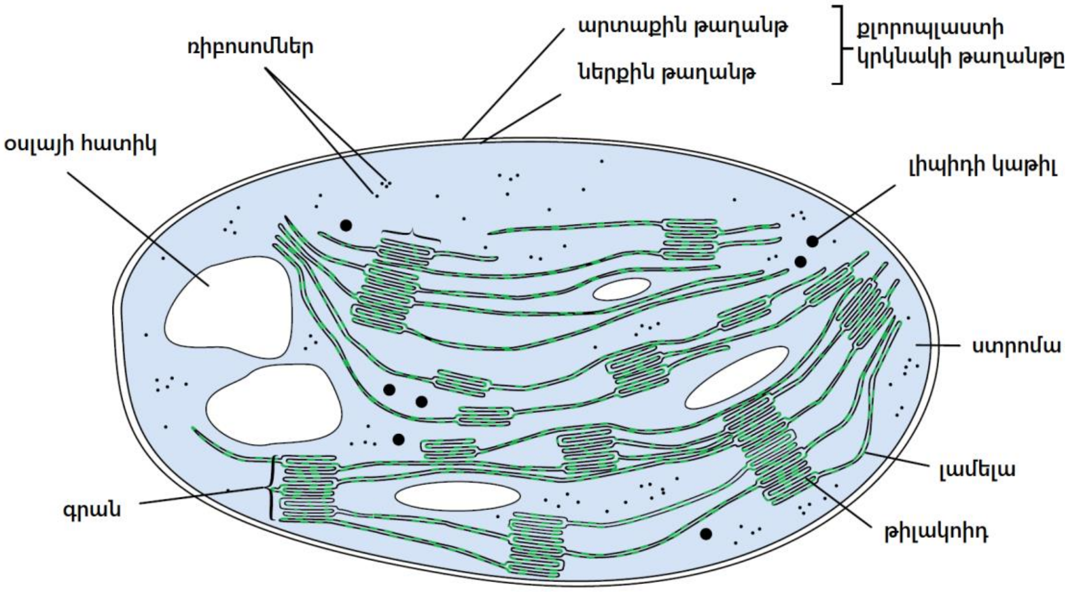
Էներգիայի փոխանցման գործընթացը

Ֆոտոսինթեզի գործընթացում լույսի էներգիան փոխարկվում է օրգանական մոլեկուլների քիմիական պոտենցիալ էներգիայի: Այս էներգիան այնուհետև կարող է օգտագործվել շնչառության ժամանակ աշխատանք կատարելու համար (նկար 12.2): Բոլոր կենդանի օրգանիզմների գրեթե ամբողջ էներգիան, որը ԱԵՖ-ի մոլեկուլների է վերածվում, ստացվում է լույսի էներգիայից՝ ավտոտրոֆների իրականացրած ֆոտոսինթեզի ընթացքում: Այսպիսի ֆոտոավտոտրոֆներին են պատկանում կանաչ բույսերը, ֆոտոսինթետիկ նախակորիզավորները և միաբջիջ ու բազմաբջիջ պրոտոկտիստները (ներառյալ կանաչ, կարմիր և շագանակագույն ջրիմուռները): Որոշ ավտոտրոֆներ կախված չեն լույսի էներգիայից, փոխարենն օգտագործում են քիմիական էներգիայի աղբյուրներ: Այս քեմոավտոտրոֆներին են պատկանում ազոտ կլանող բակտերիաները, որոնք այնքան կարևոր են ազոտի շրջապտույտի մեջ: Նիտրիֆիկացնող բակտերիաներն իրենց էներգիան ստանում են ամոնիակի (NH_3)՝ նիտրիտի (NO^{2-}) օքսիդացումից կամ նիտրիտից նիտրատի (NO^{3-}) օքսիդացումից:

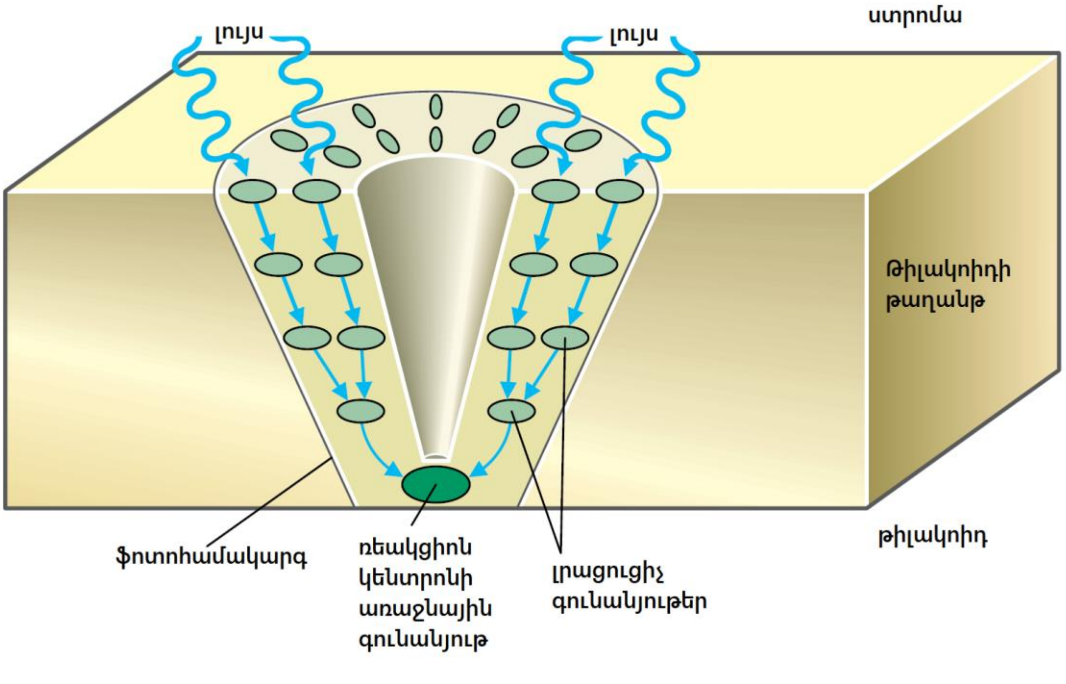
Գործընթացի նկարագրությունը

Ֆոտոսինթեզն ածխածնի երկօքսիդի կլանումն է (ֆիքսումը) և դրա հետագա վերականգնումը ածխաջրերի՝ օգտագործելով ջրի մեջ պարունակվող ջրածինը: Այն տեղի է ունենում քլորոպլաստներում (նկար 13.2):

ա



բ



Նկար 13.2 ա. Քլորոպլաստի տրամագիր: **բ.** Ֆոտոհամակարգ. ֆոտոսինթեզին մասնկացող գունանյութերը քլորոպլաստի թիլակոիդի թաղանթում: Ցուցադրված են գունանյութերի մոլեկուլներից միայն մի քանիսը:

Կանաչ բույսերում ֆոտոսինթեզի ընդհանուր հավասարումը հետևյալն է.

$$nCO_2 + nH_2O \xrightarrow{\text{լույսի էներգիա և քլորոֆիլ}} (CH_2O)n + nO_2$$

ածխածնի երկօքսիդ ջուր ածխաջուր թթվածին

Հիմնականում առաջանում են հեքսոզ շաքարներ ու օսլա, ուստի հետևյալ հավասարումն է հաճախ օգտագործվում.

$$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow{\text{լույսի էներգիա և քլորոֆիլ}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

ածխածնի երկօքսիդ ջուր ածխաջուր թթվածին

Ռեակցիաների երկու շարք է ներգրավված: Դրանք են՝ լուսային փուլի ռեակցիաները, որոնց համար լույսի էներգիա է անհրաժեշտ, և մթնային փուլի ռեակցիաները, որոնք լույսի էներգիայի կարիք չունեն: Լուսային փուլի ռեակցիաները տեղի են ունենում միայն համապատասխան գունանյութերի առկայության դեպքում, որոնք կլանում են լույսի որոշակի ալիքի երկարություններ:

Լույսի էներգիան անհրաժեշտ է ջրի քայքայման (ֆոտոլիզի) համար, որի հետևանքով առաջանում է ջրածին և թթվածին. թթվածինը թափոնային արտադրանք է: Լույսի էներգիան անհրաժեշտ է նաև ԱԵՖ-ի տեսքով քիմիական էներգիա ապահովելու համար, որպեսզի մթնային փուլի ռեակցիաների ընթացքում ածխածնի երկօքսիդը վերականգնվի՝ առաջացնելով ածխաջրեր:

Այս փուլերին մասնակցող ֆոտոսինթետիկ գունանյութերը բաժանվում են երկու տեսակի՝ առաջնային և լրացուցիչ: Գունանյութերը դասավորված են լուսահավաք համալիրների մեջ, որոնք կոչվում են ֆոտոհամակարգեր: Ֆոտոհամակարգերը երկուսն են՝ 1-ին և 2-րդ: Ֆոտոհամակարգում առաջնային գունանյութի մոլեկուլը շրջապատված է լրացուցիչ գունանյութի մի քանի հարյուր մոլեկուլով, և տարբեր գունանյութերով կլանված լույսի էներգիան փոխանցվում է առաջնային գունանյութին (նկար 13.2բ): Առաջնային գունանյութերը քլորոֆիլի

երկու տեսակ են: Այս հիմնական գունանյութերը գործում են որպես ռեակցիոն կենտրոններ:

Ֆոտոսինթեզի լուսային փուլի ռեակցիաները

Լուսային փուլի ռեակցիաները ներառում են ջրի քայքայումը ֆոտոլիզի միջոցով, որի ընթացքում անջատվում են ջրածնի իոններ (պրոտոններ) և ԱԵՖ-ի սինթեզը՝ ֆոտոֆոսֆորիլացման ժամանակ: Ջրածնի իոնները միանում են ՆԱԴՖ-ի մոլեկուլին՝ առաջացնելով վերականգնված ՆԱԴՖ: ԱԵՖ-ը և վերականգնված ՆԱԴՖ-ն լուսային փուլի ռեակցիաներից անցնում են մթնային փուլ: ԱԵՖ-ի առաջացմամբ ԱԿՖ-ի ֆոտոֆոսֆորիլացումը կարող է լինել ցիկլիկ կամ ոչ ցիկլիկ՝ կախված մեկ կամ երկու տեսակի ֆոտոհամակարգերում էլեկտրոնների հոսքի տեսակից:

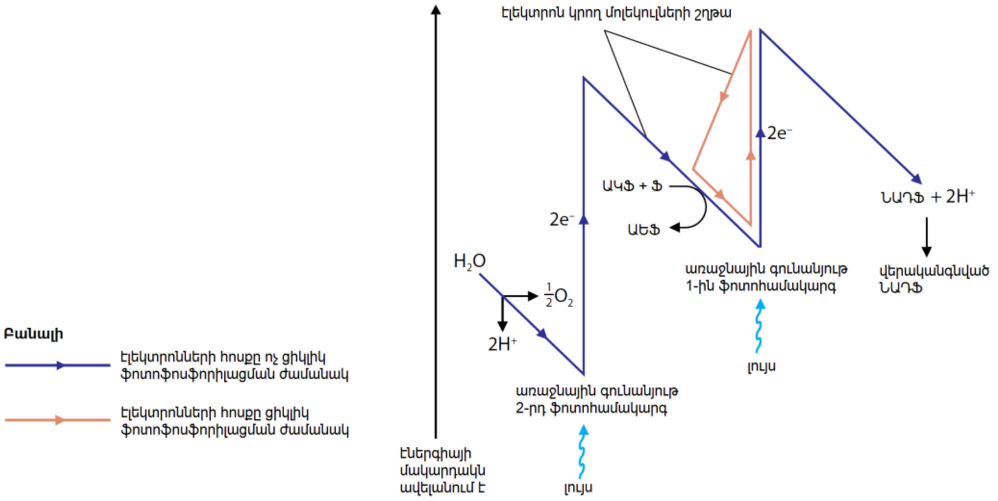
Ցիկլիկ ֆոտոֆոսֆորիլացում

Ցիկլիկ ֆոտոֆոսֆորիլացումը ներառում է միայն 1-ին ֆոտոհամակարգը: Լույսը կլանվում է 1-ին ֆոտոհամակարգի կողմից և փոխանցվում առաջնային գունանյութին: Քլորոֆիլի մոլեկուլում էլեկտրոնը գրգռվում է՝ անցնելով ավելի բարձր էներգիական մակարդակ և պոկվում է քլորոֆիլի մոլեկուլից: Սա կոչվում է ֆոտոակտիվացում: Ֆոտոհամակարգ վերադառնալու և էներգիան ջերմային էներգիայի կամ ֆլուորեսցենցիայի տեսքով կորցնելու փոխարեն գրգռված էլեկտրոնը կլանվում է էլեկտրոնի ընդունիչից և էլեկտրոն կրող մոլեկուլների շղթայի միջոցով փոխանցվում է քլորոֆիլի մոլեկուլին: Այս գործընթացի քեմիօսմոսի ընթացքում անջատվում է բավականաչափ էներգիա՝ ԱԿՖ-ից և անօրգանական ֆոսֆատային խմբից (Ֆ) ԱԵՖ սինթեզելու համար (էջ 270): Այնուհետև սինթեզված ԱԵՖ-ն անցնում է մթնային փուլ:

Ոչ ցիկլիկ ֆոտոֆոսֆորիլացում

Ոչ ցիկլիկ ֆոտոֆոսֆորիլացումը ներառում է երկու ֆոտոհամակարգերը՝ էլեկտրոնների հոսքի այսպես կոչված «Z սխեմայով» (նկար 13.3): Լույսը կլանվում է երկու ֆոտոհամակարգերի կողմից և գրգռված էլեկտրոնները պոկվում են երկու

կենտրոնների առաջնային գունանյութերից: Այս էլեկտրոնները կլանվում են էլեկտրոնը ընդունող մոլեկուլների կողմից և անցնում են էլեկտրոնային կրիչների շղթաներով՝ թողնելով ֆոտոհամակարգերը դրական լիցքավորված: 1-ին ֆոտոհամակարգի առաջնային գունանյութը կլանում է 2-րդ ֆոտոհամակարգի էլեկտրոնները: Դրա առաջնային գունանյութը փոխարինող էլեկտրոններ է ստանում ջրի քայքայումից (ֆոտոլիզ) ստացված էլեկտրոնների տեսքով: Սինթեզվում է ԱԵՖ՝ ինչպես ցիկլիկ ֆոտոֆոսֆորիլացման ընթացքում, քանի որ էլեկտրոնները կորցնում են էներգիան՝ կրող մոլեկուլների շղթայի երկայնքով անցնելիս:



Նկար 13.3 Ֆոտոֆոսֆորիլացման ժամանակ էլեկտրոնների հոսքի «Z սխեման»:

Ջրի ֆոտոլիզ

2-րդ ֆոտոհամակարգում գտնվում է ջուրը քայքայող ֆերմենտ, որը կատալիզում է ջրի քայքայումը.

$$H_2O \rightarrow 2H^+ + 2e^- + \frac{1}{2}O_2$$

Թթվածինը այս գործընթացի թափոնն է: Ջրածնի իոնները միանում են 1-ին ֆոտոհամակարգի էլեկտրոններին և ՆԱԴՖ կրիչ մոլեկուլի էլեկտրոններին՝ առաջացնելով վերականգված ՆԱԴՖ.

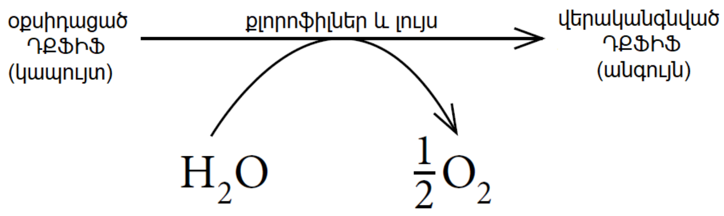
$$2H^{+}+2e^{-}+ \text{ՆԱԴՖ} \rightarrow \text{վերականգնված ՆԱԴՖ}$$

Վերականգնված ՆԱԴՖ-ն անցնում է մթնային փուլ և օգտագործվում է ածխաջրերի սինթեզում: Ջրի ֆոտոլիզը կարելի է ներկայացնել Հիլի ռեակցիայով:

Հիլի ռեակցիան

Ռեդօքս ռեակցիաները օքսիդավերականգնման ռեակցիաներ են, որոնց ընթացքում էլեկտրոնները էլեկտրոնի դոնորից (վերականգնիչ) փոխանցվում են էլեկտրոն ընդունողին (օքսիդիչ): Երբեմն տեղափոխվում են ջրածնի ատոմներ, հետևաբար, դեհիդրոգենիզացումը համասարազոր է օքսիդացման:

1939 թ. Ռոբերտ Հիլը ցույց տվեց, որ բջիջից անջատված քլորոպլաստները «վերականգնող ուժ» ունեն և ջրից թթվածին են անջատում օքսիդիչի առկայության դեպքում: «Վերականգնող ուժը» ցուցադրվեց՝ օգտագործելով ռեդօքս նյութ, որը վերականգնվելիս փոխում է գույնը: Այս տեխնիկան կարող է օգտագործվել լույսի ինտենսիվության կամ լույսի ալիքի երկարության ազդեցությունը քլորոպլաստների կախույթով իրականացվող ֆոտոսինթեզի արագության վրա ուսումնասիրելու համար: Որպես ակցեպտոր՝ ընդունող, Հիլն օգտագործեց Fe^{3+} իոնները, բայց տարբեր օքսիդիչներ (ինչպիսին է կապույտ ներկանյութ ԴՔՖԻՖ-ը (դիքլորֆենոլինդոֆենոլ), որոնք այս համակարգում կարող են փոխարինել ՆԱԴՖ-ին (նկար 13.4): ԴՔՖԻՖ-ը դառնում է անգույն, երբ վերականգնվում է.

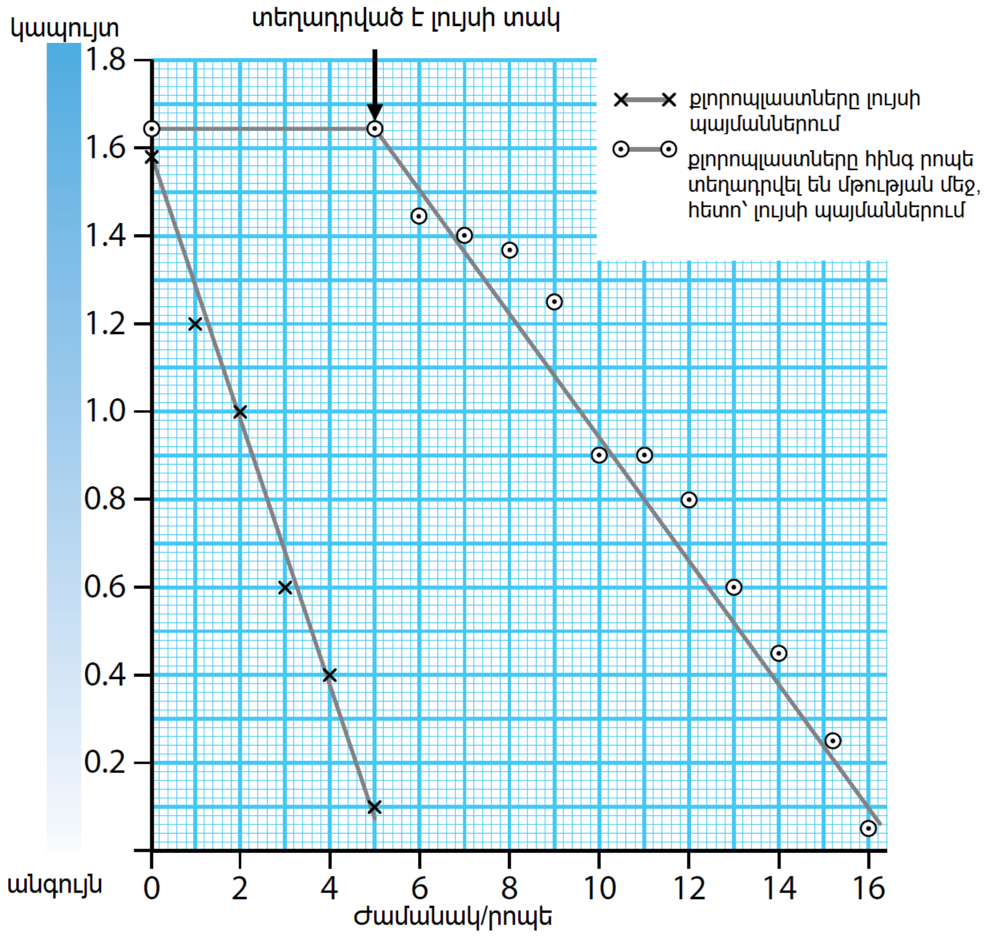


Նկար 13.4-ում պատկերված են դասարանում իրականացված այս ռեակցիայի արդյունքները:

Հիլի ռեակցիայի հետազոտությունը

Քլորոպլաստները հնարավոր է անջատել բույսերի, օրինակ, հազարի կամ սպանախի տերևներից՝ վերջիններս լուծելով սառը բուֆերի մեջ և ապա ֆիլտրելով կամ ցենտրիֆուգելով ստացված կախույթը՝ անցանկալի մասերը հեռացնելու համար: Արագ աշխատելով և օգտագործելով ապակյա սառը իրեր՝ քլորոպլաստներ պարունակող բուֆերային կախույթի և դրան ավելացված ԴՔՖԻՖ-ի լուծույթի սրվակները տեղադրվում են լույսի տարբեր ինտենսիվությունների պայմաններում, կամ լույսի տարբեր ալիքի երկարություններում, և որոշակի ընդմիջումներով գնահատվում է կապույտ գույնը:

Կապույտ գույնի անհետացման արագությունը (որը չափվում է գունաչափիչ սարքով՝ կալորիմետրով կամ փորձնական սրվակները համապատասխանեցնելով հայտնի կոնցենտրացիաներով ԴՔՖԻՖ-ի լուծույթ պարունակող սրվակների հետ) ցույց է տալիս քլորոպլաստի ակտիվության վրա հետազոտվող գործոնի (լույսի ինտենսիվությունը կամ լույսի ալիքի երկարությունը) ազդեցության չափը:



Նկար 13.4 Հիլի ռեակցիան: Քլորոպլաստներն անջատվել են հազարից և տեղադրվել ԴՔՖԻՖ պարունակող բուֆերային լուծույթում: Գունաչափի գրանցած արդյունքները համամասն են չվերականգնված ԴՔՖԻՖ-ի քանակին:

Տե՛ս կից

Ֆոտոսինթեզ. հայերեն տեսանյութ

https://drive.google.com/drive/folders/11ot5Y3C7HPGax0inkJP0iHhXUfJns5AE

Ֆոտոսինթեզ. հայերեն սահիկաշար

https://docs.google.com/presentation/d/1W93vXcNrTfzAPIVkpsD__F8JPefSdYVZ/edit#slide=id.p1

Ֆոտոսինթեզ. հայերեն նյութեր

https://docs.google.com/document/d/1mVzikiTxeB8n3tvt4pTBOuq0IRxZaJb7/edit

Ֆոտոսինթեզի ինտենսիվությանը վերաբերող վիրտուալ փորձ

https://drive.google.com/drive/folders/11ot5Y3C7HPGax0inkJP0iHhXUfJns5AE

Ֆոտոսինթեզին վերաբերող լաբորատոր փորձի տեսանյութ

https://drive.google.com/drive/folders/11ot5Y3C7HPGax0inkJP0iHhXUfJns5AE

Ֆոտոսինթեզի գործընթացը. անգլերեն տեսանյութ

https://drive.google.com/drive/folders/11ot5Y3C7HPGax0inkJP0iHhXUfJns5AE

ՀԱՐՑԵՐ

13.1 Ուսումնասիրիր նկար 13.4-ում ներկայացված երկու կորերը և բացատրիր.

ա. երկու կորերի անկման միտում,

բ. երկու կորերի տարբերությունները:

13.2 Բացատրիր, թե Հիլի ռեակցիայի հայտնաբերումն ինչ ներդրում ունեցավ ֆոտոսինթեզի գործընթացն ավելի լավ հասկանալու համար:

Կալվինի ցիկլ (6 ժամ)
Սովորողին տրվող նյութ

Ֆոտոսինթեզի լուսային փուլի ռեակցիաները

Ածխածնի երկօքսիդի կլանումը լույսից անկախ գործընթաց է, որի ընթացքում ածխաթթու գազը միանում է հինգ ածխածին պարունակող շաքար ռիբուլոզ կրկնաֆոսֆատի (ՌուբԿՖ) հետ՝ առաջացնելով երեք ածխածնային միացություն գլիցերատ 3-ֆոսֆատի (ԳՖ) երկու մոլեկուլ: (Այս միացությունը երբեմն հայտնի է նաև որպես ՖԳԱ:)

ԳՖ-ն, ԱԵՖ-ի և վերականգնված ՆԱԴՖ-ի առկայությամբ, լուսային փուլի ռեակցիաների ընթացքում վերածվում է տրիոզ ֆոսֆատի (ՏՖ, երեք ածխածնային շաքար): Սա այն պահն է, երբ ֆոտոսինթեզի ընթացքում արտադրվում է ածխաջուր: Տրիոզ ֆոսֆատների մեծ մասը (հինգ վեցերորդ մասը) օգտագործվում է ՌուբԿՖ-ն վերականգնման համար, իսկ մնացած մասը (մեկ վեցերորդը) օգտագործվում է բույսին անհրաժեշտ այլ մոլեկուլներ արտադրելու համար: Այս տրիոզ ֆոսֆատներից մի քանիսը միանում են՝ դառնալով հեքսոզ ֆոսֆատներ, որոնք էլ իրենց հերթին օգտագործվում են օսլա (պահեստավորելու նպատակով), սախարոզ (բույսի մեջ տեղափոխման համար) կամ բջջաթաղանթ (բջջապատեր պատրաստելու համար) արտադրելու համար: Մի քանիսն էլ վերածվում են գլիցերինի և ճարպաթթուների՝ բջջաթաղանթների համար լիպիդներ արտադրելու համար, կամ ացետիլ կոֆերմենտ A-ի՝ շնչառության մեջ օգտագործելու համար կամ էլ ամինաթթուների՝ սպիտակուցների սինթեզի մեջ օգտագործվելու համար:

Իրադարձությունների այս շրջափուլը մշակվել է Կալվինի, Բենսոնի և Բասհամի կողմից 1946-1953 թվականներին և կոչվում է Կալվինի ցիկլ (նկար 13.5): Ռիբուլոզ կրկնաֆոսֆատ կարբօքսիլազ (ռուբիսկո) ֆերմենտը, որը կատալիզում է ածխածնի երկօքսիդի և ՌուբԿՖ-ի միացումը, աշխարհում ամենատարածված ֆերմենտն է:

Նկար 13.5 Կալվինի ցիկլը

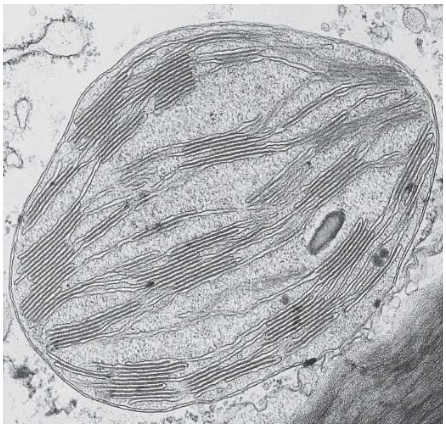
Քլորոպլաստներ (6 ժամ)
Սովորողին տրվող նյութ
Քլորոպլաստների կառուցվածքը և գործառույթը

Կորիզավոր օրգանիզմներում ֆոտոսինթեզը տեղի է ունենում **քլորոպլաստում:** Երկշաքիլ բույսերում քլորոպլաստները կարելի է տեսնել լուսային մանրադիտակի միջոցով, որոնք երևում են մոտ 3–10 մկմ տրամագիծ ունեցող սկավառակների տեսքով: Բջջում կարող է լինել ընդամենը մի քանի քլորոպլաստ, իսկ palisade մեզոֆիլի որոշ բջիջներում՝ 100-ը:

Քլորոպլաստի կառուցվածքը ներկայացված է նկար 13.2 ա-ում և 13.6-ում: Յուրաքանչյուր քլորոպլաստ շրջապատված է կրկնակի ֆոսֆոլիպիդային թաղանթով: Թաղանթներից կազմված համակարգն անցնում է նաև քլորոպլաստների ներսում գտնվող նյութի կամ ստրոմայի միջով: Թաղանթային համակարգը ֆոտոսինթեզի լուսային փուլի ռեակցիաների վայրն է: Այն բաղկացած է մի շարք տափակ և հեղուկով լցված պարկերից՝ թիլակոիդներից: Դրանք իրար թաղանթով միացած կույտեր են առաջացնում, որոնք էլ կոչվում են **գրաններ**: Գրանների թաղանթները մեծ մակերես են ապահովում, որտեղ գտնվում են գունանյութեր, ֆերմենտներ և էլեկտրոն կրող մոլեկուլներ, որոնք անհրաժեշտ են լուսային փուլի ռեակցիաների համար: Թաղանթները հնարավորություն են ստեղծում մեծ քանակությամբ գունանյութի մոլեկուլների համար, որպեսզի վերջիններս կարողանան կլանել այնքան լույս, որքան անհրաժեշտ է: Գունանյութերի մոլեկուլները դասավորված են լուսահավաք կլաստերներով՝ լույսը արդյունավետ կլանելու համար: Յուրաքանչյուր ֆոտոհամակարգում տարբեր գունանյութերը դասավորված են թիլակոիդում՝ ձագարաձև կառույցներում (նկար 13.2, էջ 287): Յուրաքանչյուր գունանյութ էներգիա է փոխանցում կլաստերի հաջորդ անդամին՝ վերջապես «կերակրելով» քլորոֆիլ a-ին՝ որպես ռեակցիայի կենտրոնի (առաջնային գունանյութ): Գրանի թաղանթները պարունակում են ԱԵՖ սինթազ և քեմիօսմոսի միջոցով ԱԵՖ-ի սինթեզի վայրեր (էջ 270):

Ստրոմայում տեղի են ունենում ֆոտոսինթեզի մթնային փուլի ռեակցիաները: Ստրոման պարունակում է Կալվինի ցիկլի ֆերմենտներ, շաքարներ և օրգանական թթուներ, բացի այդ, ողողում է գրանի թաղանթները և այդպիսով կարող է ստանալ լուսային փուլի ռեակցիաների արդյունքում ստացված նյութերը: Ստրոմայի մեջ կան նաև փոքր (70 S) ռիբոսոմներ, օղակաձև ԴՆԹ, լիպիդի կաթիլներ և օսլայի հատիկներ: Օղակաձև ԴՆԹ-ն կոդավորում է քլորոպլաստներում գտնվող որոշ սպիտակուցներ, որոնք սինթեզվում են քլորոպլաստներում գտնվող ռիբոսոմների միջոցով: Սակայն, քլորոպլաստում

հայտնաբերվող այլ սպիտակուցներ կոդավորվում են բուսական բջիջների բջջակորիզում գտնվող ԴՆԹ-ով:



Նկար 13.6 *Potamogeton*-ի տերևի քլորոպլաստի էլեկտրոնային տրանսմիսիոն մանրապատկեր (27 000 x): Տե՛ս նաև նկար 1.29-ը

ՀԱՐՑ

13.3 Թվարկի՛ր քլորոպլաստի առանձնահատկությունները, որոնք նպաստում են ֆոտոսինթեզին:

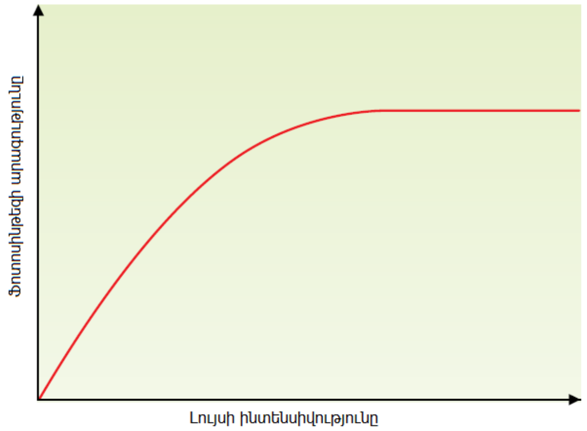
Ֆոտոսինթեզի համար անհրաժեշտ գործոնները

Ֆոտոսինթեզի համար անհրաժեշտ են որոշակի գործոններ, այն է՝ համապատասխան ֆոտոսինթետիկ գունանյութի առկայություն, ածխաթթու գազի, ջրի և լուսային էներգիայի մատակարարում:

Ֆոտոսինթեզի արագության վրա ազդող գործոններ

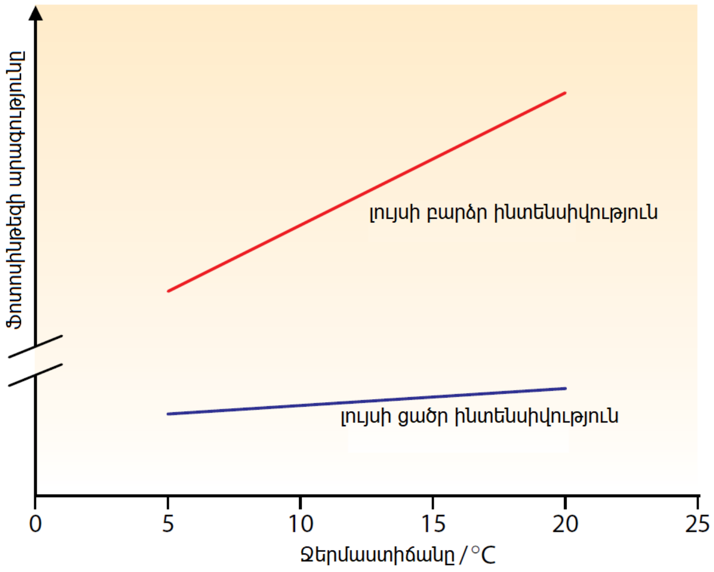
Ֆոտոսինթեզի արագության վրա ազդող հիմնական արտաքին գործոններն են լույսի ինտենսիվությունը և ալիքի երկարությունը, ջերմաստիճանը և ածխաթթու գազի կոնցենտրացիան: 1900-ական թթ. սկզբին Ֆ. Ֆ. Բլեքմանը հետազոտում էր լույսի ինտենսիվության և ջերմաստիճանի ազդեցությունը ֆոտոսինթեզի արագության վրա: Հաստատուն ջերմաստիճանում ֆոտոսինթեզի արագությունը տատանվում է՝ կախված լույսի ինտենսիվությունից՝ նախապես

աճելով լույսի ինտենսիվության մեծացմանը զուգընթաց (Նկար 13.7): Սակայն, լույսի ավելի բարձր ինտենսիվության դեպքում այս հարաբերությունն այլևս չի պահպանվում, և ֆոտոսինթեզի արագությունը հասնում է կայուն վիճակի:



Նկար 13.7 Ֆոտոսինթեզի արագությունը լույսի տարբեր ինտենսիվության և հաստատուն ջերմաստիճանի պայմաններում

Լույսի հաստատուն ինտենսիվության պայմաններում փոփոխվող ջերմաստիճանի ազդեցությունը ֆոտոսինթեզի արագության վրա կարելի է տեսնել նկար 13.8-ում: Լույսի բարձր ինտենսիվության պայմաններում ֆոտոսինթեզի արագությունը մեծանում է, քանի որ ջերմաստիճանը բարձրանում է սահմանափակ տիրույթում: Լույսի ցածր ինտենսիվության դեպքում ջերմաստիճանի բարձրացումը քիչ ազդեցություն է ունենում ֆոտոսինթեզի արագության վրա:



Նկար 13.8 Ֆոտոսինթեզի արագությունը տարբեր ջերմաստիճաններում և լույսի տարբեր ինտենսիվության պայմաններում

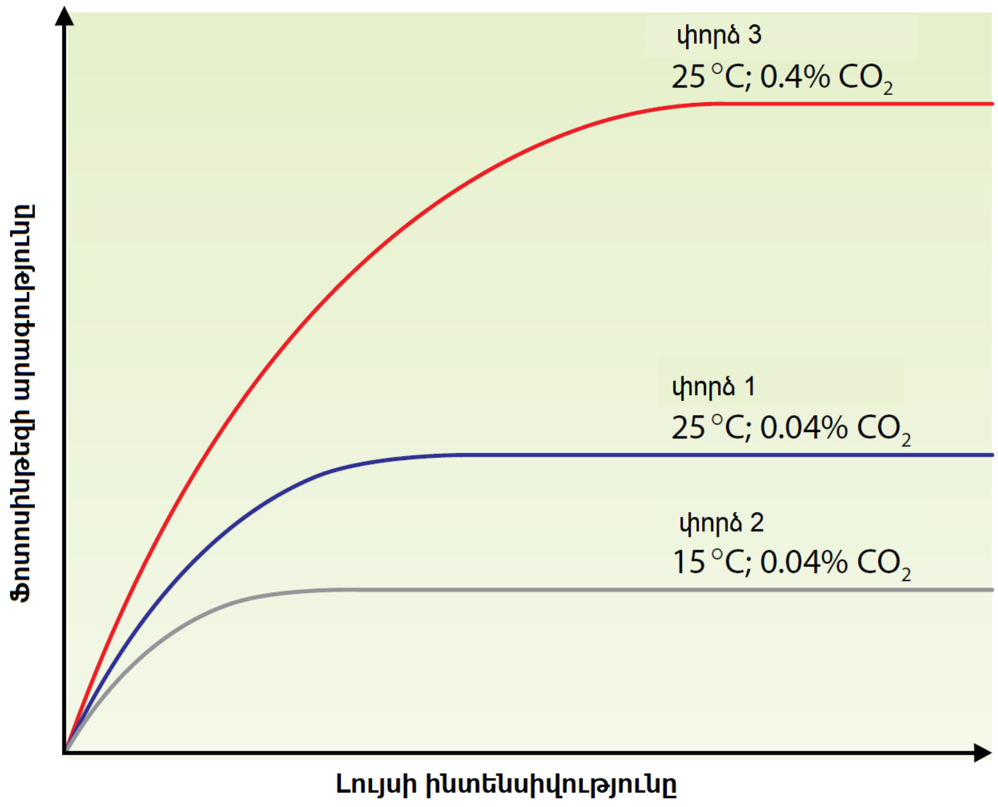
Այս երկու փորձերը ցույց են տալիս երկու կարևոր կետ: Նախ՝ այլ հետազոտություններից մենք գիտենք, որ ֆոտոքիմիական ռեակցիաների վրա ջերմաստիճանը հիմնականում չի ազդում: Սակայն այս փորձերը հստակ ցույց են տալիս, որ ջերմաստիճանն ազդում է ֆոտոսինթեզի արագության վրա, հետևաբար ֆոտոսինթեզի ամբողջական գործընթացում ռեակցիաների երկու խումբ է ներգավված: Դրանք են լույսից կախված ֆոտոքիմիական փուլը և լույսից անկախ, ջերմաստիճանից կախված փուլը: Երկրորդ՝ Բլեքմանի փորձերը ցույց են տալիս սահմանափակող գործոնների գաղափարը:

Սահմանափակող գործոններ

Մի շարք ռեակցիաներից կազմված ցանկացած գործընթացի արագությունը սահմանափակվում է շարքի ամենադանդաղ ռեակցիայով: Կենսաքիմիայում, եթե գործընթացի վրա ազդում են մեկից ավելի գործոններ, արագությունը կսահմանափակվի այն գործոնով, որը մոտ է իր ամենացածր արժեքին:

Տե՛ս նկար 13.9-ը: Լույսի ցածր ինտենսիվության դեպքում ֆոտոսինթեզի արագությունը կարգավորող սահմանափակող գործոնը լույսի ինտենսիվությունն է. ինտենսիվության աճի հետ արագությունը մեծանում է: Բայց լույսի բարձր ինտենսիվության դեպքում մեկ կամ մի քանի այլ գործոններ պետք է սահմանափակեն, ինչպիսիք են ջերմաստիճանը կամ ածխաթթու գազի մատակարարումը:

Ինչպես կտեսնես այս գլխի հաջորդ բաժնում, լույսի ոչ բոլոր ալիքների երկարությունները կարող են օգտագործվել ֆոտոսինթեզում: Սա նշանակում է, որ լույսի ալիքի երկարությունները, որոնք հասնում են բույսի տերևներին, կարող են սահմանափակել ֆոտոսինթեզի արագությունը (նկար 13.16 բ, էջ 295):



Նկար 13.9 Ֆոտոսինթեզի արագությունը տարբեր ջերմաստիճաններում և ածխաթթու գազի տարբեր կոնցենտրացիաներում (0,04% CO_2-ը մթնոլորտային կոնցենտրացիան է)

ՀԱՐՑ

13.4 Ուսումնասիրիր նկար 13.9-ը, որը ցույց է տալիս տարբեր գործոնների ազդեցությունը ֆոտոսինթեզի արագության վրա և բացատրում է.

ա. 1-ին և 2-րդ փորձերի արդյունքների տարբերությունները,

բ. 1-ին և 3-րդ փորձերի արդյունքների տարբերությունները:

Լույսի հաստատուն ինտենսիվության և հաստատուն ջերմաստիճանի պայմաններում ֆոտոսինթեզի արագությունը սկզբում մեծանում է ածխաթթու գազի մեծ կոնցենտրացիային զուգընթաց, բայց ավելի բարձր կոնցենտրացիաների դեպքում կրկին նվազում է: Ածխածնի երկօքսիդի տարբեր կոնցենտրացիաներում ֆոտոսինթեզի արագության գրաֆիկը նույն տեսքն ունի, ինչ տարբեր լույսի ինտենսիվության դեպքում (նկար 13.9): Ածխածնի երկօքսիդի ցածր կոնցենտրացիաների դեպքում ածխաթթու գազի մատակարարումը արագությունը սահմանափակող գործոնն է: Ածխածնի երկօքսիդի ավելի բարձր կոնցենրացիաների դեպքում այլ գործոնները, ինչպիսիք են լույսի ինտենսիվությունը կամ ջերմաստիճանը, կարող են սահմանափակել արագությունը:

Այս սահմանափակող գործոնների ազդեցությունը ֆոտոսինթեզի արագության վրա հեշտությամբ կարելի է ուսումնասիրել ջրային բույս *Elodea or Cabomba*-ի օգտագործմամբ և նկար 13.10-ում պատկերված պարզ սարքի միջոցով: Բույսի կտրված ցողունից միավոր ժամանակում արտադրված գազի (հիմնականում թթվածնի) պղպջակների քանակը կարելի է հաշվել տարբեր պայմաններում: Այլընտրանքորեն գազը կարող է հավաքվել, որից հետո չափվում է միավոր ժամանակում արտադրված ծավալը: Այս գործընթացը կախված է այն փաստից, որ թթվածնի արտադրության արագությունը ֆոտոսինթեզի արագության չափն է:

Պահպանված միջավայրում աճող բույսեր

Ֆոտոսինթեզի արագության վրա շրջապատող միջավայրի գործոնների ազդեցությունը հասկանալը հնարավորություն է տալիս վերահսկելու դրանք, երբ մշակաբույսերն աճեցվում են պահպանված միջավայրում, ինչպիսիք են ջերմոցները: Դրա նպատակն է բարձրացնել համապատասխան բույսի բերքատվությունը:

Օրինակ՝ լոլիկի բույսերը հեկտարներով աճեցվում են ջերմոցներում: Համապատասխան բարդ սենսորների միջոցով վերահսկվում է լույսի ինտենսիվությունը, մթնոլորտի խոնավությունը և ածխաթթու գազի կոնցենտրացիան բույսերի շուրջը: Բույսերն աճում են հիդրոպոնիկորեն, այսինքն՝ արմատները գտնվում են սննդային լուծույթում, որի սննդանյութերի պարունակությունը կարող է փոփոխվել բույսերի աճի տարբեր փուլերում: Այս բոլոր գործոնները վերահսկվում են համակարգչով՝ առավելագույն բերք ստանալու համար:

Նման ջերմոցներում աճեցվող մշակաբույսերն ունեն այն առավելությունը, որ միջատների վնասատուները և սնկային հիվանդությունները ավելի հեշտությամբ են վերահսկվում, քան հնարավոր է դաշտային մշակաբույսերի դեպքում, բարելավվում է բերքատվությունը:

Ջրային բույսի ֆոտոսինթեզի արագության ուսումնասիրությունը

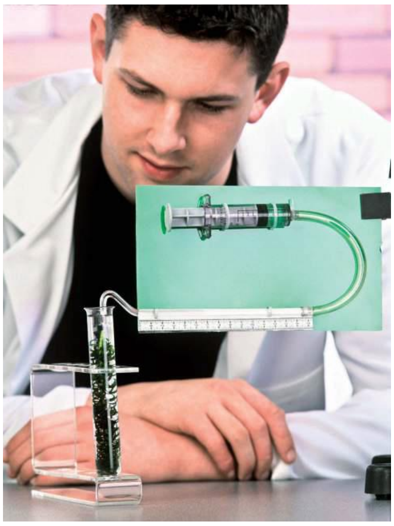
Elodea-ն կամ նմանատիպ այլ ջրային բույսեր կարող են օգտագործվել ֆոտոսինթեզի արագության վրա հետևյալ փոփոխություններն ուսումնասիրելու համար.

- **լույսի ինտենսիվությունը**՝ լույսի փոքր աղբյուրի և բույսի միջև հեռավորությունը՝ d-ն փոխելով (լույսի ուժգնությունը համամասնական է $1/d^2$),
- **լույսի ալիքի երկարությունը**՝ օգտագործելով տարբեր գույների ֆիլտրեր, որոնք փոխանցում են միևնույն ինտենսիվությամբ լույս,

■ **ածխածնի երկօքսիդի կոնցենտրացիան**՝ բույսը շրջապատող ջրին ավելացնելով տարբեր քանակությամբ նատրիումի հիդրոկարբոնատ ($NaHCO_3$),

■ բույսը շրջապատող ջրի **ջերմաստիճանը**՝ օգտագործելով մեծ տարա՝ ընտրված ջերմաստիճանը պահպանելու համար:

Օգտագործելուց առաջ ջրային բույսը պետք է լավ լուսավորվի, և ընտրված ցողունը պետք է մաքուր կտրել նախքան այն փորձանոթի մեջ տեղադրելը (նկար 13.10): Անջատված պղպջակները հիմնականում թթվածին են, բայց պարունակում են ազոտ: Որպեսզի այդ գազերը չլուծվեն ջրում նախքան պղպջակներ առաջացնելը, օգտագործելուց առաջ ջրից պետք է օդը հնարավորինս հեռացնել պղպջակներ առաջացնելու միջոցով:



Նկար 13.10 Ջրային բույսի ֆոտոսինթեզի արագության ուսումնասիրությունը

C4 բույսեր

Հավանաբար հիշում եք, որ ֆոտոսինթեզի մթնային փուլի ռեակցիաներում ածխածնի երկօքսիդը միանում է ՌուբԿՖ-ի հետ և առաջացնում վեց ածխածնային միացություն, որն անմիջապես կիսվում է և առաջացնում երկու՝ երեք ածխածնային մոլեկուլ (էջ 290): Սա տեղի է ունենում C3 բույսերում:

Սակայն եգիպտացորենի և սորգոյի բույսերը, և շատ այլ արևադարձային խոտաբույսեր այլ բան են անում: Մթնային փուլի ռեակցիաներում արտադրվող առաջին միացությունը պարունակում է ածխածնի **չորս** ատոմ: Ուստի դրանք կոչվում են C4 բույսեր:

Խուսափելով ֆոտոշնչառությունից

Ինչո՞ւ է անհրաժեշտ, որ արևադարձային բույսերը մյուս բույսերից տարբեր բան անեն ֆոտոսինթեզի մթնային փուլում: Պատճառը ռուբիսկո ֆերմենտի հետ կապված խնդիրն է: Այս ֆերմենտը կատալիզում է ածխածնի երկօքսիդի և ՌուբԿՖ-ի միացման ռեակցիան: Բայց, ցավոք, այն կարող է նաև կատալիզել թթվածնի և ՌուբԿՖ-ի միացման ռեակցիան: Երբ դա տեղի է ունենում, ավելի քիչ ֆոտոսինթեզ է կատարվում, քանի որ ՌուբԿՖ-ի որոշ մասը «վատնվում» է և ավելի քիչ քանակն է հասանելի մնում ածխաթթու գազի հետ միանալու համար: Այս անցանկալի ռեակցիան հայտնի է որպես ֆոտոշնչառություն: Դա տեղի է ունենում բարձր ջերմաստիճանի և լույսի բարձր ինտենսիվության պայմաններում, այսինքն՝ այն պայմաններում, որոնք հայտնաբերվում են ցածրադիր գոտիներում՝ աշխարհի արևադարձային մասերում:

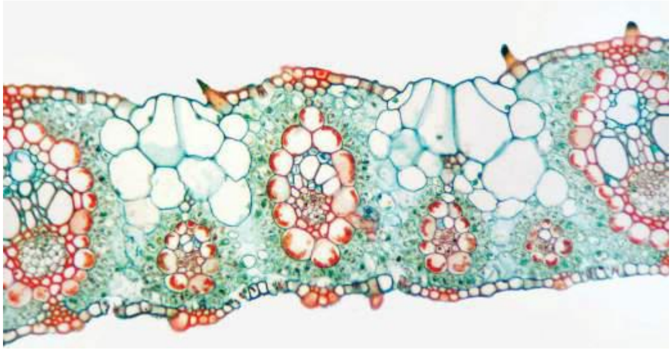
Արևադարձային բույսերը, ինչպիսիք են եգիպտացորենը, սորգոն և շաքարեղեգը, զարգացրել են ֆոտոշնչառությունից խուսափելու մեթոդ: Նրանք հեռու են պահում ՌուբԿՖ-ն և ռուբիսկոն թթվածնի բարձր կոնցենտրացիաներից: ՌուբԿՖ և ռուբիսկո պարունակող բջիջները դասավորված են անոթային խրձի շուրջ և կոչվում են անոթային խրձի բջիջներ (նկարներ 13.11, 13.12 և 13.13): Դրանք անմիջական կապ չունեն տերևի ներսում եղած օդի հետ:

Ածխածնի երկօքսիդը կլանվում է բջիջների մեկ այլ խմբի՝ **մեզոֆիլի** բջիջների կողմից, որոնք ուղղակի **շփման մեջ են օդի հետ** (նկար 13.13): Մեզոֆիլի բջիջները պարունակում են ՖԷՊ կարբօքիլազ կոչվող ֆերմենտը, որը կատալիզում է օդի ածխածնի երկօքսիդի և երեք ածխածնային միացություն **ֆոսֆոէնոլպիրուվատի** (ՖԷՊ) միացումը: Այս ռեակցիայից առաջացած միացությունը օքսալոքացախաթթուն (օքսալոացետատ) է (նկար 13.14):

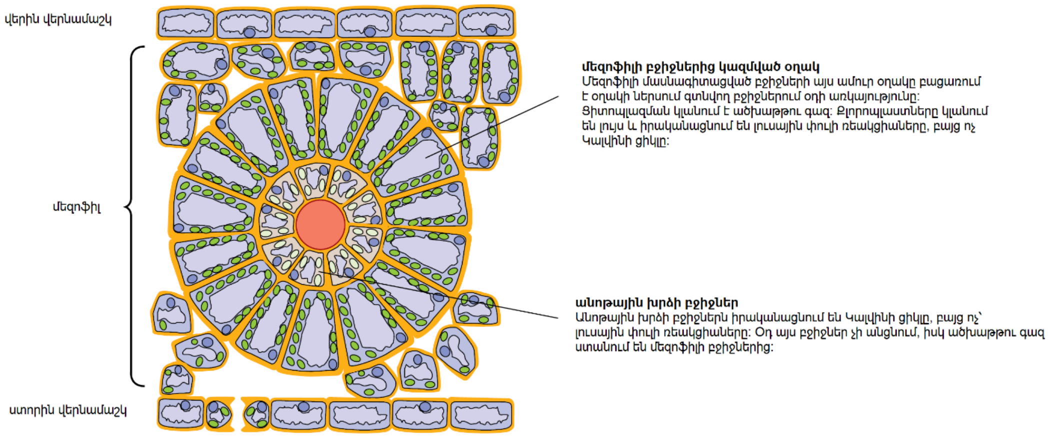
Դեռևս մեզոֆիլի բջիջներում օքսալոքացախաթթուն վերածվում է մալատի, որն անցնում է անոթային խրձի բջիջներին: Դրանից հետո մալատի մոլեկուլներից անջատվում է ածխածնի երկօքսիդ, որը սովորական եղանակով ռուբիսկոյի օգնությամբ հասնում է ՌուբԿՖ-ին: Դրանից հետո լուսային փուլի ռեակցիաներն ընթանում են սովորականի նման:

C4 բույսերի ֆերմենտները սովորաբար ունեն ավելի բարձր օպտիմալ ջերմաստիճան, քան C3 բույսերի ֆերմենտները: Սա տաք կլիմայական պայմաններում աճելուն հարմարողականություն է: Օրինակ՝ մի ուսումնասիրության արդյունքում պարզվել է, որ ամարանտի մեջ, որը C4 բույս է, ՖԷՊ կարբօքսիլազի գործունեության օպտիմալ ջերմաստիճանը մոտ 45°C է: Եթե ջերմաստիճանը իջնում է 15°C, ֆերմենտը կորցնում է իր աշխատունակության շուրջ 70%-ը: Եվ հակառակը, պարզվել է, որ ոլոռի նույն ֆերմենտը, որը C3 բույս է, օպտիմալ ջերմաստիճանը մոտ 30°C է և կարող է շարունակել աշխատել շատ ավելի ցածր ջերմաստիճաններով, քան ամարանտի ֆերմենտը:

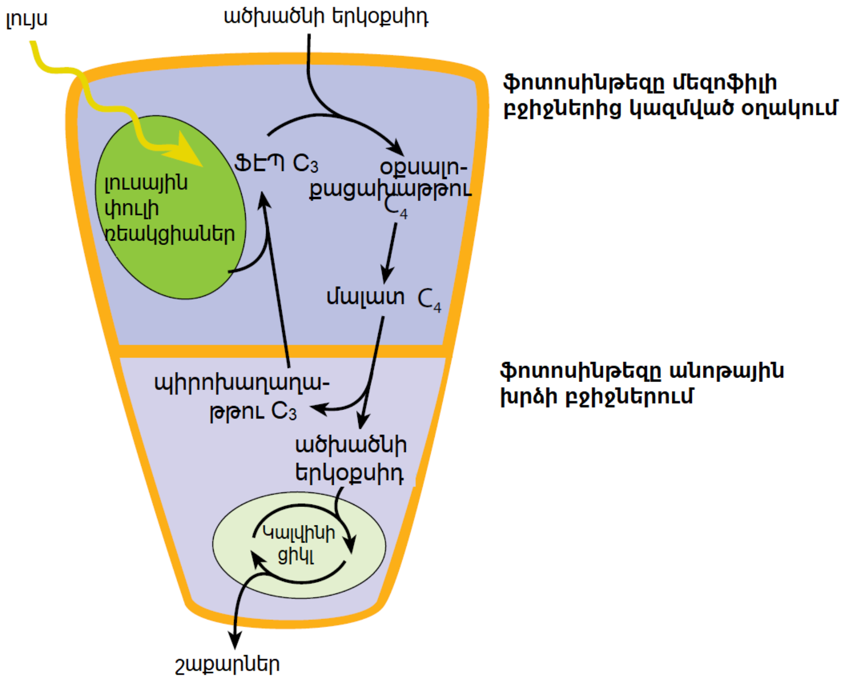
Նկար 13.11 Եգիպտացորենի տերևի լայնական կտրվածքի լուսամանրապատկեր (125x)



Նկար 13.12 Շաքարեղեգի տերևի լայնական կտրվածքի լուսամանրապատկեր (120x)



Նկար 13.13 C4 բույսի տերևի անոթային խրձի բջիջները շրջապատող հյուսվածքները



Նկար 13.14 Ֆոտոսինթեզը C4 բույսերում

ՀԱՐՑ

13.5 Աշխարհում ամենաարդյունավետ բերքատվությամբ բույսերը C4 բույսեր են: Սակայն բրինձը աճում է արևադարձային շրջաններում և C3 բույս է: Գենետիկորեն ձևափոխված բրինձ արտադրելու հնարավորության հետազոտություններ են կատարվում, որը ֆոտոսինթեզի ժամանակ օգտագործում է C4 ուղին: Բացատրիր, թե ինչպես դա կարող է մեծացնել բրնձի բերքատվությունը:

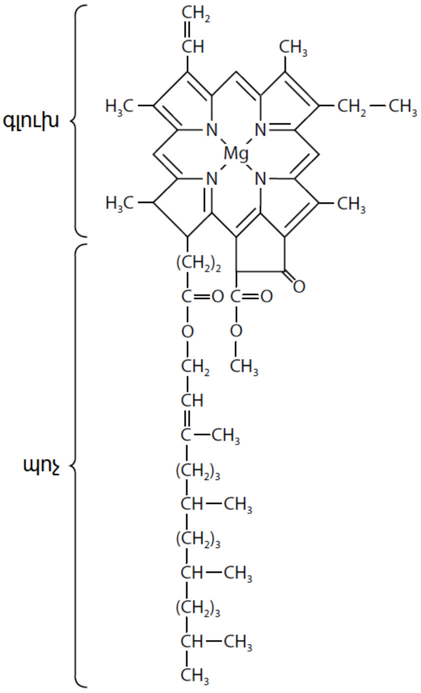
Լույսի էներգիայի կլանումը

Քլորոպլաստները պարունակում են մի քանի տարբեր գունանյութեր, և այդ տարբեր գունանյութերը կլանում են լույսի ալիքի տարբեր երկարություններ: Բարձրակարգ բույսերի ֆոտոսինթետիկ գունանյութերը երկու խմբի են բաժանվում՝ քլորոֆիլներ (առաջնային գունանյութեր) և կարոտինոիդներ (լրացուցիչ գունանյութեր): (Տե՛ս աղյուսակ 13.1)

Խումբը	**Գունանյութը**	**Գույնը**
քլորոֆիլներ	քլորոֆիլ *a* քլորոֆիլ *b*	դեղնականաչ կապտականաչ
կարոտինոիդներ	β կարոտին քսանտոֆիլ	նարնջագույն դեղին

Աղյուսակ 13.1 Հաճախ հանդիպող ֆոտոսինթետիկ գունանյութերի գույները

Քլորոֆիլները հիմնականում կլանում են լուսային սպեկտրի կարմիր և կապտամանուշակագույն շրջաններում: Դրանք արտացոլում են կանաչ լույսը, այդ իսկ պատճառով բույսերը կանաչ են թվում: Քլորոֆիլ *a*-ի կառուցվածքը ներկայացված է նկար 13.15-ում: Կարոտինոիդները հիմնականում կլանում են սպեկտրի կապտամանուշակագույն շրջանում:

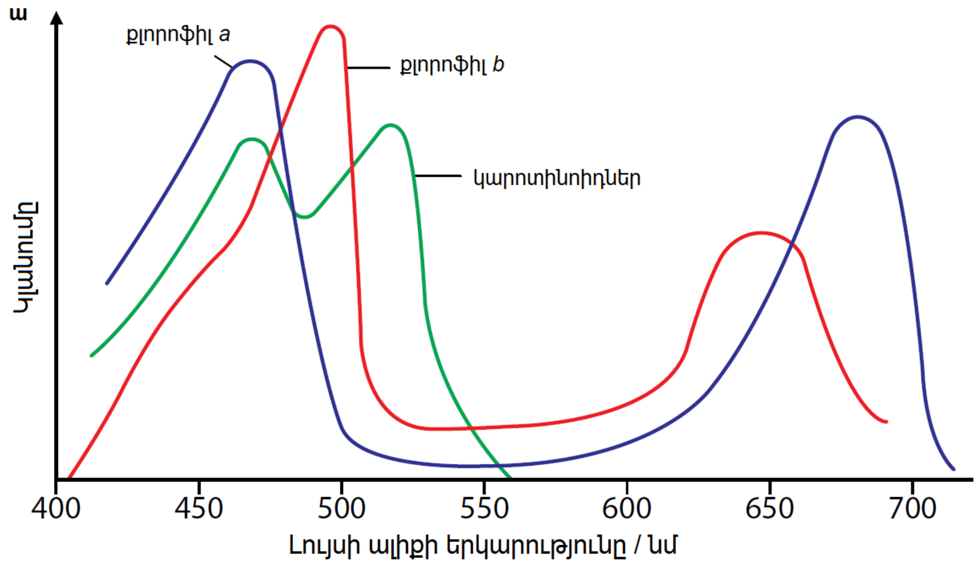


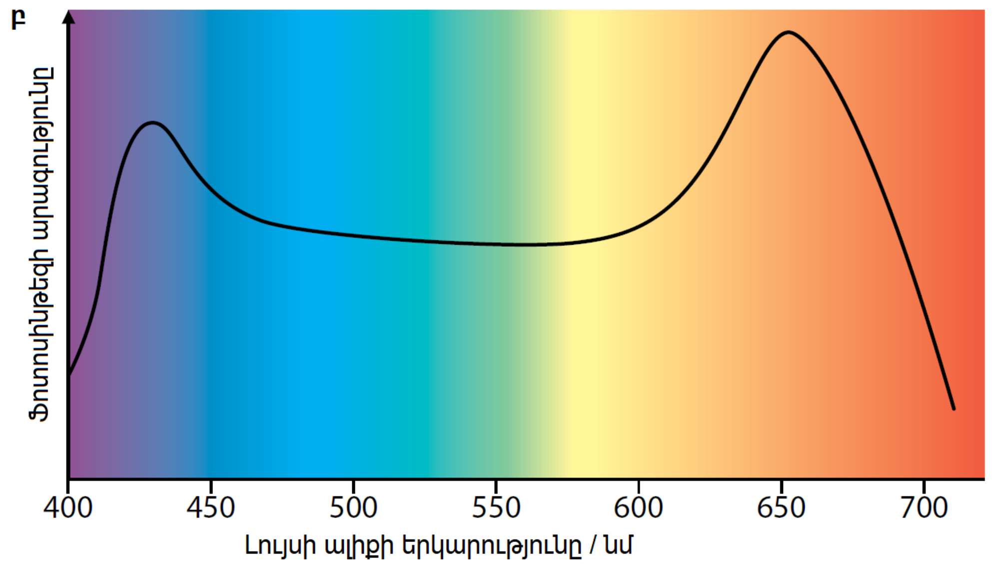
Նկար 13.15 Քլորոֆիլ *a*-ի կառուցվածքը

Հարկ չկա այս մոլեկուլային կառուցվածքը սովորել:

Կլանման սպեկտրը գունանյութի կողմից լույսի տարբեր ալիքների երկարության կլանման գրաֆիկն է (նկար 13.16ա):

Գործողության սպեկտրը լույսի տարբեր ալիքի երկարությունների պայմաններում ֆոտոսինթեզի արագության գրաֆիկն է (նկար 13.16բ): Սա ցույց է տալիս ալիքի տարբեր երկարությունների արդյունավետությունը, ինչը, իհարկե, կապված է դրանց կլանման և պարունակած էներգիայի հետ: Որքան կարճ է ալիքի երկարությունը, այնքան մեծ է դրա պարունակած էներգիան:





Նկար 13.16 ա. Քլորոֆիլ *a*-ի, *b*-ի և կարոտինոիդների կլանման սպեկտրները, **բ.** ֆոտոսինթեզի գործողության սպեկտրը

ՀԱՐՑ

13.6 Համեմատիր նկար 13.16ա-ում ներկայացված կլանման սպեկտրները 13.16բ նկարում ցույց տրված գործողության սպեկտրի հետ:

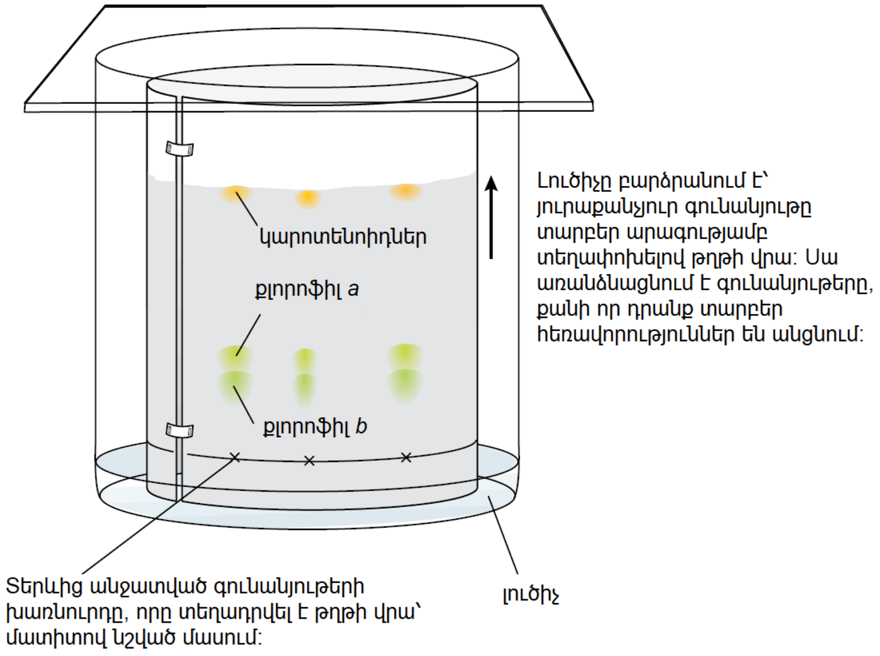
ա. Բացահայտիր և բացատրիր կլանման և գործողության սպեկտրի ցանկացած նմանություն:

բ. Բացահայտիր և բացատրիր կլանման և գործողության սպեկտրի միջև եղած ցանկացած տարբերություն:

Եթե ուլտրամանուշակագույն լույսի տակ պահես քլորոֆիլ *a*-ի կամ *b*-ի լուծույթը, ապա կտեսնես կարմիր լյումինեսցենցիա: (Անվտանգ ուլտրամանուշակագույն լույսի բացակայության դեպքում կարող եք գունանյութը լուսավորել ստանդարտ ցերեկային ֆլուորեսցենտային խողովակով:) Ուլտրամանուշակագույն լույսը կլանվում է, և էլեկտրոնները գրգռվում են, բայց լուծույթում, որը միայն գունանյութ է պարունակում, կլանված էներգիան չի կարող արդյունավետ օգտագործվել աշխատանք կատարելու համար: Էլեկտրոնները վերադառնում են իրենց հանգիստ վիճակին և կլանված էներգիան շրջակա միջավայրին է փոխանցվում որպես ջերմային էներգիա՝ որպես լույս ավելի երկար (էներգիապես պակաս) ալիքի երկարությամբ, քան կլանվածը և դիտվում է որպես կարմիր լուսածորում (ֆլուորեսցենցիա): Գործող ֆոտոսինթետիկ համակարգում հենց այդ էներգիան է մղում ֆոտոսինթեզի գործընթացը:

Դու կարող ես հեշտությամբ անջատել քլորոպլաստի գունանյութերը տերևից տեսնելու համար, թե քանի գունանյութ կա, օգտագործելով թղթային քրոմատագրություն, ինչպես ցույց է տրված նկար 13.17-ում: Յուրաքանչյուր գունանյութի համար կարող ես հաշվարկել R_f-ի արժեքը՝ օգտագործելով այս հավասարումը.

$$R_f = \frac{\text{գունանյութի անցած հեռավորությունը}}{\text{լուծիչի անցած հեռավորությունը}}$$



Նկար 13.17 Քլորոպլաստի գունանյութերի քրոմատոգրաֆիան

Սա տարբեր կլինի՝ կախված օգտագործվող լուծիչից, բայց ընդհանուր առմամբ կարոտինոիդների R_f-ի արժեքները մոտ են 1-ին, քլորոֆիլ *b*-ն ունի շատ ավելի ցածր R_f-ի արժեք, իսկ քլորոֆիլ *a*-ի R_f-ի արժեքը կարոտենոիդների և քլորոֆիլ *b*-ի արժեքների արանքում է:

Քեմոսինթեզ (2 ժամ)

Պլաստիկ փոխանակության եղանակներից է նաև քեմոսինթեզը:

Քեմոսինթեզը անօրգանական նյութերից օրգանական նյութեր սինթեզելու ունակությունն է, որով օժտված են բակտերիաների որոշ տեսակներ: Այն եղանակը, որի շնորհիվ դրանք էներգիա են կուտակում սինթեզի ռեակցիաների համար, սկզբունքորեն տարբեր է բուսական բջիջների համեմատությամբ:

Փոխանակության այս տիպը հայտնաբերել է ռուս գիտնական, մանրէաբան Ս.Ն. Վինոգրադսկին: Այդ բակտերիաներն օժտված են հատուկ ֆերմենտային ապարատով, որը նրանց հնարավորություն է տալիս սինթեզելու օրգանական միացություններ: Այս գործընթացը կոչվում է քեմոսինթեզ: Էներգիա

կարող է անջատվել ջրածնի, ծծմբաջրածնի, ծծմբի, երկաթի (II), ամոնիակի, նիտրիտի և այլ անօրգանական միացությունների օքսիդացումից: Կարևոր քեմոսինթեզողներից են նիտրիֆիկացնող բակտերիաները: Դրանից մի տեսակի համար էներգիայի աղբյուրն ամոնիակի օքսիդացումն է ազոտային թթվի, իսկ նիտրիֆիկացնող բակտերիաների մյուս խումբն օգտագործում է ազոտային թթուն ազոտականի օքսիդացնելու ժամանակ անջատվող էներգիան:

$NH_3 \rightarrow NO_2^-$+էներգիա

$NO_2^- \rightarrow NO_3^-$+էներգիա

Ամոնիակը (ամոնիում իոնը), որը կարող է առաջանալ ինչպես ազոտֆիքսացիայի, այնպես էլ օրգանական նյութերի հանքայնացման արդյունքում, թթվածնի առկայության պայմաններում հողում արագ ենթարկվում է օքսիդացման: Կատիոնի փոխարկումն անիոնի հանգեցնում է հողի թթվայնության մեծացմանը՝ դրանով իսկ մեծացնելով հանքային աղերի լուծելիությունը: Ավտոտրոֆ քեմոսինթեզողներ են նաև երկաթաբակտերիաները և ծծմբակատերիաները: Դրանցից առաջիններն օգտագործում են երկվալենտ երկաթը, եռավալենտ երկաթի փոխարկվելուց անջատվող էներգիան, երկրորդները օգտագործում են, օրինակ, անգույն ծծմբակտերիաները, ծծումբը օքսիդացնում են մինչև ծծմբական թթու.

$Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$+էներգիա

$S \rightarrow SO_4^-$+էներգիա

Երկաթ և ծծումբ օքսիդացնող որոշ բակտերիաներ օգտագործվում են աղքատ հանքաքարերից տարբեր մետաղների՝ պղնձի, ցինկի, նիկելի, մոլիբդենի, ուրանի և այլ մետաղների կորզման համար: Ներկայումս այդ մեթոդը լայն կիրառություն ունի հանքարդյունաբերության բնագավառում:

Բոլոր քննարկված բակտերիաներն աէրոբ օրգանիզմներ են: Քեմոսինթեզողների դերը շատ մեծ է: Դրանք կարևոր նշանակություն ունեն նյութերի և տարրերի շրջապտույտում:

Տե՛ս հղումը՝

Քեմոսինթեզ. ռուսերեն տեսանյութ

https://www.youtube.com/watch?v=56nTck4-unI

Քեմոսինթեզ՝ ռուսերեն տեսանյութ

https://www.youtube.com/watch?v=nl4rFg1trTA

Քեմոսինթեզ՝ ռուսերեն նյութեր և տեսանյութ

https://interneturok.ru/lesson/biology/10-klass/bosnovy-citologii-b/avtotrofnoe-pitanie-hemosintez

Գործնական աշխատանք

Տերևի պիգմենտների ուսումնասիրություն թղթային քրոմատոգրաֆիայի միջոցով

Անվտանգություն

Կրե՛ք աչքի պաշտպանիչներ

Պրոպանոնը և լուծիչը խիստ հրավտանգ են, անհրաժեշտ է անջատել էլեկտրական մատակարարումը՝ բռնկումից խուսափելու համար: Երկու նյութերն էլ գրգռիչ են աչքերի և մաշկի համար և ներշնչելիս առաջացնում են քնկոտություն:

Լուծիչը (հեքսան) ևս վտանգավոր է ներշնչել կամ կուլ տալ:

Պետք է խուսափել գոլորշիների երկարատև ազդեցությունից:

Օգտագործե՛ք ձեռնոցներ թղթային քրոմատոգրաֆիային ձեռքով չդիպչելու համար:

Ձեռքերը լվացե՛ք կենսաբանական նյութերին ձեռք տալուց հետո:

Սարքավորումներ և նյութեր

- Թարմ տերևներ, օրինակ՝ սպանախի (*Spinacia* sp.) կամ եղինջի (*Urtica* sp.)
- Տարբեր տեսակի թարմ տերևներ
- Սանդ և հավանգ
- Մաքուր ավազ
- 100 սմ^3 ծավալով երկու բաժակ
- Ձագար և ֆիլտրի թուղթ
- Երկու հրակայուն փորձանոթ՝ խցանով
- Քորոց
- Շտատիվ փորձանոթների համար
- Քրոմատոգրաֆիայի թուղթ, մոտավորապես 15x2 սմ (Վատման No. 1)
- Վիրաբուժական ձեռնոցներ
- Կաթոցիչ
- Մկրատ
- Ապակյա մազանոթներ
- 20 սմ^3 90%-անոց պրոպանոն (ացետոն)՝ սրվակում
- 10 սմ^3 լուծիչ (1 բաժին պրոպանոնը 9 բաժին հեքսանում)՝ սրվակում

Ներածություն

Այս աշխատանքում դուք պետք է.

- թղթային քրոմատոգրաֆիայի միջոցով բաժանեք և որոշեք տերևում առկա պիգմենտները,
- համեմատեք տարբեր բույսերի տերևներում առկա պիգմենտները:

Աշխատանքի ընթացքըԿտրատե՛ք տերևները փոքր մասերի և լցրեք հավանգի մեջ: Ավելացրե՛ք մի փոքր պրոպանոն և քիչ մաքուր ավազ: Տրորե՛ք տերևները սանդի օգնությամբ մինչև ստացվի քլորոֆիլի մուգ կանաչ լուծույթ: Զտե՛ք մզվածքը և լուծույթը լցրե՛ք բաժակի մեջ:

1.

2. Կ

աթոցիչի օգնությամբ հրակայուն փորձանոթի մեջ 15 մմ բարձրությամբ պրոպանոն/հեքսան լուծիչ լցրե՛ք: Փորձանոթը փակե՛ք խցանով և թողե՛ք այն մոտավորապես 10 րոպե՝ մինչև փորձանոթում եղած օդը հագենա լուծիչի գոլորշիներով:

3. Կ
Կտրե՛ք քրոմատոգրաֆիայի թղթից մի կտոր այնպես, որ հնարավոր լինի տեղադրել դատարկ ջերմակայուն փորձանոթի ներսում՝ առանց կողմերին հպվելու: Թղթի մի ծայրից 25 մմ բարձրության վրա մատիտով գծե՛ք: Ծալե՛ք թղթի մյուս ծայրը և օգտագործե՛ք ծալվածքը՝ թուղթը զնդասեղով խցանին ամրացնելու համար: Հանե՛ք խցանը և ստուգե՛ք, որ թուղթը գրեթե հասնի փորձանոթի հատակին:

4. Հ
Հանե՛ք խցանը և օգտագործելով ապակյա մազանոթային խողովակ կամ զնդասեղի գլխիկը՝ պիգմենտների խառնուրդից մի փոքր կաթիլ տեղադրեք գծի կենտրոնում: Թողե՛ք, որ բիծը չորանա: Կրկնե՛ք այդ գործողությունը մի քանի անգամ՝ թույլ տալով հաջորդական կաթիլներին չորանալ: Կստացվի քլորոֆիլի փոքր, բայց խիտ բիծ:

5. Տ
Տեղադրե՛ք քրոմատոգրաֆիայի թուղթն առաջին ջերմակայուն փորձանոթի ներսում այնպես, որ թղթի ծայրը լինի լուծիչի մեջ, բայց լուծիչը չհասնի պիգմենտի բծի մակարդակին:

6. Դ
Դրե՛ք փորձանոթը թույլ լույսի տակ մոտավորապես 30 րոպե, մինչև տեղի ունենա պիգմենտների բաժանում: Այնուհետև հանե՛ք թուղթը և մատիտով արագ նշեք այն դիրքը, որին լուծիչը հասել է: Թողե՛ք քրոմատոգրաֆիայի թուղթը թույլ լույսի տակ, որպեսզի չորանա: Պիգմենտի բծի շուրջը գծե՛ք և գրե՛ք դրա գույնը, մինչ դրանք կգունաթափվեն:

7. Հ
Հաշվե՛ք սկզբնակետից մինչև յուրաքանչյուր պիգմենտի շարժման արդյունքում դիրքի հեռավորությունը (a հեռավորություն) և սկզբնակետից մինչև լուծիչի եզրը եղած հեռավորությունը (b հեռավորություն): Դուք պետք է հաշվեք յուրաքանչյուր պիգմենտային բծի կենտրոնից: Բաժանելով a-ն b-ին՝ կտա (R_f) ճակատի հարաբերական արժեքը: Ստորև աղյուսակում ներկայացված են տարբեր պիգմենտների համար տվյալ լուծիչի օգտագործմամբ ստացված R_f-ի արժեքները:

Տերևի տարբեր պիգմենտների R_f-ի արժեքները պրոպանոն/հեքսան լուծիչում

Գունանյութ	գույն	R_f արժեք
կարոտին	դեղին	0.95
ֆեոֆիտին	դեղնականաչ	0.81

քսանտոֆիլ	դեղնադարչնագույն	0.71
քլորոֆիլ *a*	կապտականաչավուն	0.65
քլորոֆիլ *b*	կանաչ	0.45

8. Ո
Որոշե՛ք ձեզ համար տեսանելի յուրաքանչյուր պիգմենտային բծի համար R_f-ի արժեքը: Համեմատե՛ք ձեր արժեքները աղյուսակում տրվածների հետ և որոշեք գունանյութերը: (Դուք կարող եք ունենալ 5-ից ավել գունանյութ:)

9. Ներկայացրե՛ք երեք գործոն, որոնք կարող են ազդել R_f-ի արժեքի վրա:

10. Կրկնե՛ք ուսումնասիրությունը՝ օգտագործելով տարբեր տեսակի բույսերի տերևներ: Համեմատ՛եք երկու տեսակների տերևներում առկա պիգմենտները:

Գործնական աշխատանք

Ֆոտոսինթեզի լուսային փուլի ուսումնասիրությունը

Անվտանգություն

Կիրառեք քիմիական նյութերի օգտագործման հետ կապված նախազգուշական միջոցներ:

Կենսաբանական նյութեր օգտագործելուց հետո ձեռքերը լվացեք:

Սարքավորումներ և նյութեր

- մոտավորապես 50 սմ^2 թարմ տերևներ, օրինակ՝ սպանախի (*Spinacia* sp.), կաղամբի (*Brassica* sp.) կամ հազարի (*Lactuca* sp.)
- մկրատ
- ապակե ձող
- 5 մազանոթային խողովակ
- ալյումինի թիթեղ
- պիպետ
- երկու բարակ պլաստիկ տարա
- կարմիր և կանաչ ֆիլտրեր
- սպիտակ տախտակ
- 10 սմ^3 լուծույթ նշված «մեկուսացված միջավայր» (4 Մ սախարոզ և sucrose and 0.01 Մ կալիումի քլորիդ լուծված ստանդարտ pH 7.0 բուֆերային լույթում): Օգտագործելուց առաջ լուծույթը պետք է սառեցնել:
- 10 սմ^3 լուծույթ նշված «ռեակտիվ միջավայր» (0.003 Մ 2,6-դիքլորֆենոլինդոֆենոլ (ԴՔՖԻՖ) և 0.05 Մ կալիումի քլորիդ լուծված ստանդարտ pH 7.0 բուֆերային լուծույթում): Օգտագործելուց առաջ լուծույթը պետք է սառեցնել:
- սեղանի լամպ

Ներածություն

Այս գործնական աշխատանքիի ընթացքում դուք պետք է

- ուսումնասիրեք տարբեր պայմանների ազդեցությունը ֆոտոսինթեզի լուսային փուլի վրա՝ օգտագործելով ԴՔՖԻՖ և ռեդոքս ինդիկատոր:

ԴՔՖԻՖ-ն համարվում է ռեդոքսի ինդիկատոր, որը կապույտ է թթվեցված ժամանակ և անգույն, երբ վերականգնվում է:

Սարքավորումները և նյութերը պետք է պահվեն ցածր ջերմաստիճանում ֆերմենտի ակտիվությունը նվազեցնեու նպատակով:

Գործընթաց

1 Տերևի վրայից հեռացրեք ջղերը, ապա մանր կտրատեք և դրեք սառը պլաստիկե բարակ տարայի մեջ: Ավելացրեք 2 սմ^3 մեկուսացված միջավայրից և փորձեք մանրացնել տերևները ապակե ձողով:

2 Էքստրակտը լցնել երկրորդ պլաստիկե տարայի մեջ, որպեսզի այն պահեք մութ վայրում: Օգտագործեք մազանոթային խողովակ էքստրակտից կաթիլ վերցնելու համար: Խողովակը դրեք սպիտակ տախտակին և այն օգտագործեք որպես գունային ստուգիչ հաջորդ նմուշների համար:

3 Օգտագործելով պիպետ՝ ավելացրեք ռեակցիոն միջավայրից 10 նիշ փորձանոթի մեջ, որը ծածկված էր ալյումինե թիթեղով, և կամաց թափահարեք խառնելու նպատակով:

4 Վերցրեք 2-րդ մազանոթային խողովակը և վերցրեք նմուշ տարայից: Արագ այդ փորձանոթը փաթաթեք ալյումինե թիթեղով, որպեսզի կանխեք լույսի թափանցումը և դրեք առաջին փորձանոթի մոտ:

5 Վերցրեք ևս 3 մազանոթային խողովակ և դրեք դրանք միաժամանակ էքտրակտի խառնուրդի մեջ: Խողովակներից մեկը արագ տեղափոխեք կանաչ ֆիլտրի տակ, մյուսը՝ կարմիր ֆիլտրի տակ, իսկ 3-րդը դրեք սալիկի վրա առանց որևէ ֆիլտրի, գունային ստանդարտի կողքին:

Այս փուլում խողովակները պետք է լինեն մուգ կապտականաչ, եթե այդպես չէ, ուսումնասիրությունը կրկնեք ևս մեկ անգամ:

6 Խողովակները պահեք դեպի լույսը և 15 րոպեի ընթացքում յուրաքանչյուր 3 րոպեն մեկ ուշադրություն դարձրեք դրանց գույնին:

Գրանցեք արդյունքները

Փորձանոթներ	Պարունակություն	Գույնը 3 րոպե ընդմիջումներով					
		0 րոպե	3 րոպե	6 րոպե	9 րոպե	12 րոպե	15 րոպե
1	Ստանդարտ գույն						
2	էքստրակտ + ԴՔՖԻՖ մթության մեջ						
3	էքստրակտ + ԴՔՖԻՖ կանաչ ֆիլտրի ներքո						
4	էքստրակտ + ԴՔՖԻՖ կարմիր ֆիլտրի ներքո						
5	էքստրակտ + ԴՔՖԻՖ սպիտակ մակերեսի վրա						

7 **a** Բացատրեք ստանդարտի (1 նմուշ) և ստուգիչի (2 նմուշ) գույների նպատակը:

b Ի՞նչ այլ վերահսկողություն պետք է սահմանվեր և ինչո՞ւ:

c Բացատրեք ձեր ստացած արդյունքները ֆոտոսինթեզի լուսային փուլի համար: Պետք է համեմատել ԴՔՖԻՖ-ի նվազման արագությունը յուրաքանչյուր փորձանոթում, ստուգիչի հետ:

d Ո՞ր օրգանոիդում և որտեղ է տեղի ունենում ԴՔՖԻՖ-ի նվազում:

e Նշեք մեկ կարևոր փոփոխական, որը չի վերահսկվում այս ուսումնասիրության ժամանակ:

Գործնական աշխատանք

Ֆոտոսինթեզի արագության վրա սահմանափակող գործոնների ազդեցության ուսումնասիրությունը

Անվտանգություն

Զգույշ եղեք սուր գործիքներ օգտագործելիս:

Մի դիպչեք էլեկտրական սարքերին խոնավ ձեռքերով:

Կենսաբանական նյութերով աշխատելուց հետո լվացեք ձեռքերը:

Սարքավորումներ և նյութեր

- թարմ էլոդեա
- նշտար
- տախտակ
- մեծ բաժակ՝ լցված թորած ջրով
- 10 սմ^3 ծավալով ներարկիչ
- 20 սմ երկարությամբ ապակյա ձող՝ 1 մմ ներքին տրամագծով
- ռետինե խողովակ ապակե խողովակը ներարկիչին միացնելու համար
- շտատիվ
- լամպ՝ 60 Վտ հզորությամբ լամպով
- վայրկենաչափ
- 25 սմ^3 0.05 Մ նատրիումի հիդրոկարբոնատի լուծույթ
- 25 սմ^3 0.10 Մ նատրիումի հիդրոկարբոնատի լուծույթ
- 25 սմ^3 0.15 Մ նատրիումի հիդրոկարբոնատի լուծույթ

Ներածություն

Այս փորձի ընթացքում դուք պետք է

- ուսումնասիրեք ածխածնի երկօքսիդի տարբեր կոնցենտրացիաների ազդեցությունը բույսի ֆոտոսինթեզի արագության վրա (մաս **Ա**),

- ուսումնասիրեք լույսի ինտենսիվության ազդեցությունը ֆոտոսինթեզի արագության վրա (մաս Բ),
- պլանավորեք ուսումնասիրությունը՝ պարզելու ջերմաստիճանի ազդեցությունը ֆոտոսինթեզի արագության վրա (մաս Գ):

Ածխաթթու գազի կոնցենտրացիան, լույսի ինտենսիվությունը և ջերմաստիճանը կարող են հանդես գալ որպես ֆոտոսինթեզի արագության սահմանափակման գործոն:

Բույսը, որ կօգտագործեք, կանադական էլոդեան է, ուստի ածխածնի երկօքսիդը մատուցվում է լուծույթի մեջ՝ հիդրոկարբոնատային իոնների տեսքով:

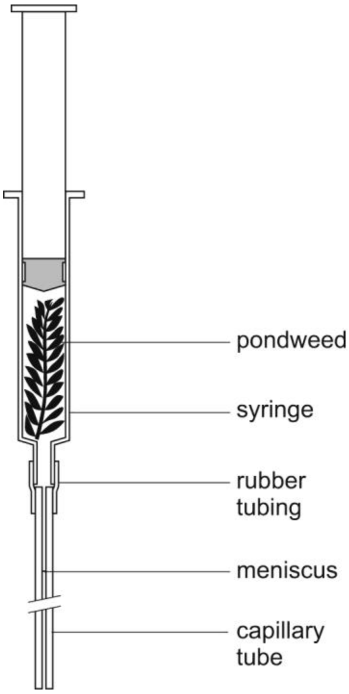
Գործընթաց

Ա Ֆոտոսինթեզի արագության վրա ածխաթթու գազի կոնցենտրացիայի ազդեցության ուսումնասիրությունը

1 Հավաքել մի քանի կտոր Էլոդեա (Elodea canadiensis) և կտրել մոտ 5 սմ երկարությամբ: Տեղափոխել թորած ջրով բաժակի մեջ և ուսումնասիրել, որից հետո ընտրել երկու կտոր, որոնք արագ և պարբերաբար պղպջակներ են արձակում:

2 Բույսի կտորը տեղավորեք ներարկիչի մեջ, ապա ներարկիչով քաշեք թորած ջուր, դրանից հետո ներարկիչը շրջեք և դուրս հանեք օդի պղպջակները:

3 Օգտագործելով ռետինից խողովակը՝ ներարկիչին ամրացրեք ապակյա ձողը և այն ամրացրեք շտատիվին, ինչպես ցույց է տրված նկարում:



4 Զգուշորեն հրեք ներարկիչի մխոցը, որպեսզի ջուրը հասնի ապակյա խողովակի վերին մասին: Ներարկիչից 10 սմ հեռավորության վրա տեղադրեք լամպը և թողեք մի քանի րոպե հավասարակշռության համար:

5 Գտեք նշաձողի շարժման արագությունը համապատասխան ժամանակահատվածում: Ենթադրելով, որ շարժումը տեղի է ունենում բույսերի թթվածնի արտադրության շնորհիվ, դա կլինի ֆոտոսինթեզի արագության համամասնությունը: Ստացված թթվածնի ծավալը հավասար կլինի խողովակի ներքին լայնական հատվածի տարածությանը: Տարածքը կարող է հաշվարկվել, եթե հայտնի է խողովակի ներքին շառավիղը (r), օգտագործելով πr^2 բանաձևը.

Թթվածնի արտադրության արագություն = նշաձողով շարժման արագություն × πr^2

6 Կրկնեք գործընթացը օգտագործելով.
- 0.05 նատրիումի հիդրոկարբոնատի լուծույթ թորած ջրի փոխարեն
- 0.10 նատրիումի հիդրոկարբոնատի լուծույթ
- 0.15 նատրիումի հիդրոկարբոնատի լուծույթ

Ամեն անգամ գործընթացը սկսելիս թողեք, որ նշաձողը հավասարակշռվի: Օգտագործեք նույն բույսի կտորը:

7 Ներկայացրեք ձեր արդյունքները հարմար ձևով:

8 ա. Ի՞նչ ազդեցություն է ունեցել հիդրոկարբոնատային իոնների կոնցենտրացիայի ավելացումը ֆոտոսինթեզի արագության աճի վրա:

բ. Քանի որ հիդրոկարբոնատի լուծույթի մոլյարությունը մեծանում էր հավասարաչափ, արդյոք ֆոտոսինթեզի արագությունը մեծանո՞ւմ էր նույն կերպ: Իսկ եթե ոչ, ապա ինչու:

գ. Եթե շարունակեք բարձրացնել հիդրոկարբոնատի մոլյարությունը, ակնկալո՞ւմ եք, որ ֆոտոսինթեզի արագությունը կշարունակի աճել:

դ. Ի՞նչ այլ պայմաններ կարող են ազդել ֆոտոսինթեզի արագության վրա:

Բ Ֆոտոսինթեզի արագության վրա լույսի ինտենսիվության ազդեցության ուսումնասիրությունը

1 Տեղադրեք սարքը, ինչպես նկարագրված է մաս **Ա**-ի 1-4 քայլերում: Այնուհետև ներարկիչում լցրեք 0.15 Մ նատրիումի հիդրոկարբոնատ լուծույթ թորած ջրի փոխարեն, որպեսզի համոզվեք, որ ածխածնի երկօքսիդը սահմանափակող գործոն չէ:

2 Դադարեցրեք լուսավորումը լաբորատորիայում՝ փակելով բոլոր շերտավարագույրները և անջատելով լույսը սենյակում:

3 Տեղադրեք լամպը ներարկիչից 10 սմ հեռավորության վրա: Թողեք հավասարակշռվի մի քանի րոպե, և ապա չափեք նշաձողի շարժման արագությունը:

4 Տեղափոխեք լամպը 15 սմ հեռու ներարկիչից և նորից չափեք արագությունը:

5 Կրկնեք չափումները՝ յուրաքանչյուր չափումից հետո լամպի ներարկիչից հեռացնելով ևս 5 սմ-ով, քանի դեռ բույսը չի դադարել թթվածին արտադրել: Ամեն անգամ 5 սմ հեռացնելիս թողեք նշաձողը հավասարակշռվի:

6 Հաշվեք առաջացած թթվածնի ծավալը տարբեր հեռավորությունների դեպքում և գրանցեք այն աղյուսակում: Կառուցեք գրաֆիկ՝ նշելով արտադրված թթվածնի ծավալը (= ֆոտոսինթեզի արագություն) համապատասխան սմ-ով հեռավորության վրա (*D*):

7 Լույսի աղբյուրի կողմից ստեղծված լույսի ինտենսիվությունը համամասնական է քառակուսի աղբյուրից ($1/D^2$) հակադարձ հեռավորության մեծությանը: Հաշվարկեք $1/D^2$ լամպի յուրաքանչյուր հեռավորության համար և կառուցեք ֆոտոսինթեզի արագության գրաֆիկը այդ արժեքների վրա: Այս ցուցանիշը պետք է հավասարեցնել բարձր ինտենսիվության լույսով, ինչպես ցույց է տրված դասագրքի պատկեր 13.7-ում, էջ 291: Արդյոք ձեր ստացած գրաֆիկը նմա՞ն է դրան:

C Ուսումնասիրության պլանավորում ֆոտոսինթեզի արագության վրա ջերմաստիճանի ազդեցությունը պարզելու համար

1 Մշակեք հետազոտություն, օգտագործելով վերը նշված սարքը, պարզելու համար, թե ինչպես են երկու տարբեր ջերմաստիճաններն ազդում ֆոտոսինթեզի արագության վրա: Ձեր ուսումնասիրության համար պետք է ընտրեք ջերմաստիճաններ, որոնք կարող եք օգտագործել, և մտածեք, թե ինչպես կարելի է վերահսկել այլ փոփոխականները:

Ամփոփում (2 ժամ)

ԱՄՓՈՓՈՒՄ

■ Ֆոտոսինթեզում քլորոֆիլի գունանյութերը կլանում են լույսի էներգիան և այն վերածում են քիմիական էներգիայի, որն օգտագործվում է բարդ օրգանական մոլեկուլներ արտադրելու համար: Լուսային փուլի ռեակցիաներում ջուրը քայքայվում է ֆոտոլիզի միջոցով՝ տալով ջրածնի իոններ, էլեկտրոններ և թթվածին: Ջրածնի իոնները և էլեկտրոններն օգտագործվում են կրող մոլեկուլ ՆԱԴՖ-ն վերականգնելու համար, իսկ թթվածինն անջատվում է որպես թափոն:

■ ԱԵՖ-ը սինթեզվում է ցիկլիկ և ոչ ցիկլիկ ֆոտոֆոսֆորիլացման լուսային փուլի ռեակցիաներում: Այս ռեակցիաների ընթացքում քլորոպլաստի ֆոտոսինթետիկ գունանյութերը կլանում են լույսի էներգիան և անջատում են էլեկտրոններ: Էլեկտրոնների էներգիան օգտագործվում է ԱԵՖ սինթեզելու համար: ԱԵՖ-ը և վերականգնված ՆԱԴՖ-ն ֆոտոսինթեզի լուսային փուլի ռեակցիաների երկու հիմնական արտադրանքն են, որոնք այնուհետև անցնում են մթնային փուլ:

■ Մթնային փուլի ռեակցիաներում ածխածնի երկօքսիդը միանում է 5C համալիրին՝ ՌուբԿՖ-ին, որը գործում է որպես ընդունող (ակցեպտոր) մոլեկուլ: Այս ռեակցիան կատալիզվում է ռիբուլոզ կրկնաֆոսֆատ կարբօքսիլազ (ռուբիսկո) ֆերմենտով, որն աշխարհում ամենատարածված ֆերմենտն է: Արդյունքում ստացված 6C միացությունը կիսվում է՝ առաջացնելով 3C միացության՝ ԳՖ (որը հայտնի է նաև որպես ՖԳԱ) երկու մոլեկուլ: ԳՖ-ն վերականգնվում է ածխաջրերի՝ օգտագործելով լուսային փուլից եկած ԱԵՖ-ը և վերականգնված ՆԱԴՖ-ը: Այս ածխաջուրը կարող է վերածվել այլ ածխաջրերի, ամինաթթուների և լիպիդների կամ օգտագործվել ՌուբԿՖ-ի քանակը վերականգնելու համար: Մթնային փուլի իրադարձությունների այս հաջորդականությունը կոչվում է Կալվինի ցիկլ:

■ Քլորոպլաստները հարմարված են ֆոտոսինթեզի գործընթացում լույսի արդյունավետ կլանմանը: Երբ գործընթացի վրա ազդում են մեկից ավելի գործոններ, գործընթացի արագությունը կսահմանափակվի իր ամենացածր արժեքին ամենամոտ գտնվող գործոնով: Ֆոտոսինթեզի արագությունը ենթակա է տարբեր սահմանափակող գործոնների, ներառյալ՝ լույսի ինտենսիվության և ալիքի երկարության, ածխածնի երկօքսիդի կոնցենտրացիայի և ջերմաստիճանի ազդեցությանը:

■ Որոշ արևադարձային մշակաբույսեր հարմարված են բարձր ջերմաստիճաններում ածխածնի կլանման բարձր արագությանը՝ ունենալով տերևի այնպիսի կառուցվածք, որն առանձնացնում է ածխածնի նախնական կլանումը լուսային փուլից, և ունեն համապատասխան ֆերմենտների բարձր օպտիմալ ջերմաստիճաններ:

■ Լույսի որոշակի ալիքի երկարությունների գծապատկերը, որոնք կլանում են ֆոտոսինթետիկ գունանյութերը, կոչվում է կլանման սպեկտր: Լույսի տարբեր ալիքի երկարություններում ֆոտոսինթեզի արագության գծապատկերը կոչվում է գործողության սպեկտր:

■ Քլորոպլաստում առկա տարբեր գունանյութերը կարող են տարանջատվել թղթե քրոմատագրությամբ:

Գլուխն ամփոփող հարցեր

1. Որո՞նք են ֆոտոսինթեզի լուսային փուլի ռեակցիաների արտադրանք:

   Ա. ԱԵՖ, ՌուբԿՖ և վերականգնված ՆԱԴ

   Բ. ԱԵՖ, թթվածին և վերականգված ՆԱԴՖ

   Գ. ԳՖ, թթվածին և վերականգնված ՆԱԴ

Դ. ԳՖ, վերականգնված ՆԱԴՖ և ՌուբԿՖ

[1]

2. Քլորոպլաստի ո՞ր մասում են օգտագործվում ֆոտոֆոսֆորիլացման ժամանակ առաջացած նյութերը։

Ա. կրկնակի թաղանթ

Բ. գրան

Գ. ստրոմա

Դ. թիլակոիդ [1]

3. Առանձին փորձերի ընթացքում ակտիվ ֆոտոսինթեզ կատարող բույսին տրվեց պիտակավորված երկու նյութերից մեկը.

-ջուր, որը պարունակում էր թթվածնի ^{18}O իզոտոպ,

-ածխաթթու գազ, որը պարունակում էր թթվածնի ^{17}O իզոտոպ։

Ֆոտոսինթեզի ընթացքում առաջացած ո՞ր միացություններում կարելի է գտնել այս իզոտոպները։

	^{18}O	^{17}O
Ա	քլորոպլաստների գրաններում արտադրված թթվածին	քլորոպլաստների ստրոմայում արտադրված ածխաջրեր
Բ	քլորոպլաստների ստրոմայում արտադրված թթվածին	քլորոպլաստների գրաններում արտադրված ածխաջրեր
Գ	քլորոպլաստների գրաններում արտադրված ածխաջրեր	քլորոպլաստների ստրոմայում արտադրված թթվածին
Դ	քլորոպլաստների ստրոմայում արտադրված ածխաջրեր	քլորոպլաստների գրաններում արտադրված թթվածին

[1]

4.

ա. Բացատրիր, թե ինչպես է քլորոպլաստի ներքին թաղանթային համակարգը հարմարեցված ֆոտոսինթեզի համար:

[5]

բ. Պատճենիր ներքնի աղյուսակը և ✓-ով նշիր քլորոպլաստի և տիպիկ նախակորիզավոր բջջի ընդհանուր կառուցվածքային հատկանիշները:

✓ = ընդհանուր կառուցվածքային հատկանիշ; ✗ = կառուցվածքային հատկանիշը ընդհանուր չէ:

Կառուցվածքային հատկանիշը	Քլորոպլաստի և տիպիկ նախակորիզավոր բջջի ընդհանուր կառուցվածքային հատկանիշը
օղակաձև ԴՆԹ	
ԴՆԹ-ն միացած է կառուցվածքային սպիտակուցի հետ՝ առաջացնելով քրոմոսոմ	
ռիբոսոմների տրամագիծը մոտ 18 նմ է	
ներքին թաղանթների բարդ դասավորվածություն	
պեպտիդոգլիկանից կազմված բջջապատ	
չափի միջակայքերը համընկնում են	

[6]

Ընդհանուր՝ [11]

5.

ա. Երբ անջատված քլորոպլաստները տեղադրվում են բուֆերային լուծույթում, որը պարունակում է կապույտ ներկանյութ, ինչպիսին է ԴՔՖԻՖ-ը կամ մեթիլեն կապույտը և լուսավորվում է, կապույտ գույնը անհետանում է: Բացատրիր այս դիտարկումը: [4]

բ. Անվանիր ֆոտոսինթեզում սովորաբար առկա միացությունը, որն այս հետազոտության ընթացքում փոխարինվում է կապույտ ներկանյութով:

[1]

[Ընդհանուր՝ 5]

6. Տարբերակիր.

ա. ցիկլիկ ոչ ցիկլիկ ֆոտոֆոսֆորիլացումը
[2]

բ. ֆոտոֆոսֆորիլացումը և օքսիդատիվ ֆոսֆորիլացումը [2]

գ. ՆԱԴ-ի և ՆԱԴՖ-ի դերը բույսերում [2]

[Ընդհանուր՝ 6]

7.

ա. Նկարիր Կալվինի ցիկլի պարզ տրամագիր՝ ցույց տալու հետևյալ մոլեկուլների հարաբերական դիրքերը ցիկլում.

CO_2 (1C)

ԳՖ/ՖԳԱ (3C)

Տրիոզ ֆոսֆատ (3C)

ՌուբԿՖ (5C) [4]

բ. Նշիր ցիկլի այն կետը, որտեղ ակտիվ է ռուբիսկո ֆերմենտը:
[1]

[Ընդհանուր՝ 5]

8.

ա. Բացատրիր, թե ինչ է նշանակում **սահմանափակող գործոն**: [1]

բ. Նշիր **չորս** գործոն, որոնք կարող են սահմանափակել ֆոտոսինթեզի արագությունը: [4]

գ. Լույսի ցածր ինտենսիվության դեպքում ջերմաստիճանի բարձրացումը քիչ է ազդում ֆոտոսինթեզի արագության վրա: Լույսի բարձր ինտենսիվության դեպքում ջերմաստիճանի բարձրացումը մեծացնում է ֆոտոսինթեզի արագությունը: Բացատրիր այս դիտարկումները:

[5]

[Ընդհանուր՝ 10]

9.

ա. Պատճենիր և լրացրու աղյուսակը՝ ցույց տալով C4 բույսերի մեզոֆիլի և անոթային խրձի բջիջների տարբերությունները: ✓-ով նշիր, եթե առարկան առկա բջիջում, դիր ✗, երբ այն բացակայում է:

[7]

Առարկան	Մեզոֆիլի բջիջ	Անոթային խրձի բջիջ
ՖԷՊ կարբօքսիլազ		
ռուբիսկո		
ՌուԲԿՖ		
Կալվինի ցիկլի ֆերմենտներ		
թթվածնի բարձր կոնցենտրացիա		
լուսային փուլի ռեակցիաներ		
շփում օդային տարածքների հետ		

բ. Բացատրիր, թե ինչ է **ֆոտոշնչառությունը**: [2]

[Ընդհանուր՝ 9]

10.

ա. Տարբերակիր **կլանման սպեկտրը** և **գործողության սպեկտրը**: [4]

բ. Ջրային բույսը ենթարկվել է լույսի երեք տարբեր ալիքային երկարությունների՝ յուրաքանչյուրին նույն ժամանակահատվածով: Յուրաքանչյուր ալիքի երկարության համար բույսի կտրված ծայրերից արտադրված պղպջակների քանակը հաշվարկվել է և ցուցադրվում է աղյուսակում

Լույսի ալիքի երկարությունը / նմ	Միավոր ժամանակահատվածում առաջացած պղպջակների միջին քանակը
450	22
550	3
650	18

Բացատրիր այս արդյունքները: [2]

[Ընդհանուր՝ 8]

Ամփոփիչ գնահատում (1 ժամ)

Ստուգողական աշխատանքի ձևանմուշ

1. **Երբ էլեկտրոնները մոտենում են առավել էլեկտրաբացասական ատոմին.**
   1. Էներգիա է անջատվում:
   2. Էներգիա է կլանվում:
   3. Առաջանում է պրոտոնային գրադիենտ:
   4. Ջուր է անջատվում:
   5. ԱԵՖ է սինթեզվում:

2. **Հետևյալ ռեակցիայում** $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 = 6CO_2 + 6H_2O$
   1. Թթվածինը վերականգնվում է:
   2. Գլյուկոզը վերականգնվում է:
   3. Թթվածինը օքսիդանում է:
   4. Ջուրը վերականգնիչ է:
   5. Թթվածինը վերականգնիչ է:

3. **Ո՞րն է թթվածնի դերը բջջային շնչառության մեջ.**
   1. Այն վերականգնվում է գլիկոլիզի ժամանակ, քանի որ գլյուկոզն օքսիդանում է:
   2. Էլեկտրոններ է տրամադրում էլեկտրոնատրանսպորտային շղթային:
   3. Օքսիդացման համար անհրաժեշտ էներգիայով է ապահովում:
   4. Էլեկտրոնատրանսպորտային շղթայում էլեկտրոնների վերջնական ընդունողն է:
   5. Միանում է Կրեբսի ցիկլի ժամանակ անջատված ածխածնին՝ առաջացնելով CO_2 :

4. **Կրեբսի ցիկլում ացետիլCoA-ի մեկ մոլեկուլից քանի՞ մոլեկուլ CO_2 է անջատվում.**
   1. 1
   2. 2
   3. 3
   4. 4
   5. 5
   6. 6

5. **Հետևյալ զույգերից որո՞ւմ է *<u>սխալ</u>* նշված ռեակցիան և նրա ընթանալու տեղը.**
   1. ԱԵՖ-ի սինթեզ – միտոքոնդրիումի ներքին թաղանթ, մատրիքս և ցիտոպլազմա:
   2. Խմորում – բջջի ցիտոպլազմա:
   3. Գլիկոլիզ – բջջի ցիտոպլազմա:
   4. Կրեբսի ցիկլ – միտոքոնդրիումների կրիստներ:

6. **Երբ գլյուկոզն օքսիդանում է CO_2-ի և ջրի, նրա 40%-ը փոխակերպվում է.**
   1. Ջերմության
   2. ԱԵՖ-ի
   3. ացետիլCoA-ի
   4. ջրի

5. Կրեբսի ցիկլի

7. **Էներգիայի տեսանկյունից մկանային բջիջներն ի՞նչ են ձեռք բերում պիրոխաղողաթթվի վերականգնումից թթվածնի բացակայության ժամանակ.**

1. ԱԵՖ
2. ԱԵՖ և վերամշակված $ՆԱԴ^{+}$
3. CO_2 և $ՆԱԴ^{+}$
4. ԱԵՖ, սպիրտ և $ՆԱԴ^{+}$
5. ԱԵՖ և CO_2

8. **Ճարպերն ու սպիտակուցները կարող են վառելիք ծառայել բջջում, քանի որ.**

1. Ֆերմենտների միջոցով կարող են վերածվել գլյուկոզի:
2. Կարող են գլիկոլիզի կամ Կրեբսի ցիկլի միջանկյալ նյութերի վերածվել:
3. Կրեբսի ցիկլ մտնելու համար կարող են պատվել միտոքոնդրիումի թաղանթով:
4. Պարունակում են ֆոսֆատային խմբեր:
5. Պարունակում են ավելի շատ էներգիա, քան գլյուկոզը:

9. **Ցիանիդը թույն է, որը կանխում է էլեկտրոնների փոխադրումը էլեկտրոնատրանսպորտային շղթայով: Հետևյալներից ո՞րն է այս թույնի նյութափոխանակային ազդեցությունը.**

1. Միջթաղանթային տարածության pH-ը նորմայի համեմատությամբ նվազում է:
2. Էլեկտրոններն ուղղակիորեն անցնում են թթվածնին, որի պատճառով բջիջները պայթում են:
3. Բջիջներում սպիրտ կառաջանա:
4. ՆԱԴH-ի մատակարարումը կսպառվի և կդադարի ԱԵՖ-ի սինթեզը:
5. Պրոտոնային գրադիենտ չի առաջանա և կդադարի ԱԵՖ-ի սինթեզը:

10. **Խմորման նյութափոխանակային ֆունկցիան.**

1. ՆԱԴH-ի օքսիդացումն է $ՆԱԴ^{+}$-ի, որի շնորհիվ գլիկոլիզը կարող է շարունակվել թթվածնի բացակայությամբ:
2. ՆԱԴH-ի վերականգնումն է, որի շնորհիվ էլեկտրոնատրանսպորտային շղթայում կարող է ավելի շատ ԱԵՖ արտադրվել:
3. Թթվածնային վարժությունների ժամանակ կաթնաթթու առաջացնելն է:
4. Պիրոխաղողաթթվի օքսիդացումն է՝ անջատելով ավելի շատ էներգիա:
5. Գարեջուր պատրաստելն է:

11. **Ինչո՞ւ է գլիկոլիզը համարվում նյութափոխանակային ուղիներից առաջինը.**

1. Այն հիմնված է խմորման վրա, որը բնորոշ է արքեաներին և բակտերիաներին:
2. Այն հայտնաբերված է միայն պրոկարիոտների մոտ, իսկ էուկարիոտներն օգտագործում են իրենց միտոքոնդրիումները ԱԵՖ սինթեզելու համար:

3. Ամբողջովին հիմնված է ֆերմենտների վրա և տեղի է ունենում ազատ ռիբոսոմների միջոցով, իսկ բակտերիաներն ունեն միայն ազատ ռիբոսոմներ և չունեն կապված ռիբոսոմներ:
4. Այն զրեթե համընդհանուր է, տեղի է ունենում ցիտոպլազմայում և չի ներառում թթվածին:

12. **Երբ գլյուկոզը քայքայվում է բջիջում, էներգիայի միայն 40%-ն է պահեստավորվորում ԱԵՖ-ի մոլեկուլներում: Մնացած 60%-ը.**
1. Օգտագործվում է կյանքը հնարավոր դարձնելու նպատակով կարգավորվածությունը բարձրացնելու համար:
2. Թերմոդինամիկայի 2-րդ օրենքի համաձայն՝ ցրվում է ջերմության ձևով:
3. Օգտագործվում է համակարգի էնթրոպիան բարձրացնելու համար՝ կինետիկ էներգիան վերածելով պոտենցիալի:
4. Պահեստավորվում է օսլայի կամ գլիկոգենի մեջ, բջջի կողմից ավելի ուշ օգտագործման համար:
5. Անջատվում է, երբ ԱԵՖ-ի մոլեկուլները հիդրոլիզի են երթարկվում:

13. **Բջջային շնչառության նշված տեսակներից ո՞րն է (որո՞նք են) էներգիայի ծախս պահանջում.**
1. Հեշտացված դիֆուզիա
2. Ակտիվ տրանսպորտ
3. Օսմոս
4. Ճիշտ են 1-ին և 2-րդ պատասխանները

14. **Հետևյալ պնդումներից ո՞րն է արտահայտում ավտոտրոֆների և հետերոտրոֆների միջև առկա տարբերությունը.**
1. Միայն հետերոտրոֆները միջավայրից քիմիական միացությունների կարիք ունեն:
2. Բջջային շնչառությունը բնորոշ է միայն հետերոտրոֆներին:
3. Միայն հետերոտրոֆներն ունեն միտոքոնդրիումներ:
4. Միայն ավտոտրոֆները կարող են ապրել՝ սնվելով միայն անօրգանական սննդանյութերով:

15. **Ինչո՞ւ են բույսերը կոչվում արտադրողներ: Ինչո՞ւ են կենդանիները կոչվում սպառողներ:**

16. **Ինչպե՞ս է քո շնչառությունը կապված քո բջջային շնչառության հետ:**

17. **Բջջային շնչառության երեք փուլերից (գլիկոլիզ, Կրեբսի ցիկլ, էլեկտրոնատրանսպորտային շղթա) որո՞ւմ է մեկ մոլեկուլ գլյուկոզի հաշվով առավելագույն թվով ԱԵՖ արտադրվում:**

18. **Գլիկոլիզի ժամանակ _____ օքսիդանում է, իսկ ______ վերականգնվում:**

19. **Միտոքոնդրիումներում էլեկտրոնատրանսպորտային շղթաների վերջին էլեկտրոն ընդունողը _____ է:**

20. **Ցիանիդ թույնը գործում է էլեկտրոնատրանսպորտային շղթայի առանցքային փուլը արգելափակելու միջոցով: Սա իմանալով՝ բացատրիր, թե ինչու է ցիանիդը այդքան արագ սպանում:**

21. **Հետևյալներից որի՞ց են բջիջները ստանում քիմիական էներգիայի մեծ մասը.**
1. ՆԱԴH-ի մոլեկուլից

2. գլյուկոզի մոլեկուլից
3. ածխաթթու գազի վեց մոլեկուլներից
4. պիրոխաղողաթթվի երկու մոլեկուլներից

22. ______ նյութափոխանակային ուղի է: Այն ընդհանուր է ինչպես խմորման, այնպես էլ բջջային շնչառության համար:

23. Բջջային շնչառությունը, որը թթվածին է ծախսում, տեղի է ունենում նշվածներից բոլորի մոտ, բացառությամբ.

1. Աէրոբ սպառողներ
2. Բույսեր
3. Մարդու մկանային բջիջներ
4. Անաէրոբներ

24. Խմորման ժամանակ մարդու օրգանիզմում կուտակվում է.

1. Պիրոխաղողաթթու
2. Էթիլ սպիրտ
3. Կաթնաթթու
4. Քացախաթթու

25. Այն սկզբունքը, որ էներգիան չի կարող ստեղծվել և ոչնչանալ, հայտնի է որպես ______

1. ջերմության պահպանում
2. էներգիայի պահպանում
3. պոտենցիալ էներգիա
4. էնթրոպիա

26. Գլյուկոզի մոլեկուլը էներգիա է տրամադրում սպերմատազոիդի շարժման համար: Այս օրինակում սպերմատազոիդը վերափոխում է.

1. քիմիական էներգիան կինետիկ էներգիայի:
2. քիմիական էներգիան պոտենցիալ էներգիայի:
3. կինետիկ էներգիան պոտենցիալ էներգիայի:
4. կինետիկ էներգիան քիմիական էներգիայի:

27. Մարդիկ սննդի մեջ պահեստավորված էներգիայի մոտ ______ օգտագործում են օգտակար աշխատանք կատարելու համար.

1. 20%
2. 40%
3. 60%
4. 80%

28. 10 կիլոկալորիան հավասար է _________ կալորիայի.

1. 0.01
2. 1000
3. 10.000
4. 0.01

29. Դու ունես 2 լիտր (2000 գ) ջրով լցված անոթ 0 °C – ում: Մոտավորապես քանի կիլոկալորիա է անհրաժեշտ այդ ջուրը մինչև 100 °C տաքացնելու համար:

1. 100
2. 200
3. 2000

4. 10.000

30. **Որ նյութն է ուղղակիորեն էներգիա տրամադրում բջջային աշխատանքի համար.**

1. գլյուկոզ
2. սախարոզ
3. ԱԵՖ
4. ճարպ

31. **Էներգիան ԱԵՖ-ից փոխադրվում է այլ մոլեկուլներին՝ _____ տեղափոխման շնորհիվ.**

1. ադենոզինի
2. ջերմային միավորի
3. ֆոտոնի
4. ֆոսֆատային խմբի

32. **Եթե ինչ-որ պատճառով ԱԵՖ չառաջանա, առավել հավանական է, որ.**

1. բջիջը կմահանա:
2. բջիջը էներգիա կստանա լիպիդներից:
3. կինետիկ էներգիան կփոխակերպվի պոտենցիալ էներգիայի:
4. բջիջը էներգիա կստանա ԱԿՖ-ից:

33. **Խոտով սնվող ձին ________ օրինակ է.**

1. արտադրողով սնվող ավտոտրոֆի:
2. սպառողով սնվող ավտոտրոֆի:
3. արտադրողով սնվող սպառողի:
4. հետերոտրոֆով սնվող սպառողի:

34. **Երկար և կարճ տարածություններ վազող մարզիկների տարբերությունն է՝**

1. երկար տարածություններ վազողների ոտքի մկաններում ավելի շատ են դանդաղ կծկվող մկանաթելիկները:
2. երկար տարածություններ վազողների ոտքի մկաններում ավելի շատ են արագ կծկվող մկանաթելիկները:
3. կարճ տարածություններ վազողների ոտքի մկաններում ավելի շատ են այն մկանաթելիկները, որոնք օգտագործում են թթվածին ԱԵՖ սինթեզելու համար:
4. ճիշտ պատասխանը բացակայում է:

35. **Ինչ է առաջանում բջջային շնչառության ժամանակ.**

1. ԱԵՖ և ջուր
2. Ածխածնի երկօքսիդ
3. Թթվածին
4. Ածխածնի երկօքսիդ, ջուր և ԱԵՖ
5. Թթվածին և գլյուկոզ

36. **Վերօքս ռեակցիաների ժամանակ.**

1. Մի սուբստրատի էլեկտրոններ կորցնելը կոչվում է վերականգնում:
2. Այն սուբստրատը, որն էլեկտրոններ է ձեռք բերում, օքսիդանում է:
3. Էլեկտրոնները մի սուբստրատից մյուսին են անցնում:
4. Մի մոլեկուլի պրոտոնները փոխարինում են մեկ այլ մոլեկուլի կորցրած էլեկտրոններին:

5. Ճիշտ պատասխանը բացակայում է:

37. **Էլեկտրոնների առաջին ակցեպտորը.**

1.CO_2
2.O_2
3.ԱԵՖ
4.ՆԱԴ+
5.H_2O

38. **Որտե՞ղ է տեղի ունենում գլիկոլիզը.**

1. Ցիտոպլազմայում:
2. Էնդոպլազմային ցանցի վրա:
3. Միտոքոնդրիումների ներքին թաղանթի տակ գտնվող հեղուկում:

10. Միտոքոնդրիումների կրիստներում:

39. **Գլիկոլիզի ժամանակ առաջանում է.**

1. Կաթնաթթու
2. Էթիլ սպիրտ
3. ՆԱԴ+
4. O_2
5. Պիրոխաղողաթթու

40. **Ինչ միացության է վերածվում պիրոխաղողաթթուն նախքան Կրեբսի ցիկլ անցնելը.**

1. ԱցետիլCoA
2. Կաթնաթթու
3. Էթիլ սպիրտ
4. ՆԱԴH
5. Լիմոնաթթու

41. **Աէրոբ գործընթացի համար անհրաժեշտ է.**

1. Թթվածին
2. Ածխածնի երկօքսիդ
3. ԱԵՖ
4. Լույս

42. **Ֆոտոսինթեզ կատարող օրգանիզմները.**

1. Հետերոտրոֆ են
2. Կենդանիներ են
3. Սպառողներ են
4. Արտադրողներ են

43. **Էլեկտրոնների փոխադրումը տեղի է ունենում.**

1. Միտոքոնդրիումներում
2. Քլորոպլաստներում
3. Կորիզում
4. Ցիտոպլազմայում
5. Ռիբոսոմներում