

I БӨЛІМ

ФОТОТРОФТЫ ПРОКАРИОТТАР

Қазіргі кезде организмдердің жер бетінде тіршілік ету мүмкіндігі жарық энергиясын пайдаланып, фотосинтез процесін қамтамасыз ететін фототрофты микроорганизмдер арқылы жүзеге асады. Фототрофты организмдерге: жоғары сатылы өсімдіктер, яғни, макропішінді эукариоттар, пішіні жағынан ұсақтау балдырлар, тіпті бактериялардың кейбір түрлері де жатады. Фотосинтез процесінің өнімдері тағам көзі ғана емес, адамзатқа қажетті құрылыс материалы және биодизель ретінде маңызы өте зор. Сондықтан биологиялық процестердің ішінде фотосинтез процесі алдыңғы қатардағы процестердің бірі болып табылады.

Фототрофты микроорганизмдердің әртүрлілігі биосферада, соның ішінде сулы ортада алатын орны ерекше. Сондай-ақ олар фотосинтез процесін терең зерттеу үшін өте ыңғайлы және маңызды объект болып табылады. Мұндай микроорганизмдерді зерттеу фотосинтез процесінің эволюциясын және фототрофты, хемотрофты организмдердің жаңа түрлерінің пайда болуына мүмкіндік береді.

Фототрофты прокариоттарды келесі топтарға бөледі:

1. Пурпурлы бактериялар.
2. Эритробактериялар мен α бактериохлорофилін түзетін басқа аэробты бактериялар.
3. Жасыл бактериялар.
4. Гелиобактериялар.
5. Цианобактериялар.
6. Прохлорофиттер.
7. Галобактериялар.

Галобактериялардан басқа осы микроорганизмдер фототрофты эукариоттар сияқты, яғни, жоғары өсімдіктер мен балдырлар сияқты хлорофилдерге жататын пигменттердің қатысуымен фотосинтезді жүзеге асырады. Археялардың бір тобы болып табылатын галобактериялардың жарық энергиясын қолдануы олардың каротиноид-белокты комплексті – бактериородопсинді түзуімен байланысты.

Цианобактериялар мен прохлорофиттерде эукариотты фототрофтылардағыдай фотосинтез молекулалық оттегінің бөлініп шығуымен жүреді, сондықтан оларды оксигенді деп атайды. Ал қалған прокариоттарда, галобактерияларды қосқанда, фотосинтез аноксигенді сипатқа ие, яғни, молекулалық оттегі бөлінбей жүреді.

Берги басқармасының соңғы баспасында (Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, 1984) фототрофты бактериялар үш классқа

жатқызылған: *Anoxyphotobacteria*, *Oxyphotobacteria* және *Archaeobacteria*:

Патшалық: *Procaryotae*

Бөлім: *Gracilicutes*

Класс: *Anoxyphotobacteria*

Қатар: *Rhodospirillales*

Қатар: *Chlorobiales*

Класс: *Oxyphotobacteria*

Қатар: *Cyanobacteriales*

Қатар: *Prochlorales*

Бөлім: *Mendosicutes*

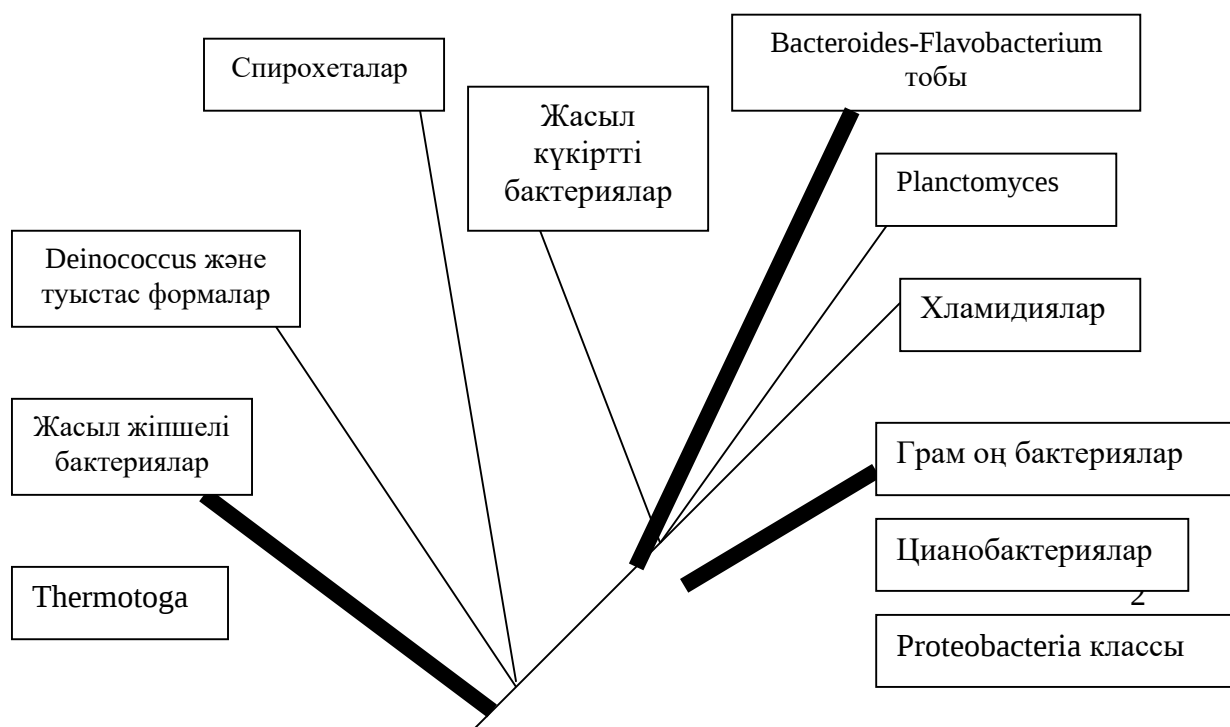
Класс: *Archaeobacteria*

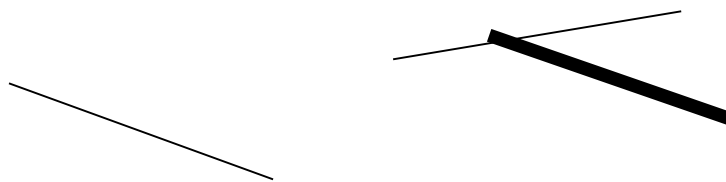
Тұқымдас: *Halobacteriaceae*

Алайда қазіргі таңда фототрофты прокариоттар жүйесінде айтарлықтай маңызды өзгерістер пайда болды.

16S рРНҚ талдау мен басқа да молекулалық-биологиялық зерттеулер нәтижесінде *Rhodospirillales* қатарын құрайтын пурпурлы бактериялар *Proteobacteria* [1] (Stackebrandt et al, 1988) деген жаңа классқа жатқызылды, ол сонымен қатар хемотрофты грам теріс бактериялардың едәуір саны мен автотрофты түрлердің бірнеше қатарын құрайды. Бұрын пурпурлы бактериялармен *Anoxyphotobacteria* клас

ына жатқан жасыл бактериялар екі ерекше микроорганизмдер тобын құрайтыны белгілі болды (Сурет 1). *Prochlorales* қатарының фототрофтылары жақын болып шыққан цианобактериялар систематикасына қатысты зерттеулер одан ары дами түсті.





Сурет 1. Эубактериялардың негізгі филогенетикалық топтары (Woese, 1987 бойынша). Құрамына фототрофтылар кіретін топтың аттары қоршауда берілген.

Фототрофты прокариоттардың ішінен ерекше орынды гелиобактериялар алады. 16S рРНҚ талдауына қарағанда олар грам оң микроорганизмдерге жатады, бірақ клетка қабырғасының ұйымдасуына қарай қалған басқа фототрофты эубактериялар жататын грам теріс формалары ұқсас болып келеді. Ақырында жарық энергиясын пайдалануға қабілетті, әрі археяларға жататын галобактериялар филогенетикалық тұрғыдан метаногендерге жақын болғандығы көрсетілді.

Осылайша, фототрофты прокариоттар, бір жағынан, филогенетикалық қатынаста әртүрлі, екінші жағынан, осы қатынаста кейбір хемотрофтылармен де жақындығын көрсетеді.

Фототрофты прокариоттардың көп бөлігі автотрофияға қабілетті, ал кейбір түрлері саны облигатты автотрофтылар болып табылады. Алайда облигатты гетеротрофтылар да бар. Бұларға барлық белгілі гелиобактериялар мен пурпурлы бактериялардың бөлек бір өкілдері, эритробактериялар мен оларға жақын микроорганизмдер, кейбір жасыл бактериялар жатады. Сонымен қатар, гетеротрофтыларға галобактериялар да жатады.

Галобактерияларды шынайы фототрофтылар деп қарастыруға болмайды деген пікір бар екені рас, өйткені бұл микроорганизмдердің жарық энергиясын қолдану қабілеті олардың өсуін қамтамасыз ете алмайды немесе ол шектеулі уақытта өтеді. Осындай көзқарас эритробактериялар мен α бактериохлорофилін түзетін басқа да аэробты гетеротрофты бактерияларға да таралады. Оларды «квази-фототрофтылар» деп атау ұсынылған [2].

1.5 ЦИАНОБАКТЕРИЯЛАР (CYANOPHYTA)

Цианобактериялар деп аталатын фототрофты микроорганизмдерге VIII ғасыр аяғынан бастап көп көңіл бөліне бастады. Алдымен оларды жануарлар патшалығына жатқызған,

кейіннен жасыл балдырлармен біріктірген. Микроорганизмдерді ерекше ірі таксономиялық топқа біріктіру ұсынылған. Оларға берілген көптеген атаулардың (*Myxophyceae*, *Phycochromophyceae*, *Schizophyceae*, *Cyanophyceae*, *Cyanophycophyta*, *Cyanophyta*) ішінен әсіресе соңғысы және көк-жасыл балдыр атауы кең қолданылады. Алайда көптеген уақыт бұрын ғалымдар көк-жасыл балдырлар мен бактериялардың, яғни, прокариоттардың ұқсастығын атап өткен. Тек 1960 жылы ғана көк-жасыл балдырлардың прокариоттарға жататыны түпкілікті дәлелденді. Сондықтан олардың қазіргі кезде цианобактериялар деп аталуы негізделген болып келеді.

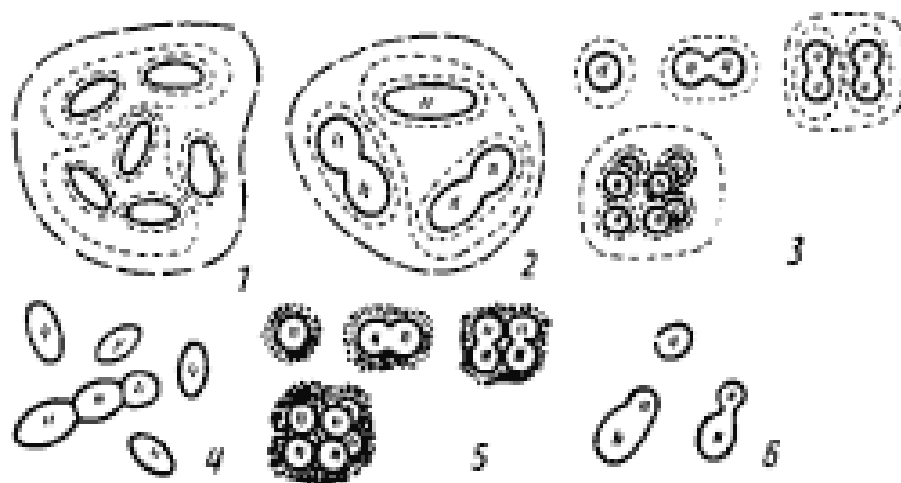
Цианобактериялардың 1500-ден астам түрі сипатталған, ал туыстарының саны 150-ден асады. Аталған микроорганизмдердің классификациясы соңғы уақыттарға дейін генетикалық кодқа тәуелді болып, табиғи объектілерді морфологиялық зерттеулерге негіздеген болатын. Қазір таза дақылдардың қасиеттерін зерттеу негізінде цианобактериялардың систематикасын қайта қарау жұмыстары жасалуда. Алайда мұндай штамдар 200-дей ғана және цианобактериялар дақылы жиі ластанатын болғандықтан бұл жұмыстар қиындықтар тудыруда. Белгілі мәліметтерге қарағанда микробиологиялық көзқарас кейбіреулерінің өзара ұқсастықтарының дәлелденуіне байланысты сипатталған цианобактериялар санының қысқаруына алып келуі мүмкін. Цианобактерияларды бірнеше кластан тұратын балдырлардың ерекше бөліміне біріктіру орнына оларды *Oxypotobacteria* класына жататын *Cyanobacteriales* қатарына біріктіру ұсынылуда.

Cyanobacteriales қатарына жататын барлық микроорганизмдерді бес топқа бөледі. Былайша бөлу таза дақылдарда зерттелген морфологиялық белгілерге, көбею және маманданған клеткаларының түзілу тәсілдеріне негізделген. Әр топқа шамалы ғана айырмашылықтары бар бірнеше туыстар кіреді. Әртүрлі цианобактериялардың ДНҚ-да ГЦ молярлық массасы 35%-дан 71%-ға дейін ауытқиды. Бұл аталған микроорганизмдер бір-бірінен филогенетикалық алшақ түрлерден тұратынын көрсетеді.

1.5.1 Цианобактериялар морфологиясы және көбеюі

Морфологиясы жағынан цианобактериялар басқа фототрофты прокариоттарға қарағанда алуан түрлі. Олардың ішінде бір және көп клеткалы формалар кездеседі. Бір клеткалы

цианобактериялар сфералы, эллипс, алмұрт, ұршық тәрізді, таяқша, цилиндр және басқа да пішінді болады. Ең ұсақ цианобактериялар диаметрі 1 мкм, ал ең ірілерінде 20-30 мкм. Бұл бір клеткалы цианобактериялар *Chroococcales* қатарына кіреді (19-сурет). Бір клеткалы формаларының көпшілігінде клеткалардың әртүрлі санынан тұратын колония түзу қабілеттіліктері бар. Кейде мұндай микроорганизмдерді цианобактериялардың колониальді формалары деп атайды.

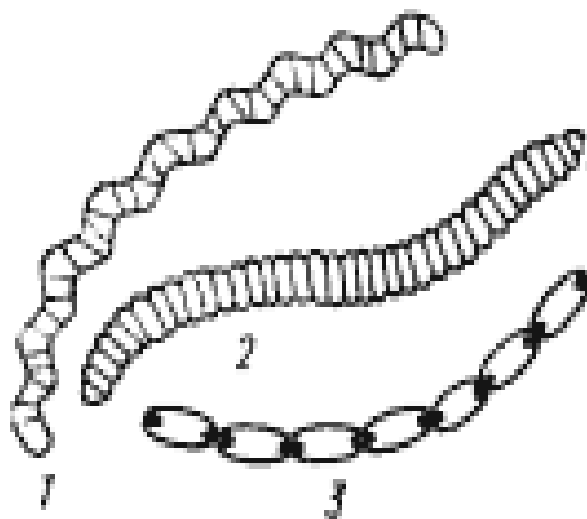


19-сурет. *Chroococcales* қатарына кіретін цианобактериялар: 1 — *Gloeobacter*; 2 — *Gloeotheca*; 3 — *Gloeocapsa*; 4 — *Synechococcus*; 5 — *Synechocystis*; 6 — *Chamaesiphon*.

Жіпшелі цианобактериялар бір-бірімен клетканың бүйір қабырғасы арқылы өтетін жіңішке каналдар - микродесмалар арқылы байланысқан клеткалардан тұрады. Мұндай көп клеткалы жіпшелер «трихомдар» деп аталады. Оларды құрайтын клеткалар сфералы, таяқша және басқа да пішінді болады. Трихомалардағы клеткалардың және трихомалардың өздерінің де мөлшері әртүрлі болады. Кейде цианобактерияларда олардың ұзындығы бірнеше миллиметрге жетеді.

Бірқатар цианобактериялардың трихомалары бірдей формалы және бірдей мөлшерлі клеткалардан тұрады. Бұл топқа *Oscillatoriales* қатарына кіретін цианобактериялар кіреді (20-сурет). Қалғандарында клеткалар трихомалардың ұштарына қарай не ұлғаяды, не кішірейеді. Сонымен қатар клеткалары ассиметриялы

цианобактериялар да кездеседі. Яғни, бір ұшына қарай клеткалар мөлшері кішірейеді. Көптеген цианобактериялардың трихомалары қапшықпен қапталған. Кейде трихомалары түйнек, қыртысты және басқа да формалы шырышты жиынтықтар түрінде бірігеді және субстратқа бекіне алады. Кейбір цианобактерияларда трихомалардың бұтақтануы байқалады. Олар нағыз және жалған болуы мүмкін.



20-сурет. *Oscillatoriales* қатарына кіретін кейбір цианобактериялар: 1 — *Spirulina*; 2 — *Oscillatoria*; 3 — *Pseudoanabaena*

Бірқатар жіпшелі цианобактериялар өсуінің белгілі бір жағдайында трихомаларының ұштарында немесе интерколярлы гетероцисталар немесе акинеталар деп аталатын ерекше клеткалар түзеді. Мұндай маманданған формалар (әсіресе, акинеталар) трихомалардың басқа клеткаларына қарағанда көбінесе ірірек болады. Сонымен қоса олар вегетативтік клеткалардан өздерінің құрылысы, құрамы және функцияларымен ерекшеленеді. Акинеталар цианобактериялардың тыныштық күйдегі формасы болып табылады (яғни, экзоспоралар), ал гетероцисталарда

азотфиксация жүзеге асады, алайда олар вегетативтік клеткаларға тән кейбір компоненттерін жоғалтқан және көбейе алмайды.

Негізгі жіпшелі формаларға жататын бірқатар цианобактериялар (*Oscillatoria*, *Spirulina* және басқалар) қатты орта бетінде сырғып қозғалу қабілеттілігіне ие. Алдында айтылғандай, осыған ұқсас түрде кейбір жіпшелі көк жасыл балдырлар және бірқатар хемотропты микроорганизмдер қозғала алады. Қозғалмалы цианобактерияларда фотокинезиске қабілеттілік байқалады, демек жарық интенсивтілігіне қарай қозғалу жылдамдығы да өзгереді. Қоңыр бактерияларда секілді оларда жарық интенсивтілігі өзгерген жағдайда клеткалардың сызықты қозғалысының өзгеруімен сипатталатын фотофобты реакция байқалады. Сонымен қоса, фототаксис (жарық сәулелеріне параллельді қозғалу), тура және кері сипаттағы хемотаксис тән.

I-топқа кіретін бір клеткалы цианобактериялар бір немесе екі-үш жазықтықта бөліну арқылы көбейеді. Осы топқа бүршіктену арқылы көбейетін *Chamaesiphon* туысына жататын цианобактериялар да жатады.

Бір клеткалы цианобактериялармен қатар колония түзетін формаларда (II-топ) жалпы қосымша қабықша ішінде аналық клетканың көп рет бөлінуі байқалады. Нәтижесінде көптеген (кейде 1000 шақты) ұсақ (диаметрі 2-3мкм) сфералы клеткалар пайда болады. Бұрын оларды «эндоспоралар», ал қазіргі кезде «беоциттер» деп атайды. *Dermacarpa* және *Dermocarpella* (8-кесте) сияқты туыстардың өкілдерінде беоциттер қозғалмалы болып келеді. II-топқа кіретін цианобактериялардың бір тобы тек көптік бөліну арқылы көбейеді. Басқаларында бинарлы бөліну және беоциттердің түзілуі жүруі мүмкін.

Трихома түзетін көп клеткалы цианобактерияларды III-IV бөледі. III-топқа тек вегетативтік клеткалардан тұратын және бұтақтанбайтын трихомалы формалар жатады. Мұндай цианобактериялар қатарына *Oscillatoria*, *Spirulina*, *Pseudoanabaena* туысы өкілдері сонымен қатар, қысқаша LPP (*Lyngbya*, *Phormidium*, *Plectonema*) деп аталатын микроорганизмдер жатады.

Төртінші топты гетероцисталар түзетін цианобактериялар, сонымен қоса, акинеталар түзетін бірқатар өкілдер құрайды. V-топқа басқа жіпшелі цианобактерияларға қарағанда бөлінуі бір емес бірнеше жазықтықта жүретін

цианобактериялар жатады. Нәтижесінде нағыз бұтақтану жүреді, ал басқа топтың өкілдерінде бұтақтану болса да жалған болады. Бұл қынап ішіндегі трихомалардың үзілуі нәтижесінде бүйір бұтақтардың пайда болуымен немесе трихомалардың майысуымен түсіндіріледі. V-топқа кіретін цианобактериялар да гетероцисталар, ал кейбіреулері акинеталарды да түзеді.

Әртүрлі топқа кіретін цианобактериялардың трихомаларының мөлшерлерінің өсуі клеткалардың интерколярлы бөлінуі нәтижесінде жүреді. Тек жеке түрлерінде ғана төбелік өсу байқалады.

Жіпшелі цианобактериялардың көбеюі трихомалардың үзілуі және 2-3 тіпті одан да көп клеткалар санынан тұратын фрагменттердің түзілуіне байланысты. Қозғалуға қабілетті осындай клеткаларды «гормогониялар» деп атайды. Трихомаларда қынаптың болуына қарамастан гормогонияларда ол болмайды. Кейде трихомалардың жеке бөліктері тығыз қалың шырышты қабықпен қоршалады. Олар гормоспоралар (немесе гормоцист) деген атаумен белгілі. Трихомалардан жеке клеткалар ажыраған жағдайда оларды гонидиялар (егер олар шырышты қабықпен қоршалған болса), коккалар, планококктар (егер бұл қабықша байқалмаса) деп атайды. Гормогониялар секілді планококктар да қозғалуға қабілетті. Мұндай клеткалар функциялары бойынша гормогонияларға аналогты болады. Акинета түзетін цианобактериялардың көбеюінің тағы бір жолы акинеталардың түзілуі нәтижесінде жаңа трихомалардың түзілуі.

1.5.2 Цианобактериялар цитологиясы

Барлық цианобактериялардың пептидоглюканнан (муреин) тұратын ішкі қабаттан және ішкі мембранада құралған ригидті клетка қабырғасы болады. Ішкі мембрана цитоплазмалық мембрана сияқты грамм теріс бактериялардағы аналогты мембранаға ұқсас келеді. Оның құрамына белок, антигенді эффектісі бар липополисахаридтер, липидтер кіреді. Кейбір цианобактерияларда ішкі мембрананың бетінде белокты глобулалардан тұратын “S-қабат” табылған.

Бірқатар цианобактериялар клеткалары капсулалар немесе «чехол» деп аталатын қосымша қабаттармен қоршалған. Жоғарыда айтылғандай көп клеткалы формаларда бүкіл трихом

чехолмен қапталған. Кейбір цианобактерияларда чехолдар (гликокаликстер) шырышты және клеткадан оңай ажырайды. Бірақ көпшілігінде олар тығыз болып келеді. Кейде чехолдың құрылысы гомогенді, алайда жиірек фибриллярлы болады. Кейбір цианобактериялар көп мөлшерде клеткадан оңай бөлініп, ортаға шырыш бөледі. Олар чехол тәрізді негізден - полисахаридтерден тұрады. Кейбір цианобактерияларда пилилер және инелер немесе цилиндр тәрізді спиналар байқалады.

Цианобактериялардың көпшілігіне хлорофилдер, каротиноидтар, электрон тасымалдағыштар жинақталатын клетка ішілік мембраналық жүйенің болуы тән. Клетка ішілік жұп мембраналар тилакоид деп аталатын дискілер түзеді.

Тилакоидтардың саны мен орналасуы түрлі цианобактерияларда әртүрлі болады. Бұл дақылдың өсу жағдайына және жарық интенсивтілігіне байланысты. Тек қана бір тилакоиды бар цианобактериялар сипатталған. Бір клеткалы формаларда тилакоидтар көбінесе клетка шетінде клетка мембранасына параллельді орналасады. Нәтижесінде екі-үш және одан да көп концентрленген қатар түзеді. Тилакоидтардың осылайша орналасуы кейбір көпклеткалы цианобактерияларда да байқалады. Алайда трихома түзетін бірқатар цианобактерияларда тилакоидтар спираль байынша, радиальді, кейде перифирияда шоғырланып немесе ретсіз орналасады. Цианобактериялардың өсуі барысында жарық интенсивтілігі төмен болған жағдайда тилакоидтар саны көбейеді.

Тилакоидтардың пайда болуы әлі күнге дейін белгісіз. Кейбір деректерге қарағанда олар басқа прокариоттарда цитоплазматикалық мембрананың инвагинациясы нәтижесінде пайда болады. Тилакоидтардың мембранасының сыртқы бетіне диаметрі 40 нм шамасында болып келетін бірнеше суббірліктерден тұратын ерекше түзілістер - фикобилисомалар жанысып жатады. Фикобилисомаларда фотосинтезге қатысатын ерекше пигменттер - фикобилипротеиндер болады. Демек, тилакоидтармен қатар цианобактериялардың фотосинтездеуші аппараты құрамына фикобилисомалар да кіреді. Функциясы жағынан олар жасыл бактериялардың хлоросомаларына ұқсас, себебі олардағы жинақталатын пигменттер жарық жинау функциясын атқарады.

Фотосинтездеуші аппараты ерекше болып келетін жалғыз ғана цианобактерия белгілі. Ол *Gloebacter violaceus*. Аталған бірклеткалы цианобактерияда тилакоид табылмаған. Фотосинтездеуші аппараттың негізгі компоненттері цитоплазмалық мембранада орналасқан. Цитоплазмалық мембрана жанында, оған перпендикулярлы түрде ені 10-12 нм, ұзындығы 5070 нм болып келетін цилиндрлі құрылыстар орналасқан. Олар фикобилисомалар болып табылады.

Цианобактериялардың мембраналарының құрамына фосфатидил-глицеролдан басқа эукариоттардың хлоропластарында кездесетін, алқызыл мен жасыл бактерияларда сирек кездесетін немесе тіпті кездеспейтін гликолипидтер (моногалактозилдиацилглицеролдар, дигалактозилглицерол, сульфохиновозилдиацилглицеролдар) кіреді. Солардың қатарына дигалактозилдиацилглицеролдар кіреді. Май қышқылдарының құрамы әртүрлі. Бірқатар цианобактериялар (әсіресе көпклеткалылар) басқа прокариоттарда болмайтын полиқаныққан май қышқылдарын түзеді. Көбінесе олардың ішінде C_{18} -қанықпаған май қышқылдары көп болады, ал соңғыларының ішінде линолен қышқылы ($C_{18:3}$) басымырақ.

Цианобактериялардың ДНҚ-сы клетканың орталық бөлігінде жатқан нуклеоплазмада орналасқан. Әртүрлі цианобактериялардың геномының көлемі 1,6-дан $8,6 \times 10^9$ Д дейін жетеді. Үлкен көлемдер гетероцисталар түзетін көпклеткалы цианобактерияларда кездеседі. Нуклеотид ДНҚ-сынан басқа цианобактерияларда плазмидалар мен фагтардың кішкентай ДНҚ-лары да болады. Рибосомалары басқа прокариоттарда секілді 70S типке жатады және 50S пен 30S суббірліктерден тұрады.

Бірқатар цианобактериялар газды вакуольдер түзе алады. Газды вакуольдердің түзілуі дақылдардың өсу жағдайына және олардың даму сатыларына байланысты. Мысалы, *Nostoc muscorum* жарық интенсивтілігі жоғары жағдайда өссе газды вакуоль түзе алады. Олардың болуы пигменттердің жарықты аз сіңіруіне алып келеді деген болжамдар бар. Бұл клетканың кейбір компоненттерінің бұзылуының алдын алуы мүмкін. Газды вакуольдердің басты маңызы олар клеткалардың судағы теңестірілген күйін сақтауға мүмкіншілік береді. Себебі олар клетканың тығыздығын төмендетеді.

Бірқатар цианобактериялардың клеткаларында карбоксисомалар деп аталатын полиэдрлі түзілістердің болуы байқалған. Аналогты құрылымдар кейбір қызыл бактериялар мен автотрофияға қабілетті кейбір хемотроты бактерияларда да болатыны атап көрсетілген. Оларда, көпшілік автотрофтарда, көмір қышқыл газын ассимиляциялауға мүмкіншілік беретін рибулозобифосфат-карбоксилазаның ауқымды бөлігі орналасқан.

Сонымен қоса цианобактериялардың құрамына қор заттары да кіруі мүмкін. Солардың қатарына ұзындығы 30-дан 300 нм-ге дейін әртүрлі формалы α -гранулалар түзетін гликоген тәрізді көмірсу кіреді. *Chlorogloeopsis* sp.-да поли- β -гидроксibuтираттың жинақталуы анықталған. Жиі цианобактериялар ішінде полифосфаттар орналасқан гранулалардан тұрады.

Цианобактериялардың цианофицин деп аталатын азотты қорлық өнімдерді синтездеуі олардың өзіндік ерекшелігі болып келеді. Ол аргинин мен аспарагин қышқылының бірдей көлемінен тұратын полипептид болып табылады. Молекулалық салмағы 25000-100000. Бұндай полимер цианобактериялардан басқа организмдерде кездеспейді. Клеткада ол құрылым немесе цианофицин деп аталатын (диаметрі 1мкм және одан да көп) гранулалар түзеді. Цианофицин азоттың ортада жетіспеушілігі жағдайында азот көзі және цианобактериялардың клеткалары қараңғы, анаэробты ортада болған жағдайда (АҰФ синтезі үшін) энергия көзі болып табылады.

Бірқатар цианобактериялар түзетін гетероцисталар вегетативті клеткалардан қосымша жабындары мен жарық сындыратын гранулаларының болуына байланысты түзілген қалың қабығының болуымен ерекшеленеді. Кейбір цианобактериялардың гетероцисталарын қаптайтын қабықтың гликолипидті ішкі қабығы және полисахаридті сыртқы қабығы анықталған.

Гетероцисталарында фикобилисомалары демек фикобилипротеиндері және қор заттары болмайды. Олар поралары арқылы вегетативтік клеткалармен қарым-қатынасын сақтайды, алайда бөлінуге қабілетсіз және фотосинтез молекулалық оттегінің бөлінуінсіз жүреді. Сонымен қатар гетероцисталар көмір қышқыл газын ассимиляциялайтын ферменттері бойынша ақауы бар, алайда молекулалық азотты белсенді түрде фиксациялайды және O_2 -ні сіңіруге қабілетті. Жеке

вегетативті клеткалардың гетероцисталарға айналуы ортада қажетті мөлшерде азот көзі болып табылатын аммоний мен басқа да қосылыстар болмаған жағдайда жүреді.

Акинеталар да вегетативті клеткаларға қарағанда қалың клетка қабығына ие. Оларда қорлық глюкандар мен цитоплазмаға түйіршіктік қасиет беретін ірі цианофицинді гранулалары болады. Алайда фикобилиндер мен хлорофилдер саны аз. Вегетативті клеткаларға қарағанда акинеталардың қолайсыз сыртқы орта жағдайларына төзімділігі жоғары. Акинеталар өнген жағдайда олардың қабығында пора түзіледі. Ол арқылы өскін шығады немесе ол жартылай жойылып кетеді.

1.5.3 Цианобактериялар физиологиясы

Жарық белсенділігіне тәуелді өсуі

Цианобактериялардың көпшілігі тек жарық болған жағдайда өседі, яғни, олар облигатты фототрофтар болып табылады. Табиғи жағдайда бұл микроорганизмдердің бірқатары өте жарық орталарда кездеседі. Лабораториялық деректерге қарағанда олардың өсуі үшін қажет оптимальді жарық интенсивтілігі 500-1000 лк аспайды, сирек 800 лк болады. Жарықтың өте жоғары интенсивтілігі цианобактериялардың өсуін тежеуі мүмкін. Аталған жағдайға, әсіресе құрамында фикоэритрині көп түрлер сезімтал келеді. Цианобактериялардың таза дақылын бөліп алу үшін 500 лк-ден төмен жарық интенсивтілігін ұстап тұру қажет.

Температураның әсері

Цианобактериялардың көпшілігі 25-30°C жақсы өседі. Алайда 20-23°C дейін температурада өсе алатын түрлері де (*Anabaena flos-aqua*) белгілі. Табиғи жағдайда олар кейде 0°C жақын температурада өсе алады. Сонымен қатар, цианобактериялардың ішінде термофилдер де кездеседі. Олардың оптимальді өсу температурасы 45°C тіпті одан да жоғары. Мұндай микроорганизмдер ыстық бұлақтарда кездеседі. Цианобактериялардың өсуі байқалған максимальді температура 70-74°C. Кейбір жасыл бактериялар мен *Cyanidium caldarium* балдырынан басқа ешқандай фототрофты микроорганизмдер мұндай температурада өсе алмайды. Ең жоғары температураға *Synechococcus lividus*-тың кейбір штамдары да төтеп бере алады. Оларды 60-70°C-да бөліп алады. 60-64°C-ке дейінгі температурада

Fischerella sp-нің (*Mastigocladus laminosus*) және *Phormidium laminosum* өсуі мүмкін. Цианобактериялардың басым көпшілігі 40-45°C-да өседі. Оларға *Synechococcus*, *Gloeocapsa*, *Pleurocapsa*, *Oscillatoria*, *Lyngbya* туыстарының және басқа да туыс өкілдері жатады.

Молекулалық оттегінің әсері

Барлық цианобактериялар оттегі бар жерде өседі, себебі өздері оттегіні бөліп шығарады. Алайда оттегінің жоғары концентрациясы олардың өсуін тежейді. Сонымен қоса олар жарық интенсивтілігі жоғары болғанда микроаэробты жағдайды ұнатады. Цианобактериялар каталаза мен супероксиддисмутаза ферменттерін түзгенімен бұл ферменттер молекулалық оттегі мөлшері көп болғанда және фотодинамикалық қасиет көрсететін жарық интенсивтілігі жоғары болған жағдайда тұрақты түрде клетка өлімінің алдын ала алмайды.

Табиғи жағдайда цианобактериялардың бірқатары күкірт сутекті суқоймаларда тіршілік етеді. Тіпті кейбіреулері (мысалы *Oscillatoria limnetica*) күкірт сутектің 0,1-0,2% концентрациясында да тіршілік ете алады. Бұл қызыл және жасыл бактериялар төтеп беретін концентрациядан да жоғары. Сонымен қоса *Oscillatoria limnetica* сульфид бар жағдайда анаэробты ортада өсе алатыны анықталған.

pH мәні

Цианобактериялардың көпшілігі орта pH 7,0-9,0, ал кейбіреулері тіпті pH 10,0-да, демек нейтральды және сілтілі жағдайда өседі. pH-тың оптимальды мәні 7,5-8,5. Тек кейбір цианобактериялар pH 4,5-5,0 өсе алады. Олардың қатарына ыстық қайнарлардан бөліп алынған *Fischerella sp* және *S. lividus* және сазды батпақтардан бөліп алынған басқа да туыс өкілдері жатады. Алайда бұл цианобактериялар үшін оптимальды pH мәні жоғары болады.

1.5.4 Цианобактериялардың қоректенуі

B₁₂ витаминін талап ететін кейбір штамдардан басқа таза дақыл күйінде бөлініп алынған цианобактериялар микро- және макроэлемент тұздарынан тұратын минералды орталарда өседі.

Ащы суқоймаларынан бөлініп алынған штамдарды дақылдау үшін ортаға натрий хлоридін (0,4 М) 2,5%, кейде одан да көп концентрацияда қосады. Өте галофильді цианобактериялар *Cyanothece* және *Synechococcus* штамдарының ішінен табылған. 6-10% кем натрий хлориді концентрациясында бұл цианобактериялар өсе алмайды. Цианобактериялардың өсуі байқалатын натрий хлоридінің максимальды концентрациясы бір деректерге қарағанда 18%, ал басқалары бойынша 25%. Кейбір цианобактериялар галотолерантты болып келеді.

Биосинтез процесі үшін қажет күкіртті цианобактериялар сульфаттан алады. Қызыл бактериялар сияқты кейбір цианобактерияларда ассимиляциялық сульфатредукция АФС түзілуі арқылы, ал қалғандарында АФС және ФАФС түзілуі арқылы жүреді.

Азот көзі ретінде цианобактериялар нитрат, аммоний тұздарын, тіпті мочевины қолданады. Жеке түрлері нитрит қолданылған жағдайда да өседі. Цианобактериялардың көпшілігі азот фиксациялай алады. Мұндай қабілеттілік алғаш *Nostoc* туысының өкілдерінде табылған. Қазір әртүрлі туысқа жататын цианобактериялардың азот фиксациялаушы 200-ден астам штамдары белгілі. Олардың ішінде бір клеткалы (*Gloeotheca*, *Synechococcus*, *Dermocarpa*, *Chroococcidiopsis*) және көп клеткалы формалары да бар. Бұл *Anabaena*, *Nostoc*, *Fischerella* туысының әртүрлі өкілдері және гетероциста түзетін басқа да туыс өкілдері. *Oscillatoria*, *Pseudoanabaena* сияқты көп клеткалы цианобактериялармен гетероциста түзбейтін LPP тобындағы организмдерде де азот фиксациялау қабілеттілігі анықталған.

Көптеген цианобактериялар облигатты автотрофтар болып табылады. Олар көмір қышқыл газынан клеткаға қажетті органикалық қосылыстарды синтездеп қана қоймай, органикалық заттарды қолдануда шектеулі қабілеттік көрсетеді. Сондықтан CO₂ олар үшін үнемі негізгі көмірсу көзі болып табылады. Мұндай микроорганизмдер қатарына *Gloeotheca*, *Gloeobacter*, *Spirulina*, *Anabaena*, *Pseudoanabaena*-ның әртүрлі штамдары жатады. Цианобактериялардың басқа туыстарының ішінде де облигатты автотрофтар бар.

Алайда кейбір цианобактериялар жарық бар жерде көмір қышқыл газын және органикалық заттарды қолданғанда немесе тек органикалық заттарды қолданғанда, яғни, фотомиксотрофты

және фотогетеротрофты жағдайда өсе алады. Мұндай организмдер *Oscillatoria*, *Fischerella*, *Nostoc*, *Dermocarpa*, *Pleurocarpa*, *Gloecapsa*, *Chamaesiphon*, *Chlorogloeopsis*, *Synechococcus*, *Synechocystis*, *Nodularia*, *Calotrix*, *Scytonema* сияқты әртүрлі туыс өкілдері арасынан табылған.

Бұл цианобактериялардың бір бөлігі органикалық ортада және қараңғыда тіршілік етеді. Олардың ішінде *Oscillatoria*, *Nostoc*, *Plectonema*, *Lyngbya*, *Phormidium* туыстарына жататын көп клеткалы формалар басым болып келеді. Алайда қараңғылықта өсуге бейім *Synechococcus*, *Synechocystis* туыстарына жататын бір клеткалы цианобактериялар да бар. Қызықтыратыны бір туысқа жататын цианобактериялар ішінде облигатты да, факультативті де фототрофтар кездеседі.

Тәжірибелерде қосылыстарды, таңбаланған C^{14} атомдарын пайдалану цианобактериялардың, сонымен қоса облигатты автотрофты формаларының да қоректік ортадан көп мөлшерде органикалық заттарды: кейбір қанттарды, органикалық қышқылдарды, амин қышқылдарын, пурин, пиримидиндерді сіңіре алатынын көрсетті. Сонымен қоса бірқатар цианобактериялардың нафталин және ароматикалық қатардағы басқа да қосылыстарға әсер ету қабілеттіктері анықталған.

Алайда барлық жағдайларда да органикалық заттар цианобактериялардың өсуін стимулдеп, биомасса түзуін ұлғайта алмайды. Керісінше, олардың ішінде бірқатары (кейбір амин қышқылдары, пропионат) тіпті төмен концентрацияда да осы микроорганизмдердің өсуін тежейді.

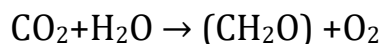
Цианобактериялардың өсуін қалыпты ұстап тұратын органикалық қосылыстар аз белгілі. Көбінесе олға D-глюкоза, сирек D-фруктоза, D-рибоза, мальтоза және глицерол жатады. Алайда цианобактериялар кейде жарықта автотрофты жағдайда жылдамырақ өседі.

1.5.5 Цианобактериялар метаболизмі

Электрон донорлары

Пурпур және жасыл бактерияларға қарағанда цианобактерияларда фотосинтездеуші аппарат күрделі болып келеді. Оған балдырлар мен жоғарғы сатыдағы өсімдіктердегі секілді екі фотожүйе кіреді. Сондықтан цианобактериялар

фотосинтез барысында электрон доноры ретінде суды пайдаланып, молекулалық оттегіні бөліп шығара алады. Аталмыш микроорганизмдердің жарықта көмір қышқылын ассимиляциялау нәтижесі эукариотты фототрофтарға қолданатын фотосинтез теңдігіне сай келеді:



Кейбір цианобактериялар оттегіні бөлмей-ақ фотосинтез жүргізе алады. Бұл жағдайда *O. Limnetica* қызығушылық тудырады. Ол жоғарыда айтылғандай ортада электрон доноры қызметін атқаратын күкірт сутек болған анаэробты жағдайда CO_2 фотоассимиляциясы нәтижесінде тіршілік ете алады. Соның барысында күкірт сутек ортада жинақталатын молекулалық күкіртке дейін тотығады.



Осылайша *O. Limnetica* фотосинтезі жасыл және пурпур бактерияларындағы секілді аноксигенді болып келеді.

O. Limnetica-ның фотосинтездің мұндай түріне көшуі индукция кезеңін талап етеді, ал бұл цианобактерияның оксигенді фотосинтезге өтуі анаэробты жағдайдан аэробты жағдайға өткеннен кейін дереу жүзеге асады. Цианобактериялардың фотосинтез барысында сульфидті тотықтыруына сульфидтің электронын I фотожүйеге беретін пластохинон мен цитохром қатысады. II фотожүйе бұл жағдайда қызмет етпейді.

Сульфид болғанда анаэробты жағдайда CO_2 -ні фотоассимиляциялау басқа да цианобактерияларда, соның ішінде *Oscillatoria amphigranulata*, *Microcoleus chthonoplastes*, *Cyanothece sp.*, *Lyngbya sp.*, *S. elongatus*-та да кездеседі. Сонымен қоса кейбір цианобактериялар, сонымен қоса, *S. elongatus* күкіртті тек ортада ғана емес клеткасында да жинақтай алатыны белгілі.

S. elongatus электрондар доноры ретінде тиосульфат қолдана алатыны белгілі. Сонымен қоса көптеген цианобактериялар молекулалық сутегіні тотықтыратыны мәлім. Бұл процесс барысында *Cyanothece sp.*, *O. Limnetica*-ға көрсетілгендей аталмыш микроорганизмдер CO_2 -ні анаэробты жағдайда фотоассимиляциялай алады. Цианобактериялардың молекулалық сутегі болғанда CO_2 фиксациялауы өте тез аяқталады. Тіпті бұл мәселеде ең белсенді микроорганизмнің (*Cyanothece sp.*) өзінде де процесс жылдамдығы аэробты жағдайда электрон доноры су

болғандағы CO_2 фиксациялануының бірнеше процентінен аспайды.

Кейбір цианобактериялар молекулалық сутегіні азотфиксациялау, нитраттары тотықсыздандыру үшін электрон доноры ретінде, ал АҮФ синтезіне алып келетін аэробты тыныс алуда субстрат ретінде эффективті пайдаланылады. Басқа организмдерде секілді цианобактериялардың молекулалық оттегіні тотықтыру қабілеті гидрогеназа ферменттерінің түзілуіне негізделеді. Тіпті кейбір түрлері бір ғана емес екі ферменттен тұрады. Олардың құрамына кейбір түрлерінде анықталғандай темірден басқа никель де кіреді. Жақында кейбір цианобактериялардың көмір қышқылын фотоассимиляциялауда екі валентті темір электрон доноры қызметін атқара алатыны жайлы деректер пайда болды.

Цианобактериялардың жеке түрлерінің фотоассимиляциялау процестерінде электрон доноры қызметін гликолат, глюкоза және басқа органикалық заттар атқаратыны белгілі болды. Алайда олардың қатысуымен жүретін CO_2 фиксациялануының жылдамдығы өте төмен. Шарт бойынша көміртегі көзі ретінде көмір қышқылы пайдаланылған жағдайда цианобактериялардың өсуі электрон доноры ретінде суды пайдалану арқасында жүзеге асып, молекулалық оттегінің бөлінуімен аяқталады. Әзірше *O.Limnetica* мен *Oscillatoria amphigranulata*-да ғана бұдан ауытқушылық байқалмайды.

Сонымен қоса бірқатар органикалық қосылыстардың азотфиксациялауы барысында кейбір цианобактериялармен электрон доноры ретінде пайдаланылатыны жайлы белгілі.

Көмір қышқылының ассимиляциясы

Әртүрлі цианобактериялармен көмір қышқылының фотоассимиляциялануы рибулозабисфосфаттық циклдің қызмет атқаруымен байланысты, яғни, басқа автотрофтылардың көпшіліктеріндегідей жүреді. Егер пурпурлы бактерияларда бұл процеске NADH қатысса, ал цианобактерияларда эукариотты фототрофтарда секілді тотықсыздандырушы NADPH болып табылады. Таңбаланған $^{14}\text{CO}_2$ -мен клеткалардың қысқа экспозициялары нәтижесінде түзілетін өнімдерден басқа цианобактерияларда Кальвин циклінің бар екенін рибулозабисфосфат-карбоксилаза ферментінің болуы дәлелдейді.

Цианобактериялардың әртүрлі өкілдері 8L және 8S суббірліктен тұратын рибулозабисфосфат-карбоксилаза түзеді. Ферменттің молекулалық массасы 500 000-570 000. *Synechococcus* штамында ғана тек L₈, ал екіншісінде L₄ суббірлігінен ғана тұратын рибулозабисфосфат-карбоксилаза анықталған. Цианобактерияларда басқа да прокариоттардағыдай рибулозабисфосфат-карбоксилаза жоғарыда айтылғандай карбоксисома деп аталатын ерекше құрылымда жинақталады. Онда ферменттің тікелей CO₂ ассимиляциясына қатыспайтын резервті формасы болуы мүмкін. Рибулозабисфосфат-карбоксилаза цианобактериялардың вегетативтік клеткаларымен қоса акинеталарында да анықталған, алайда гетероцисталарында ол мүлдем жоқ.

Басқа организмдердегі секілді цианобактерияларда рибулозабисфосфат-карбоксилаза көмір қышқылы ассимиляциясына ғана қатысып қоймай оксигеназалық қызмет те көрсетеді. Ол ортада молекулалық оттегі көп болғанда, клеткаға көмір қышқылы шектеулі келгенде, жарық интенсивтілігі жоғары болғанда күшейе түседі. Нәтижесінде цианобактериялар басқа да организмдер секілді ортаға гликолат бөледі.

Сонымен қатар цианобактериялар басқа эукариотты фототрофтар секілді гликолатты тартрон жартылай альдегиді мен глицерин қышқылы арқылы рибулозабисфосфат цикліне кіретін 3-фосфоглицератқа айналдыру жолымен рециклизациялай алады:

- CO₂

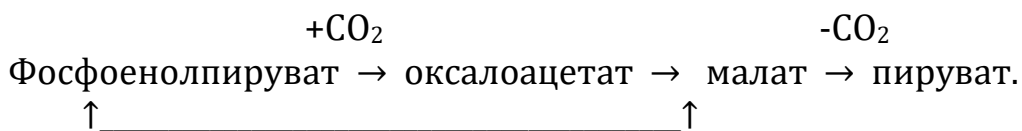
Гликолат — → глиоксилат — → тартрон жартылай альдегид —
→ глицерат — → 3-фосфоглицерат

Ортаға гликолат қосқан жағдайда оның кейбір цианобактериялармен қолданылуы осыған ұқсас жолмен жүреді.

Цианобактериялар көмір қышқылын рибулозабисфосфат-карбоксилаза және Кальвин циклінің басқа да ферменттері көмегімен ассимиляциялаудан басқа, басқа да жолдармен игере алады. Ондай микроорганизмдердің көпшілігінен фосфоэнолпируват-карбоксилаза, ал кейбіреулерінде басқа да карбоксилдеуші ферменттер табылған. Цианобактериялардың *in vivo* жағдайында көмір қышқылын фосфоэнолпируватта фиксациялау қабілетін *Cyanothece sp.* және басқа туыс өкілдерімен

жүргізілген тәжірибелер дәлелдейді. Бұл микроорганизмдердің қысқа уақыт көмір қышқылын фиксациялауы радионуклеотиді бар малат пен аспартаттың көп мөлшерде синтезделуіне алып келеді. Кейде оларда фиксацияланған көмір қышқылынан 50% көміртегі кездеседі. Сонымен қоса цианобактериялардың $^{14}\text{CO}_2$ пайдалануы аланин, глутамат, глицин, серин секілді таңбаланған өнімдердің түзілуіне алып келеді.

Цианобактерияларда рибулозабисфосфаттық циклден басқа көмір қышқылының ассимиляциялануының кейбір өсімдіктердегідей C_4 жолы да қызмет атқаратыны белгілі. Бұл жол келесі реакциялардан тұрады:



Фосфоенолпируват рибулозабисфосфат-карбоксилазаға қарағанда CO_2 -үлкен жақындық көрсететіндіктен CO_2 -нің фиксациялануының C_4 жолы оның төмен концентрациясында көмір қышқылының эффективті пайдаланылуын қамтамасыз етеді. Бұл Кальвин циклінің қызмет атқаруы үшін маңызды. Себебі малат декарбоксилденуі арқылы түзілетін CO_2 рибулозабисфосфаттық жол арқылы ассимиляцияланады. Сонымен қоса келесі биосинтездік реакцияларда C_4 жолының кейбір метаболиттері қолданылуы мүмкін. Алайда арнайы тәжірибелер фосфоенолпируваттың көмір қышқылының алғашқы доноры ретіндегі қызметін дәлелдемей отыр. Бұл тәжірибелер нәтижесінде көмір қышқылының жарықта цианобактериялармен фиксациялануы ең алдымен рибулозабисфосфаттық жолмен жүретіні, нәтижесінде басқа метаболиттердің, соның ішінде фосфоенолпируваттың синтезіне қатысатын 3-фосфоглицерин қышқылының түзілетіні белгілі болды. Осылайша цианобактериялардың өсуі барысында фосфоенолпируватта CO_2 -нің фототрофты жағдайда фиксациялануы екіншілік сипатта болады. Кейбір цианобактериялармен фосфоенолпируваттың карбоксилденуі нәтижесінде жүретін CO_2 -нің ассимиляциялануы

әлсіз жарықта күшейеді, сонымен қатар, рибулозабисфосфаттық цикл қызмет атқармағанда қараңғыда да жүре алады.

Цианобактериялардың автотрофты жағдайда көмір қышқылын қолданудың бұндай жолы клетканың бірқатар қосылыстарының, сонымен қатар кейбір амин қышқылдары мен тетрапирролдардың синтезделуіне алып келеді. Цианобактерияларда тетрапирролдардың синтезіне қатысатын δ -аминолевулин қышқылының ізашары басқа организмдердегідей α -кетоглутараттан түзілетін глутамат болып табылады.

Цианобактериялардың көмір қышқылын фотоассимиляциялауы клетка тіршілігі үшін қажет клетка компоненттерін қамтамасыз ету мен қатар қорлық өнімдердің синтезделуіне алып келеді. Жоғарыда айтылғандай бұл микроорганизмдердің кейбір өкілдері гликоген тәрізді глюкан және цианофицин (мульти-L-аргинил-поли-L-аспартат) жинақтауға қабілетті. Кейбір цианобактерияларда бұлардың қатарына поли- β -гидроксибутират кіруі мүмкін. Азоттық ашығу жағдайында цианобактериялар клеткаларындағы қорлық көміртегінің мөлшері кейде құрғақ массаның 60%-на дейін жетеді. Сонымен қоса, қорлық заттар рөлін фикоцианин мен фикобилипротеиндер атқаруы мүмкін.

Азот қосылыстарын пайдалану

Цианобактерияларды өсіру барысында азот көзі ретінде жиі нитраттар пайдаланылады. Бұл микроорганизмдердің нитраттарды тотықсыздандыруы кезінде электрон доноры ретінде ферродоксин қолданылады. Ол темір жетіспеушілігі кезінде флаводоксинмен алмастырыла алады. Нитратредуктаза да ферродоксинге тәуелді фермент болып табылады. Цианобактериялардың нитрат және нитрит редуктаза ферменттері индуцибельді ферменттер қатарына жатады. Цианобактериялардың кейбір штамдары, әсіресе *Nostoc sp.*, және *S. elongatus* нитриті бар ортада өскенде азот тотығы мен аммоний бөледі. Цианобактериялардың нитраттарды пайдалануын аммоний және кейбір амин қышқылдары, мысалыға L-изо-лейцин, L-лейцин, L-валин тежейді. Цианобактериялардың аммонийді сіңіруі ерекше транспорттық жүйенің әсерімен байланысты. Аммоний ассимиляциясы көбінесе глутаминсинтетаза мен глутаматсинтетаза қатысуымен жүреді. Бірқатар эукариотты

фототрофтылардағыдай глютаминсинтетазаға, кейбір цианобактериялар ферродоксинге тәуелді болып келеді. Ал басқа бактерияларда өзінің электрон доноры ретіндегі әсерінде ол көбінесе NADFH -пен байланысты.

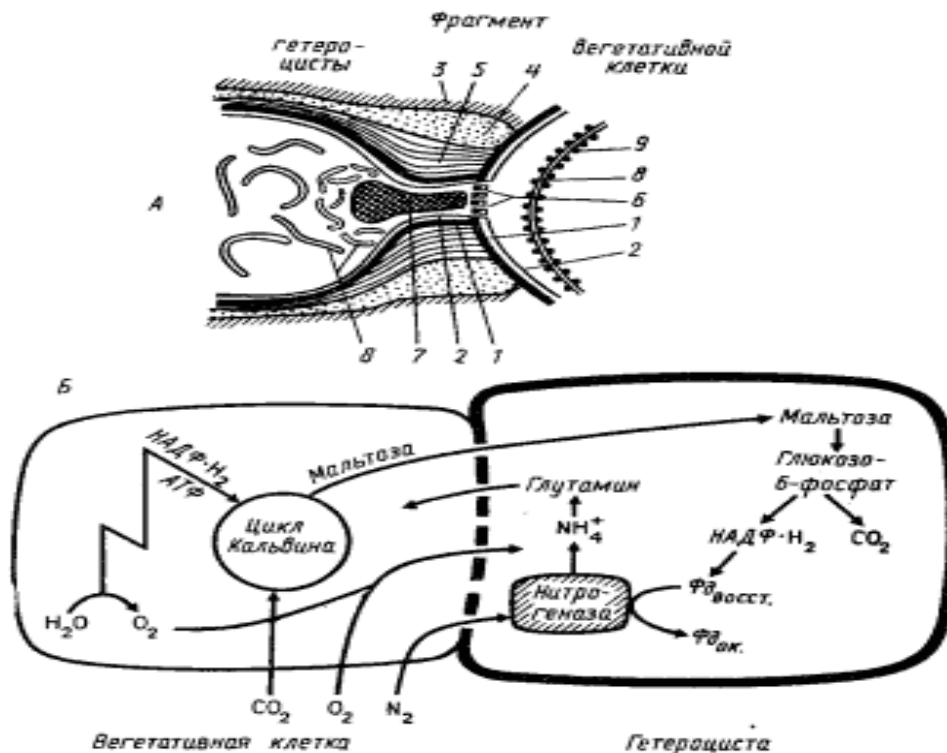
Кейбір цианобактерияларда глутаматдегидрогеназа және аланиндегидрогеназа болатыны анықталған. Алайда бұл ферменттер цианобактериялардың аммонийді пайдалануында аса маңызды емес. Басқа организмдер секілді цианобактериялар трансаминделудің бірнеше реакцияларына қабілетті болып келеді. Ғылыми және практикалық тұрғыда цианобактериялардың молекулалық азотты фиксациялауы қызығушылық тудырады. Цианобактериялардың азотты ассимиляциялауы тек жарықта емес қараңғыда да жүзеге асады, алайда жарықта бұл процес қарқынды жүреді. Гетероциста түзуші цианобактериялар үшін O_2 -нің төмен концентрациясы тиімді болғанымен анаэробты жағдайда молекулалық азотты фиксациялауға қабілетті болып келеді. Қалған цианобактериялардың көпшілігі азотты анаэробты және сирек микроаэробты жағдайда пайдаланады. Тек аэробты жағдайларда да азотты фиксациялауға қабілеттілік көрсететін *Gloethece sp.*, *Cyanothece sp.*, *Synechocystis sp.* сияқты кейбір бір клеткалы формалар жеке топты құрайды. Аэробты жағдайда жіпшелер цианобактериялардың да молекулалық азотты фиксациялауы жайлы мәліметтер бар. Мысалы ретінде гетероциста түзбейтін *Oscillatoria* туысы өкілдерін алуға болады.

Бүкіл цианобактериялардың оттегі қатысуында молекулалық азотты фиксациялай алмауының себебі - нитрогеназа ферментінің молекулалық оттегіге сезімталдылығы болып келеді. Сонымен қатар ферменттің синтезі оттегінің мөлшері көп болғанда және кейде микроаэробты жағдайларда тежелуі мүмкін. Сондықтан көптеген цианобактериялардың молекулалық азотты фиксациялау қабілеті олардың клеткаларының белгілі бір уақытқа анаэробты жағдайға орналастыру нәтижесінде анықталды.

Азотты аэробты жағдайда ассимиляциялайтын бактериялар нитрогеназасын молекулалық оттегіден қорғау тәсілдеріне ие болып келеді. Бұндай тәсілдерге кейбір азот фиксаторлардың шырышты капсула түзуі, ферменттің клеткада белгілі бір орналасуы, тыныс алудың жоғары жылдамдығын, фотосинтез бен

азот фиксациясының кеңістіктік және уақыт бойынша шектелуі жатады. Айқын мысал ретінде вегетативті клеткаларға қарағанда нитрогеназа ферменттері көп орналасатын гетероциста түзуші цианобактерияларды алуымызға болады.

Жоғарыда айтылғандай гетероцисталар вегетативтік клеткаларға қарағанда клетка қабығының қалыңдығымен ерекшеленеді. Фотосинтез барысында олар оттегіні бөлмейді, себебі II фотожүйе бойынша дефектті болып келеді және көмір қышқылын фиксациялай алмайды, алайда қарқынды тыныс алу қабілеттілігіне ие болып келеді. Сондықтан гетероцисталарда нитрогеназа синтезі жүреді және ортада оттегінің аз мөлшері болған жағдайда да активтілігі байқалады. Оның қызмет атқаруы гетероцисталарда АҰФ синтезделуімен, электрон доноры қызметін атқаратын тотықсызданған ферродоксиннің түзілуімен қамтамасыз етіледі. Оны флаводоксин алмастыра алуы мүмкін. Ферродоксиннің тотықсыздануы вегетативтік клеткаларда CO_2 -ден пайда болып, гетероцисталарға түсетін органикалық заттардың тотығуы нәтижесінде жүреді. Олар мальтоза немесе басқа да қанттар болуы мүмкін. Бір жағынан вегетативтік клеткаларға молекулалық азоттың фиксациялануы нәтижесінде түзілетін азотты қосылыстар транспортталады (21-сурет).



21-сурет. (А) Гетероцисталар құрылымы және (Б) гетероциста мен вегетативті клеткалар арасындағы көміртекті мен азоттың алмасу схемасы : 1 — клетка қабырғасы; 2 — ЦПМ; 3 — фибриллярды қабат; 4 — гомогенді қабат; 5 — гетероцистер қабының пластикалық қабаты; 6 — микроплазмодесмалар; 7 — полярлы цианофицинді гранулдар; 8 — тилакоидтар; 9 — фикобилисомдар

Бұл қосылыс глутамат болуы мүмкін *A.Cylindrica* және басқа кейбір цианобактериялардың гетероцисталарындағы азотфиксациясын глюкоза, фруктоза, мальтоза, эритроза және пируват, изоцитрат, глиоксилат секілді изогендік субстраттар қамтамасыз ете алады. Гетероцисталарда NADPH, пируват және ферредоксин оксидоредуктаза (органикалық заттардың тотығуымен қатар жүретін ферредоксиннің тотықсыздануына қатысатын ферредоксин оксидоредуктаза) болады.

Цианобактериялар гетероцисталарында азот фиксациясын органикалық заттардан басқа электрон доноры ретінде молекулалық сутегі қамтамасыз ете алады. Осындай функцияны кейбір цианобактерияларда, әсіресе *N.muscorum*-да сульфид атқара алады. Гетероциста түзбейтін цианобактерияларда азот фиксациясы тек қараңғыда ғана емес, сонымен қатар жарықта да электрон доноры ретінде эндогендік және экзогендік органикалық заттарды пайдалану нәтижесінде жүруі мүмкін.

Мысалы, *Plectonema borianum*–да нитрогеназа активтілігі ортада глюкоза, рибоза, лактат болған жағдайда байқалады. Аэробты жағдайда молекулалық азотты фиксациялауға қабілетті бір клеткалы цианобактерияларда электрон доноры су болуы мүмкіндігі айтылған. Соңғы деректерге қарағанда бұндай микроорганизмдерде де азот фиксациясы барысында электрон доноры қызметін оларда фотосинтез нәтижесінде түзілетін органикалық заттар атқаратыны белгілі болды. Бұл периодты және үздіксіз жарықтандыру жағдайында болған *Synechococcus sp.* синхронды дақылдарымен жүргізілген тәжірибелер нәтижесінде анықталған. Екі жағдайда да оксигенді фотосинтез активтілігінде, азот фиксациясында клеткалардағы көміртегі мөлшерінде циклдік ауытқушылықтар байқалған. Осының барысында фотосинтез бен азот фиксациясы активтілігінің өзгерістері қарама-қарсы сипатта болды. Осылайша клеткалардың O_2 бөлуімен жүретін фотосинтез бен N_2 фиксациялануы уақыт бойынша ажыратылған болып шықты. Цианобактерияларда нитрогеназаның синтезіне молекулалық оттегіден басқа аммоний де тежегіш әсер көрсетеді. Осындай әсерді кейде нитраттар, глутамин, аспарагин де көрсетеді. Цианобактериялардың молекулалық азотты ассимиляциялауы олардың ортаға аммоний мен басқа да азотты қосылыстардың бөлуіне алып келеді. Әсіресе, ортаға аммонийді дерепрессияланған нитрогеназалы мутанттар көп бөледі.

1.5.6 Цианобактериялардың генетикасы

Цианобактериялардың оттегі бөлінуімен жүретін фотосинтез және азот фиксациясы сияқты процестерінің үйлесу қасиеті генетикалық зерттеулер үшін аса қызықтырарлық нысана болып табылады. Алайда генетика және гендік инженерия жұмыстарында цианобактериялар: аталған микроорганизмдердің таза дақылын бөліп алу мен өсіру, сұйық ортада клеткалардың гомогенді суспензиясын алу қиындылығына, баяу өсуіне, қатты ортада клондау мүмкінділігіне, тұрақты мутанттардың пайда болуының төмен жиілігіне, генетикалық өзгергіштігінің жиі жүруіне байланысты қиындықтар тудырады. Соған қарамастан цианобактериялардың генетикасын зерттеудегі бірқатар қиыншылықтар шешіліп, аталған саладағы жұмыстар қарқынды

жүруде. Генетикалық зерттеулер объектілері ретінде цианобактериялардың 10-нан аса туыс өкілдері қолданылады. Бір клеткалы цианобактериялар ішінде *Synechococcus*, *Synechocystis* туысы өкілдерімен, ал көп клеткалы формаларынан *Nostoc*, *Anabaena* туысы өкілдерімен көптеп жұмыстар жүргізілген. Әртүрлі әдістерді қолдану көптеген мутантты цианобактериялар түрлерін алуға мүмкіндік берді. Қолданылған мутагендер ішінде бірқатар цианобактериялар үшін нитрозогуанидин, нитрозометилмочевина секілді алкилдеуші агенттер эффективті болды. Ал басқа химиялық заттар мен ультракүлгін сәулелері және рентген көбінесе әлсіз әсер етеді. Соңғы уақыттарда цианобактериялардың тұрақты мутанттарын алу үшін оларды транспозондар көмегімен индукциялау шаралары іске асырылуда. Себебі транспозондар арқылы индукцияланған мутанттар гендерді клондау үшін тиімді болып табылады. Фотосинтез жүйесінде кемшіліктері бар цианобактериялардың мутанттарын алу аса үлкен мұқияттылықты талап етеді. Себебі олардың көпшілігі облигатты фототрофтар болып табылады. Сондықтан да фотосинтездеуші аппаратқа бағытталған мутациялар цианобактериялар үшін жиі летальді болып келеді. Бұл бағытта тек жарықта ғана емес қараңғыда да өсіп, фотосинтезден хемоорганогетеротрофияға көшуге қабілетті цианобактериялар түрлері тиімді болып табылады. Цианобактериялардың мутанттарының саны көп болуы осы организмдердің генін фенотиптік комплентация жолымен клондауға мүмкіндік береді. Ол үшін цианобактериялар гендерінің кітапханасы, атап айтқанда клеткаларында цианобактериялардың хромасомаларының фрагменттерінен тұратын векторлары бар *E. coli* клондарының коллекциялары жасақталуда. Мысалы, *S.elongatus* гендерінің космидтік библиотекасы құрастырылған. Бұл цианобактерия хромасомаларының фрагменттері *S.elongatus* және *E. coli*-да репликациялануға және *in vitro* жағдайында λ -фагының капсидіне бекінуге қабілетті векторға бекітілген. Цианобактерияларды басқа бактериялардың гетерологты зондтарын және химиялық синтезделген зондтарды пайдалану арқылы клондау әдістері дамуда.

Генетикалық анализ жүйесінің дамуының келесі шарты гендерді тасымалдаудың ыңғайлы жүйесінің, атап айтқанда трансдукция, конъюгация, трансформацияның болуы болып

табылады. Мысалыға, *Plectonema borianum* клеткаларының трансдукция нәтижесінде стрептомицинге төзімділік қабілеттілігіне ие болуы жайлы мәліметтер белгілі. Бұдан басқа цианобактериялар фагының трансдукциялануы жайлы деректер жоқ.

1970 жылы Шестаков МГУ-дың генетика және селекция кафедрасында антибиотиктерге төзімді маркерлерді қолдану нәтижесінде *S.elongatus 602* штамының трансформацияға қабілеттілігін анықтаған. Ары қарай трансформация басқа да бір клеткалы цианобактериялар формаларынан табылған. Бұл цианобактериялардың клондау жүйесін құру үшін аса маңызды болды. Алайда көп клеткалы формаларда трансформация әлі анықталған жоқ. Бірақ *Nostoc* және *Anabaena*-ның кейбір штамдарына плазмидалық ДНҚ, *E.coli*-ді челнокты вектор көмегімен конъюгация жолымен тасымалдау мүмкіншілігі көрсетілген.

Цианобактериялардың генін клондау барысында аралық қожайын ретінде жоғарыда айтылып өткендей *E. coli* жиі қолданылады. Сондықтан олардың цианобактерияларда экспрессиялануы маңызды мәселе болып табылады. Басқа жағынан цианобактериялар клеткаларында гендерді клондау барысында автономды репликацияланатын векторда орналасқан геннің гомологты рекомбинацияланудың жоғары жиілігіне байланысты хромосомаға бекініп, келесі манипуляциялар үшін қолданылмауы қиындықтар тудырады. Сондықтан рекомбинациясы бойынша дефектті цианобактериялар штамдарын алу жұмыстары қарқынды жүруде.

Цианобактериялар клеткаларында гендерді клондау техникасын жасақтау актуальді мәселе болып табылады. Себебі бұл организмдерді арзан қоректік ортада тек күн энергиясын қолдану есебінен өсіруге болады. Бұл оларды гендік инженерия үшін перспективті объект ретінде қарастыруға негіз береді.

ФОТОТРОФТЫ ЭУКАРИОТТЫ МИКРООРГАНИЗМДЕР

2. МИКРО БАЛДЫРЛАР ЖӘНЕ ӘРТҮРЛІ БАЛДЫРЛАР ҚАТАРЫНЫҢ МИКРОФОРМАЛАРЫ

Эукариотты фототрофты микроорганизмдер балдырлардың үлкен тобымен берілген, олар макроформалармен бірге (жай көзге көрінетін макрофиттер, талломдар немесе мүк қабаттылар) бірқатар топтарға бөлінеді. Латынша балдырлар *algae*. Сондықтан балдырларды зерттейтін ғылымды альгология деп, ал осы организмдерді зерттеушілерді – альгологтар деп атайды.

Таксономист-альгологтардың басым көпшілігі қабылдайтын балдырлардың ірі топтарға бөлінуінің бір жүйесі әлі жоқ. Жиі екінші жүйені қолданады. Соның біреуіне сай барлық балдырларды 10 бөлімге, екіншісіне сай – 13-15 класқа бөледі (кесте 1).

Басқа жүйелер олардан негізінен екі бөлімді немесе бірнеше класты бір бөлімге біріктіру бойынша ерекшеленеді. Мысалы, *Dinophyta* және *Cryptophyta* – жиі *Pyrrophyta* бөліміне, *Crysophyta* мен *Bacillariophyta* – *Crysophyta* бөліміне, II жүйедегі балдырлардың 2-10-шы класстарын - *Chromophyta* бөліміне біріктіреді. Жиі топтың таксономиялық иерархиядағы орны (рангы) ауыстырылады (класс немесе бөлім). Берілген кітапта совет альгологтарының көпшілігі ұстанатын бірінші жүйе қолданылады.

Кесте 1. Балдырлардың топтарға бөлінуінің екі негізгі жүйелері.

I (бөлімдер)	II (класстар)	қазақша атауы
1. Rhodophyta*	1. Rhodophyceae**	қызыл балдырлар
2. Dynophyta	2. Dynophyceae	динофитті
3. Cryptophyta	3. Chloromonadophyceae	балдырлар
4. Xantophyta	4. Cryptophyceae	хлоромонадалы
5. Crysophyta	5. Xantophyceae	балдырлар
6. Bacillariophyta	6. Eustigmatophyceae	криптофитті
7. Phaeophyta	7. Crysophyceae	балдырлар
8. Euglenophyta	8. Prymnesiophyceae	сары-жасыл
9. Chlorophyta	9. Bacillariophyceae	балдырлар
10. Charophyta	10. Phaeophyceae	эустигімді
	11. Euglenophyceae	балдырлар
	12. Chlorophyceae	алтын (сары)
	13. Prasinophyceae	балдырлар
	14. Charophyceae	примнезиялы
		балдырлар

		бациллярлы, немесе диатомды, балдырлар қоңыр балдырлар эвгленалы балдырлар жасыл балдырлар празинді балдырлар хара балдырлар
--	--	---

**Phyta* – аудармасы өсімдік деген мағынаны береді (*Rhodophyta* – қызыл өсімдіктер). Тура еместікті жөндеу үшін бөлімдерді жазған кезде *phycophyta* жалғауын қолдану ұсынылған балдырлар (*Rhodophycophyta* – қызыл балдырлар). Бірақ жазудың және айтудың үлкендігінен ол кең қолданысты таппады.

***Phyceae* – балдырлар классын ғылыми көрсету үшін ірі теңіз балдырларының бастапқы грек аты бойынша алынған (*Fucus* – грекше *phycos*).

Он бөлімнен қоңыр және хара балдырлары ғана макроформалармен берілген. Қалған сегіз бөлімнің (қызыл, динофитті, криптофитті, сары-жасыл, диатомды, эвгленалы және жасыл балдырлар) құрамында микроскоптық формалар бар. Криптофитті, диатомды және эвгленалы балдырлар түгелімен тек микроскопиялық формалармен берілген, жиі бір клеткалы организмдер. Жасыл, сары-жасыл және сары (золотистые) балдырларда микроскопиялық формалардың саны басым. Динофиттілер бөлімінде бірнеше аз, және қызыл балдырлар тобында аз (шамамен тек 10 туыс). Барлығы бірге бұл формалар микроскопиялық балдырлар тобын құрайды. Олардың клеткаларын тек микроскоппен ғана көруге болатындықтан, микробалдырлар деп атаймыз.

Микробалдырлар бактериялармен салыстырғанда үлкен. Олар басқа фототрофты организмдерден біршама ерте ашылды. Диатомды балдырлардың бірінші өкілін (*Bacillaria* туысы) 1786 жылы Нитшпен (Nitsch) сипаттаған. 1840 жылға қарай балдырлардың барлық сегіз бөлімінің өкілдері белгілі болды, ал өткен ғасырдың соңына қарай қазіргі уақытта көптеген белгілі балдырлар туыстарының сипатталуы аяқталды.

Қазіргі уақытта анықталған балдырлар саны фототрофты прокариоттар санынан көп есе асады. Тек диатомды балдырлар бөліміне шамамен 10 000 нақты түрлер кіреді, эвгленалылар арасында шамамен 1000 түр, 800 –дей сары-жасыл балдырлардың түрлері белгілі. Жасыл балдырлардың ішінде жақсы зерттелген *Chlamydomonas* туысында 500 астам түр бар.

Бірақ атап өту қажет, балдырлардың көптеген түрін сипаттау ботаниктермен жүргізілген. Ботаниктер оларды негізінен суқоймалардан алынған су сынамаларында зерттеген және осы организмдердің жинағыш дақылдарымен жұмыс істеген. Қазіргі уақытта балдырлардың аз пайызы ғана альгологиялық таза дақылдар түрінде (балдырлардың бір түрінің ұрпағы) зертхана жағдайында ұсталады. Барлық физиологиялық және биохимиялық зерттеулер жүргізілетін балдырлардың бактериальді таза (аксеникалық) дақылдарының саны одан да аз.

Әртүрлі бөлімдердің балдырлары өз клеткаларының кейбір компоненттерінің құрамы бойынша ерекшеленеді. Клетканың морфологиясы мен құрылысы балдырлардың кейбір бөлімдерінде ерекше байқалады, бірақ басқа бөлімдердің өкілдерінде ерекшеліктер аз байқалады. Сондықтан балдырлардың ірі топтарға (қызыл, динофитті, диатомды, жасыл) бөлінуі басынан бастап негізінен олардың биохимиялық құрамына, соның ішінде пигменттерге және қорлық көмірсулардың табиғатына негізделген. Клеткалардың морфологиясы мен құрылысы көмекші мағынаны береді (Кесте 2). Балдырлардың бөлім ішінде бөлінуі (класстан туысқа дейін), керісінше, жиі олардың морфологиялық құрылысына негізделді. Балдырлардың әртүрлі систематикалық топтары өкілдерінің көбею ерекшеліктеріне, даму циклдеріне, генетикалық аппараттың цитологиясына, липидтік және ферментативтік құрамына қатысты соңғы жылдардағы зерттеулер олардың таксономиясының бастапқы таңдап алынған критерийлермен корреляцияда екенін көрсетті. Бірақ балдырлардың нақты жүйесін жасау үшін басқа да белгілерді, бірінші кезекте цитологияның және ферменттік құрамның мәліметтерін есепке алу қажет. Кейбір физиологиялық-биохимиялық сипаттамалармен бірге цитоморфологиялық белгілер жеке түрлер арасында берік шекараны жүргізу үшін жеткілікті.

Бірақ атап өту қажет, балдырлардың көптеген түрін сипаттауды ботаниктер жүргізген. Ботаниктер оларды негізінен суқоймалардан алынған су сынамаларында зерттеген және осы организмдердің жинағыш дақылдарымен жұмыс істеген. Қазіргі уақытта балдырлардың аз пайызы ғана альгологиялық таза дақылдар түрінде (балдырлардың бір түрінің ұрпағы) зертхана жағдайында ұсталады. Барлық физиологиялық және биохимиялық зерттеулер жүргізілетін балдырлардың бактериалды таза (аксеникалық) дақылдарының саны одан да аз.

Әртүрлі бөлімдердің балдырлары өз клеткаларының кейбір компоненттерінің құрамы бойынша ерекшеленеді. Клетканың морфологиясы мен құрылысы балдырлардың кейбір бөлімдерінде ерекше байқалады, бірақ басқа бөлімдердің өкілдерінде ерекшеліктер аз байқалады. Сондықтан балдырлардың ірі топтарға (қызыл, динофитті, диатомды, жасыл) бөлінуі басынан бастап негізінен олардың биохимиялық құрамына, соның ішінде пигменттерге және қорлық көмірсулардың табиғатына негізделген. Клеткалардың морфологиясы мен құрылысы көмекші мағынаны береді (2-кесте). Балдырлардың бөлім ішінде бөлінуі (класстан туысқа дейін), керісінше, көбіне олардың морфологиялық құрылысына негізделді. Балдырлардың әртүрлі систематикалық топтары өкілдерінің көбею ерекшеліктеріне, даму циклдеріне, генетикалық аппараттың цитологиясына, липидтік және ферментативтік құрамына қатысты соңғы жылдардағы зерттеулер олардың таксономиясының бастапқы таңдап алынған критерийлермен корреляцияда екенін көрсетті. Бірақ балдырлардың нақты жүйесін жасау үшін басқа да белгілерді, бірінші кезекте цитологияның және ферменттік құрамның мәліметтерін есепке алу қажет. Кейбір физиологиялық-биохимиялық сипаттамалармен бірге цитоморфологиялық белгілер жеке түрлер арасында берік шекараны жүргізу үшін жеткілікті.

2-кесте. Балдырларды бөлімдерге бөлгенде есепке алынатын негізгі белгілер

* Балдырлардың микроскопиялық формаларына сипаттамалық белгілер келтірілген

** Бөлімдегі клеткалардың морфологиялық құрылысының басымдық көрсететін типі бөлінген

Балдырлар бөлімі	Морфологиялық құрылыстың типі	Клеткалық жабын	Талшықтар	Пигменттер				көмірсулар қоры
				Хлорофиллдер	Фикобилипротеиндер***	Каротиноидтер		
						Каротиндер	Ксантофилдер	
Қызыл	Коккоидты	Тегіс клеткалық қабықша немесе шырышты капсула	—	$a_1 \bar{f} d$	С-ФЦ (620) b-ФЭ (546, 565) АФЦ (652)	β-каротин	Зеаксантин, лютеин, β-криптоксантин	Қызыл
Динофитті	Монадалы-амебoidты	Тека	клетка бүйірінен 2 әртүрлі	$a_1 c_2$	—	β-каротин, Γ γ-каротин	Перидинин, диадино-ксантин, диноксантин, ас-таксантин (пирроксан-тин, диатоксантин, перидинин, пирроксантин)	Динофитті
Криптофитті	Монадалы	Перипласт	2 әртүрлі жұтқыншақта н шығады	$a_1 c_2$	ФЦ-615 (588, 615) ФЦ-630 (588, 630) ФЦ-645 (583, 645) ФЭ: 1-545, 2-555, 3-565 (566)	α-каротин, Γ β-каротин, сирек ε-каротин	Аллоксантин, крококсантин, монадоксантин	Криптофитті
Сарыжасыл	Амебoidты, монадалы		— —	— 2 әртүрлі клетканың жоғарғы жағында	$a_1 c_1 c_2$	—	β-каротин	

Алтын түсті (золотистые)	Амебодты, монадалы	клетка қабықшасы 2 бөліктен	—		—	β-каротин, α-каротин γ-каротин	Диадоксантин, диатоксантин, монадоксантин	Алтын түсті (золотистые)
Диатомды	Коккоидты	Жеке немесе панцирьге жиналған	1, 2 (сирек 3 немесе 4) әртүрлі клетканың жоғарғы бөлігінде	$a_1 c_1 c_2$		β-каротин	Фукоксантин, диато-ксантин, диадоксан-тин, эхиненон	Диатомды
Эвгленалы	Монадалы	Клетка қабықшасы	—	$a_1 b$	—	β-каротин, Γ α-каротин		Эвгленалы
Жасыл	Монадалы	Кремнийлі панцирь	—	$a_1 b$	—		Фукоксантин, диадино-ксантин, диатоксантин, неоксантин	Жасыл
	Коккоидты Жіпшелі	Пелликула	1 (+1 рудиментарл ы) жұтқыншақта н шығады		—	β-каротин, Γ α-каротин сирек γ- каротин	Зеаксантин, неоксан-тин, диадоксантин, диатокс-антин, (эхинеон, атаксан- тин)	
		Z Жоқ	2 (сирек 4) бірдей клетканың жоғарғы бөлігінде				Лютеин, виолоксантин, неоксантин, зеаксантин (антраксантин, атаксан-тин, кантаксантин, эхине-он)	
		немесе тегіс клеткалық қабықша	— —					

*** Жұтудың ұзын толқынды максимумдары көрсетіледі (ФЭ – фикоэритрия, ФЦ – фикоцианин, АФЦ - аллофикоцианин).

Ескертпе: Сызықша (–) клеткалық құрылыстың немесе пигменттердің болмауын білдіреді.

2.1 Қызыл балдырлар (*Rhodophyta*)

Микроскопиялық қызыл балдырлардың шамамен 10 туысы 22-суретте суреттелген. Белгілі туыстары: *Asterocysceae*, *Chroothese*, *Flintiella*, *Porphyridium*, *Rhodosorus*. Олардың барлығын *Bangiophyceae* класына, *Porphyridiales* қатарына жатқызады.

Құрылысы мен құрамы бойынша бұл балдырлар цианобактериялар мен қызыл балдырлар *Rhodophyta* (*Floridophyceae*) арасында аралық орын алады. Жеке формалармен немесе пішінсіз шырышты колониялармен берілген. Клеткалары домалақтан эллиптикалыққа дейін, даму циклінің барлық даму стадияларында коккоидтық құрылымға ие. Бір түрлерінде олар ригидті тегіс, қалың немесе жұқа, шырышты чехолмен қапталған, клетка қабықшасымен, басқаларында – жоғарғы молекулалы суда еритін полисахаридтерден тұратын қалың шырышты капсуламен қапталған. Хлоропласт біреу, ірі, шеттері иректелген. Түсі көктен қызылға дейін немесе пурпурлы. Пиреноидтары тереңде орналасқан, крахмалды, қабықшасыз, кейбір түрлерінде болмайды. Кейбір формаларға қозғалыстың сырғанау типі тән. Көбею бинарлы бөліну немесе апланоспораларды түзу арқылы жүреді. Жыныстық процесс болмайды. Фотоавтотрофты, ал кейбіреулері фотогетеротрофты және гетеротрофты жағдайларда өседі.

Тұщы су және теңіздік формалар. Құрлықтық формалар мен басқа балдырларға бекінетін эпифитті формалары да кездеседі.

Жақсы зерттелген туыстары, олардың ерекшеліктері. Танымал өкілдері

Porphyridium Ndg. – (5 түр) клеткалары домалақ немесе сопақша. Хлоропласт жұлдызша формалы, клетка ортасында орналасқан. *P. cruentum* (Gray) Ndg. (= *P. purpureum* (Bory) Drew, Ross). Дақыл пурпурлы түске ие. Клеткалар диаметрінде 6-10 мкм, шырышты чехолмен қапталған тегіс, жіңішке гомогенді қабықшамен жабылған. Дымқыл жерлерде, сондай-ақ тұщы және тұзды суқоймаларда кездеседі (22-сурет). *P. aerugineum* Geitler дақыл түсі көк-жасыл. Клеткалар диаметрінде 7-12 мкм, ригидті клеткалық қабақшасы жоқ және тек шырышты қабықпен қапталған. Формасыз шырышты колониялар түрінде кездеседі. Теңіздік форма.

Rhodella Evans – (4 түр) клеткалары домалақ. Хлоропласт көптеген бөліктерге кесілген, клетка перифериясында орналасқан. *R. maculata Evans* – клеткалары сфералы формалы, клеткалық қабықшасы болмайды және шырышты капсуламен қапталған. Клетка диаметрі капсуланы қосқанда 18-24 мкм, капсуласыз 8-11 мкм. Теңіздік түр.

Cyanidium Geitler бір түрімен *C. caldarium* (Tilden) Geitler - қозғалмайтын, жеке сфералы формалар, диаметрінде шамамен 3-8 мкм.

Бірқатар цитологиялық және физиологиялық белгілері бойынша *Porphyridiales* қатарының өкілдерінен ерекшеленеді. Клетка қабықшасы қалың (30-40 нм), үш қабатты. Пиреноид анықталмаған. Ядро мен ірі табақша тәрізді хлоропласттан басқа клеткада бір ғана митохондрия мен рибосомалар табылған (23-сурет). Пигменттерден тек хлорофилл *a*, фикоцинин, β -каротин, зеаксантин бар, сирек лютеин және виолоксантин болады. Кейбір штамдарда қорлық өнім гликоген тәрізді полисахарид, басқаларында – крахмал. Автоспоралар арқылы көбейеді, әр клеткада 4-16-дан. Тұщы сулық, термо-ацидофильді түр.

2.8 Микроскопиялық жасыл балдырлар (*Chlorophyta*)

Жасыл микробалдырлар - формалары монадалы, коккалы немесе сирек жіпше құрылысты. Жеке, кейде колониальді, сирек көп клеткалы. Жалаңаш немесе клетка қабықшасымен қапталған. Хлоропласт біреу немесе бірнешеу, шөп-жасыл түсті. Ламеллярлық жүйе дән тәрізді құрылысқа ие. Пиреноид тереңдетілген, крахмалды қаппен қоршалған, хлоропласт ішінде орналасқан. Түссіз формалар аз. Көптеген түрлер жарықта витаминдердің қосылуын қажет етпей қарапайым минералды орталарда өседі. Облигатты фототрофтар аз. Түрлердің бір бөлігі фотогетеротрофты және қараңғыда гетеротрофты жағдайларда өсе алады. Негізінен тұщы сулық, сирек теңіздік және галофильді формалар.

1. Класс *Volvocophyceae* (вольвокстылар) – құрамына жеке, сирек денесі монадалы құрылысты колониальді формалар кіреді. Клеткалар формасы домалақ немесе алмұрт тәрізді, сирек өрілген немесе тығындалған. Жалаңаш немесе клетка қабықшасы бар. Көптеген формаларда алдыңғы ұшында – сипатты түссіз бүршік папилла болады. Одан морфологиялық бірдей екі (сирек төрт) жалаңаш талшық шығады. Хлоропласт біреу немесе екі, сирек бірнеше. Клетканың алдыңғы ұшында талшықтардың негізінде 2-4 жиырылғыш вакуоль болады (галофильді формаларда болмайды). Хлоропластардың бірінде, жоғары ұшында стигма болады. Жыныстық процесс гологамды немесе изогамды (сирек анизо- немесе оогамды) типті (30-сурет).

2. Класс *Protococophyceae*^{**} (протококколалар) – негізінен вегетативті клеткаларының денесі коккоидты құрылыспен сипатталатын формаларды біріктіреді. Жеке, ценобиальді немесе колониальді формалар. Клетка қабықшасы өте берік, қалың немесе жұқа, тегіс немесе құрастырылған, жиі табиғаты целлюлозды. Спора түзу арқылы көбейеді (зоо- немесе автоспоралар). Жыныстық процесс изогамды типті, көп емес түрлерде сипатталған. Тұщы сулық және топырақтық формалар басым. Омыртқасыз жануарлармен (зоохлорелла)

симбиозда тіршілік ететін түрлер белгілі. Кейбіреулері лишайниктердің фикобионттары болып табылады (31-сурет. I).

3. Класс *Ulothricophyceae* (улотрикстылар) – құрамына дене құрылысы жіпшелі формалар кіреді. Жіпшелер бір ядролы, тарамдалмаған, екі-төрт клеткадан тұрады, коккоидты құрылысты. Көптеген микроскопиялық формаларда тізбектер тек қатты орталарда түзіледі. Сұйық орталарда бірклеткалы формалар түрінде өседі. Қозғалмайды. Көлденең бағытта бинарлық бөліну арқылы көбейеді. Талшықты гаметаларды түзе жүретін жыныстық процесс жеке түрлерде сипатталған. Негізінен құрлықтық және қарда өсетін формалар. Тұщы сулық планктонды түрлер белгілі (32-сурет).

4. Класс. *Conjugatophyceae* (конъюгаттар) – протококкты балдырлардан бірден көзге түсетін, қатар белгілері бойынша ерекшеленетін денесі коккалы құрылысты ірі формаларды біріктіреді. Бір клеткалы, сирек жеңіл ыдырайтын жіпшелер немесе шырышты колониялар (32-сурет, II). Талшықты сатысы болмайды. Көбею негізінен бинарлы бөліну арқылы жүреді. Жынастық процесс – конъюгация, әдетте клетка санының көбеюімен байланысты емес, жағымсыз жағдайда бақыланады. Тұщы су, жиі бентостық формалар басым. Көбі перифитон құрамына кіреді: планктонды және топырақтық формалар бар.

Mesotaeniales қатары (мезотениялылар) – жеке, сирек шырышты колониялар түріндегі формалар. Клеткалар цилиндрлі немесе ұршық тәрізді, тік немесе әлсіз иілген. Клетка қабықшалары тегіс, саңылаусыз, үш қабатты. Хлоропласт бір немесе екі, пішіні бойынша әртүрлі туыстардың өкілдерінде айрықша болады. Пиреноиды 1 немесе бірнеше. Формалар қозғалмайтын. Зиготалар сипатты, шар тәрізділерден 3 немесе 8-бұрыштыларға дейін. Төрт өскінмен өнеді. Кейбір түрлері қарда және мұзда өседі.

Desmidiaceae қатары (десмидиялылар) жеке немесе қысқа тізбектерде орналасқан. Клеткалар ірі, құрылысы күрделі, жиі полисимметриялы. Бір-бірімен аралық арқылы байланысқан екі бірдей жарты клеткадан тұрады. Клетка қабықшалары әртүрлі өсінділермен өрнектелген, қалың, 2-3 қабатты, саңылаулармен тесілген. Хлоропластар әр жарты клеткада бір-бірден, ядро аралықта орналасады. Зиготалар екі өскінмен өнеді. Қозғалыс саңылаудан бөлінген шырышпен байланысты.

Жақсы зерттелген туыстары, олардың ерекшеліктері. Танымал өкілдері

Dunaliella Teod. (40 түр) – бір клеткалы, вегетативтік күйдегі түрлер қозғалмалы. Клетка формасы әртүрлі, жиі овальді, эллипс тәрізді, жұмыртқа тәрізді немесе алмұрт тәрізді, жеңіл өзгереді. Арнайы клетка қабықшалары болмайды. Жағымды жағдайларда қозғалыс күйінде

ұзыннан бөліну арқылы көбейеді. Жағымсыз жағдайларда пальмеллалар түзеді. Жыныстық процесс гологамды типті. Кейбір түрлер гетероталломды. Зиготалар өнгенде 1-ден 32-ке дейін клеткалар түзіледі. Облигатты фототрофтар, галофильді, теңіздік және тұщы сулық формалары болады. *D.salina* Teod (5-29x3,8-20,3 мкм), *D.tertiolecta* Butcher (5-18x4,5-14 мкм), *D.lateralis* Pasch et. Janoda (7-11x4-6 мкм).

Spermatozopsis Korsik (1 түр) - өзгеше өте созылған, орақ тәрізді, төрт талшықты жалаңаш монадалы. Тұщы су формалары. *S.exultans Korsik* (ұзындығы 10 мкм дейін).

Chlamydomonas Ehr (шамамен 500 түр) – жеке, тығыз тегіс, жиі шырыштанатын клетка қабықшасымен қапталған формалар. Клетка формалары сопақша немесе эллипсоидты. Ішкі құрылысы алдыңғы туыстағыдай. Спора түзу арқылы көбейеді (2ⁿ-зооспора). Жыныстық процесс изогамды (сирек гетерогамды) типті. Көптеген түрлер гетероталломды. Формалар негізінен тұщы сулық. Еркін жүзетін формалар басым, сондай-ақ бекінетін формалар да бар. *C.reinhardtii* Dang. (8-14x12-22 мкм)

Carteria Dies. (60 түр) – *Chlamydomonas* туысынан ерекшелігі төрт талшығы бар. Теңіздік және тұщы сулық формалар. *C.crucifera* Korsik (27-17 мкм)

Polytoma Ehr. (15 түр) – *Chlamydomonas* туысының өкілдерінен пигменттің болмауымен ерекшеленеді. *P.papillatum* Pasch. (12-20x9-13 мкм).

Haematococcus Agardh (5 түр) – жеке, еркін жүзетін, тұщы су формалары. Клеткалар эллипс тәрізді немесе жұмыртқа тәрізді. Клетка қабықшасының ішкі қабаты кең, шырышталған, сыртқысы қатты сығылысу арқылы цитоплазмамен қосылған. Вегетативті клеткалар мен зиготалар атаксантин көп болғандықтан қызыл түсті. *H.pluvialis* Flotow (63-51 мкм)

Lobomonas Dang. (20 түр) – клетка беті өсімділермен жабылған, олардың формасы әр түрлерде ерекше. *L.stellata* Chodat (13-22x9-18 мкм)

Pteromonas Seligo (20 түр) – жеке формалар. Клетка қабықшасы екі створкалы, кремнеземмен сіңдірілген, жиі қанат тәрізді өсімділерімен. *P.angulosa* (Carter) Lemm. (13-17x9-20 мкм)

Phacotus Perty (12 түр) – жеке, екі талшықты, линза тәрізді формалар. Екі жармалы, кальциймен немесе темір тұздарымен сіңдірілген панцирьмен жабылған. Панцирь құрылысы екі бір-біріне беттестірілген сағаттық әйнекті еске түсіреді. *P.lenticularis* Ehr. (13-20 мкм).

Platymonas West (~ 10 түрмен) – бір клеткалы формалар. Клеткалары жалпақтанған, билатериальді-симметриялы. Клетка қабықшасы (туника) екі қабатты, күрделі құрылысы жоқ. Клеткалар салыстырмалы

туниканың ішіне қарай еркін тереңдетілген. Талшықтар (4) майда органикалық талшықтармен қапталған апикальді ұштағы клетка қабықшасындағы тесіктен шығады. Спора түзу арқылы көбейеді. Теңіздік, сирек тұщы сулық формалар болып келеді. *P.viridis* Rauch. (7-9x11-13 мкм).

*Pyramyomonas** Schmar. (70 түр) – бір клеткалы, еркін жүзетін формалар. Клеткалар кері жұмыртқа тәрізді формалы беті қабырғалы, көлденең кесіндісінде төртбұрышты, клетка қабықшасы болмайды. Талшықтар (4) клетканың алдыңғы ұшындағы тесіктен шығады, органикалық қабыршақтармен жабылған. Бинарлы бөліну арқылы көбейеді. Жыныстық процесс жағымсыз жағдайларда қозғалмалы гаметалар түзумен байланысты. Теңіздік және тұщы сулық формалар. *P.tetrarhynchus* Schmar. (12-18x20-28 мкм)

Chlorococcum Meneghini (20 түр) – жеке немесе шырышты колониялар түрінде болады. Клеткалар домалақ немесе сопақша. Автоспоралармен немесе зооспоралармен көбейеді. Соңғылар өзінің құрылысымен вольвоксты балдырларға жақын. Хлоропласт біреу, статикалық вакуольдер 1-2. Жыныстық процесс белгісіз. *C.botryoides* Rab. (диаметрінде 4-12 мкм).

Chlorella Beijerinck (12 түр) – жеке формалар. Клеткалар шар тәрізді немесе эллипс тәрізді, жұқа немесе қалың тегіс клетка қабықшасымен қапталады. *C.vulgaris* Beijer. (5-10 мкм)

Oocystis Ндг. (20 түр) – жеке формалар. Клеткалар сопақша, эллипс тәрізді немесе лимон тәрізді болып келеді. Клетка қабықшасы полюстарында қалыңдаған. Автоспоралармен көбейеді. Теңіздік формалар көп. *O.solitaria* Wittr. (14-25x6-18 мкм).

Lagerheimia Chod. (10 түр) – домалақ немесе сопақша клеткалар. Полюстарында немесе экваторында ұзын шип тәрізді өсінділер болады. *L.genevensis* Chod. (8-10x3-4,5 мкм)

Tetraldron Kütz. (50 түрден астам) – үш-, төрт- немесе бесбұрышты клеткалар, жиі ұштарында ұзын өсінділерімен. Қабықша тегіс немесе мүсінделген. *T.caudatum* (Corda) Hansg. (қалыңдығы 13-23 мкм, 3 мкм дейін шиптары)

Kirchneriella Schmidle (9 түр) – клеткалар майда, орақ тәрізді, орамалы колонияларға біріктірілген. *K.lunaris* (Kirch.) Moebius (3-5x6-10 мкм)

Ankistrodesmus Corda (5 түр) – клеткалары ине немесе жіңішке ұршық тәрізді, түзу немесе иілген. Ұзындығы енінен біраз есе үлкен. Жеке немесе бір-бірімен клетканың орталық бөлігінде шырышсыз жиынтыққа біріктірілген. *A.falcatus* (Corda) Ralfs (1,5-7 мкм)

Scenedesmus Meyen (100 түрден астам) – ценобиальді формалар. Ценобии бір қатарлы, сирек екі қатарлы. Клеткалар ірі, эллипс тәрізді

немесе ұршық тәрізді, бүйір қабырғаларымен біріктірілген. Клеткалық қабықшасы тегіс немесе өсінділері болады. Сыртқы клеткалардың архитектурасы ортаңғыларынан ерекше. Қыздық ценобиаларға ұйымдасқан автоспоралармен көбейеді. *S.quadricauda* (Turp.) Breb. (8-42x3-15 мкм). *S.obliquus* (Turp.) Kütz. (3-35x2,5-10 мкм) – басқа түрлерге қарағанда ценобиидің түзілуі регулярлы емес. Оптималды жағдайларда апланоспоралармен көбейеді. Ортада азот жетіспеген кезде жыныстық процесстің изогамды типі және қозғалмалы зооспоралар көмегімен жыныссыз көбею сипатталған.

Stichococcus Ndg. (15 түр) – клеткалар цилиндрлі формалы домаланған ұштарымен және жұқа клетка қабықшасымен қапталады. Мөлшері ұзындығында 6-8 мкм-нен және енінде 2-4 мкм, негізінен топырақты формалар. *S.bacillaris* Ndg. (2-4x6-8 мкм)

Rhaphidonema Lagerh. (3 түр) – клеткалар түзу немесе азғана иілген, ұштарында жіңішкереді. Егер клеткалар бөліну кезінде ажырап кетпесе, онда олар қысқа тізбектер түзеді. Топырақта, қарда және мұздарда кездеседі. *R.nivale Lagerh.*

Koliella Hindak (17 түр) – морфологиялық жағынан алдыңғы туысқа ұқсас. Жыныстық процесс оогамия түрінде. Планктонды түрлер. *K.longiseta* (Vischer) Hindak (45-50x3-4 мкм)

Mesotaenium Ndg (10 түр) – жеке немесе шырышты колонияларда орналасқан. Клеткалар цилиндрлі немесе ұштары домаланған эллипс тәрізді. Хлоропласт біреу, пластинкалы, ості, екі пиреноиды бар. *M.endlicherianum* Ndg. (25-50x7-12 мкм).

Spyrotaenia Breb. (30 түр) – клеткалар ұршық тәрізді, ленталы, қабырғалы, спиральді қоршалған хлоропласты болады. *S.obscura Ralfs* (70x15 мкм).

Cylindrocystis Meneghini (4 түр) – клеткалар цилиндрлі немесе эллипс тәрізді, полюстарында жіңішкеретін, домаланған ұштары бар. Ұзындығы енінен 2-3 есе артық. Хлоропласт (2) жұлдызшалы формалы. *C.brevissoni Menegh.* (30-87x14-35 мкм).

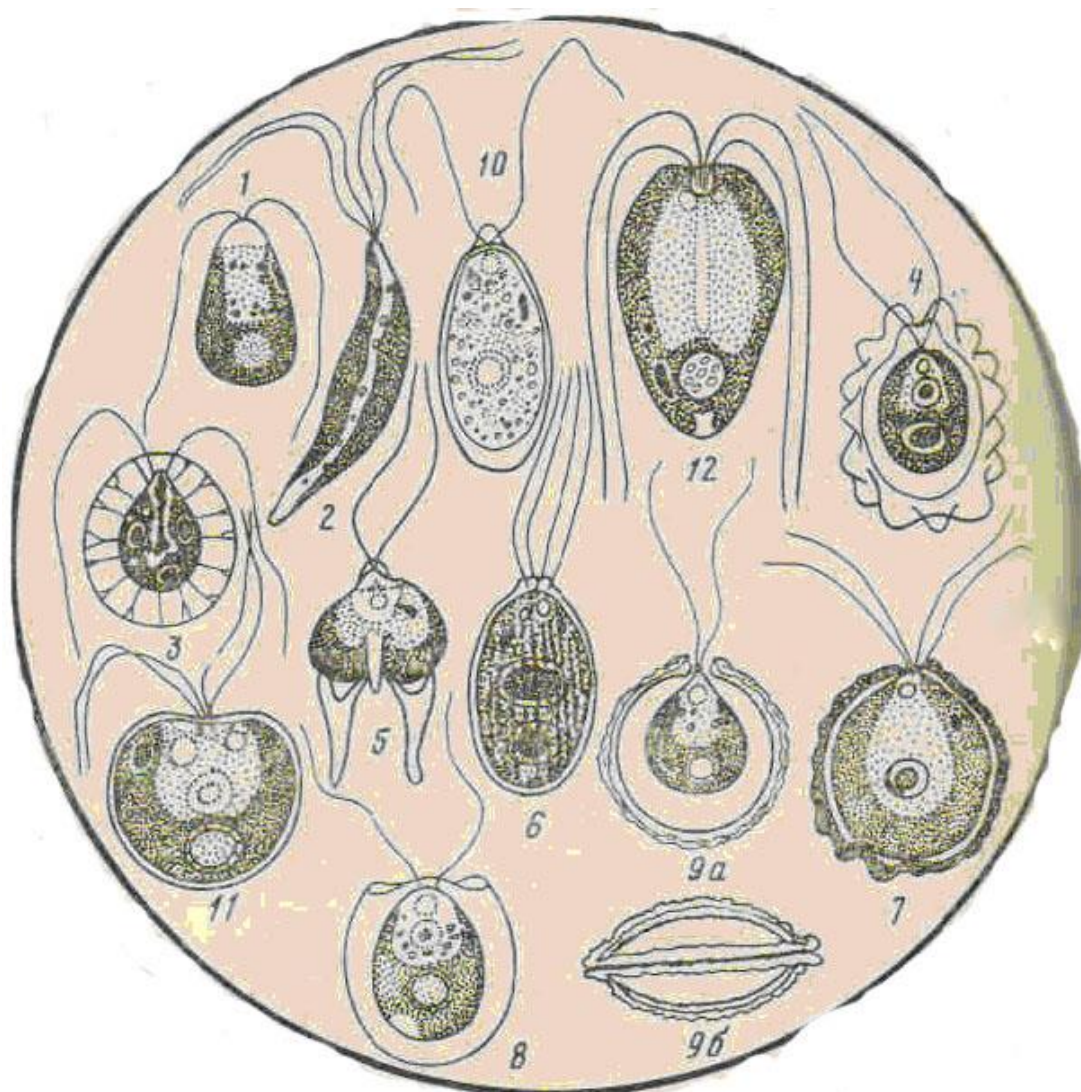
Cosmarium Corda (1000 түрден астам) – клеткалар жалпақ, ұзындығы енінен үлкен. Аралық жарты клеткалардан жіңішкерек. Екі жарты клетка, формасы және тереңдігі әртүрлі, бөлшектерге бөлінген. Клетка жабындыларының архитектурасы маңызды систематикалық белгі болып табылады. *C.natansum Nordst.* (38-27 мкм),

Micrasterias Agardh. (28 түр) – клеткалары домалақ немесе сопақшатәрізді болады. Аралық жарты клеткадан жіңішкерек. Әр жарты клетка үш негізгі бөлікке бөлінген, бүйірліктері өз кезегінде тісшелер мен инелербен безендірілген жіңішке немесе жалпақ бөліктерге бөлінген болуы мүмкін. *M.papillifera Breb.* (58x60 мкм).

Closterium Nitzsch. (30 түрден астам) – клеткалар тік немесе орақ тәрізді иілген, шеттерінде жіңішкерген. Бөліктерге бөлінбеген. Аралық ені жарты клеткалардың еніне тең. *C.venus* Kütz. (ұзындығы 50 мкм дейін).

Penium Breb. (9 түр) – клеткалар цилиндрлі немесе эллипс тәрізді. Жарты клеткалардың ені аралық еніне тең немесе азғана жіңішке. *P.exiguum* W. West (6-8x18-37 мкм).

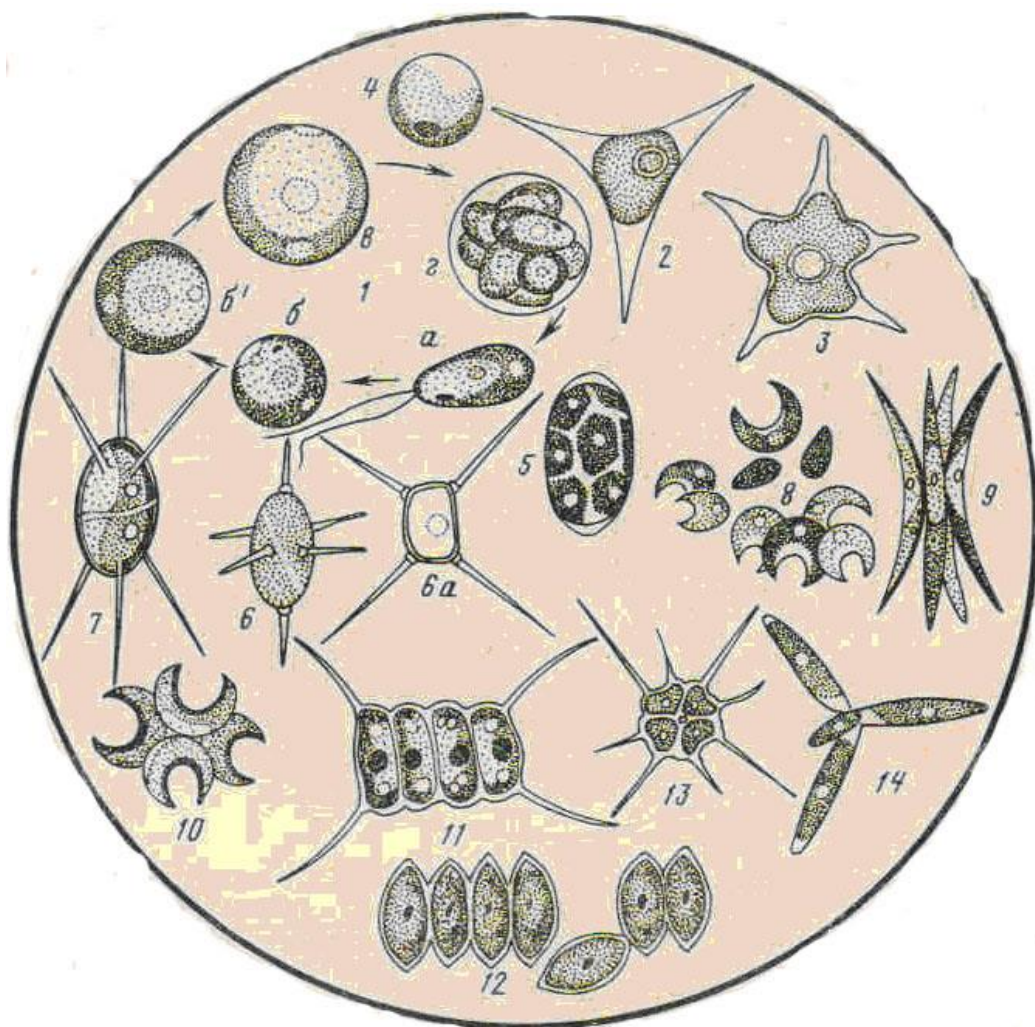
Piatomonas және *Pyramimonas* туысының өкілдері өздерінің морфологиялық қасиеттері, ультрақұрылысының ерекшеліктері мен бірқатар биохимиялық белгілері бойынша басқа талшықты жасыл балдырлардан ерекшеленеді. Оларды жасыл балдырлар құрамынан шығарып, басқа бірнеше туыстармен бірге жеке *Prasinophyceae* класына бөлуді ұсынады (3 кесте).



30-сурет. Вольвоксты балдырлар:

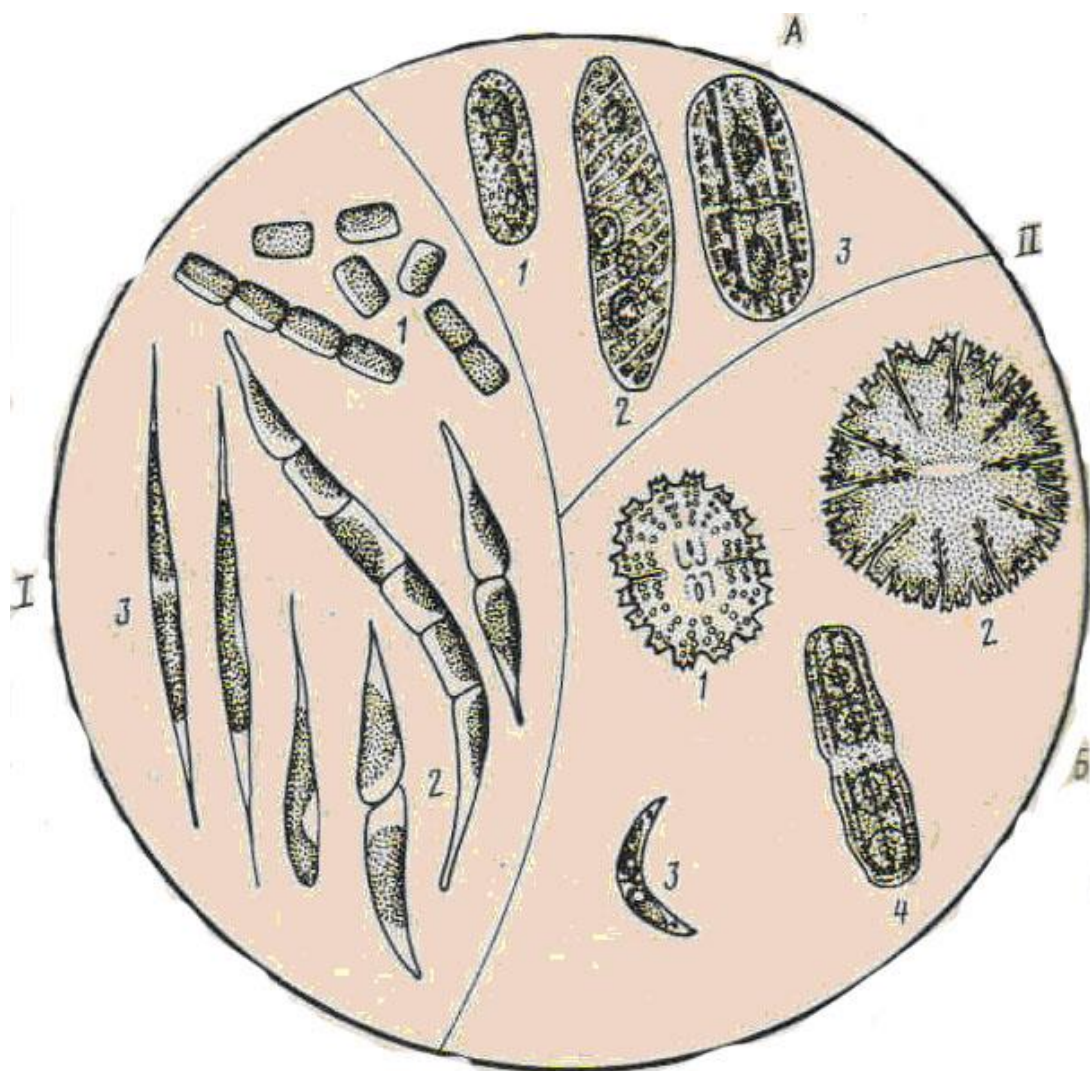
1 – *Dunaliella salina*, 2 – *Spermatozopsis exsultans*, 3 – *Haematococcus pluvialis*, 4 – *Lobomonas stellata*, 5 – *Furcilla bicaudata*, 6 – *Carteria crucifera*, 7 – *Pedinopera robusta*, 8 – *Pteromonas angulosa*, 9 – *Phacotus lenticularis* (а – алдыңғы көрініс, б – төменгі), 10 – *Polytoma papillatum*, 11 – *Platymonas cordiformis*, 12 – *Pyramimonas tetraarhynchus* (Fott, 1971)

** Қазіргі уақытта оларды жиі хлорококкалы балдырлар деп атайды (*Chlorococcales* қатары, *Chlorophyceae* туысы).



31-сурет. Протококты балдырлар:

1 – *Chlorococcum* sp. (даму циклы: а – зооспора, б және б¹ – жас вегетативті клеткалар, в – дамыған клетка, г – спора түзілу), 2 – *Treubaria triappendiculata*, 3 – *Tetradron caudatum*, 4 – *Chlorella vulgaris*, 5 – *Oocystis solitaria*, 6 – *Lagerheimia minor*, 6а – *L. genevensis*, 7 – *Chodatella subsalsa*, 8 – *Kirchneriella lunaris*, 9 – *Ankistrodesmus falcatus*, 10 – *Selenastrum bibraianum*, 11 – *Scenedesmus quadricauda*, 12 – *S. Obliquus*, 13 – *Tetrastrum heteracanthum*, 14 – *Actinastrum hantzschii* (Fott, 1971; Жизнь растений, 1977)



32-сурет. Улотриксты балдырлар (Fott, 1971):
 1 – *Stichococcus bacillaris*, 2 – *Raphidonema nivale*, 3 – *Koliella longiseta*,
 II. – конъюгаттар (Fott, 1971); А – мезокөлеңкелі балдырлар: 1 – *Mesotaenium endlicherianum*, 2 – *Spirotaenia obscura*, 3 – *Cylindrocystis brebissonii*; Б – десмидиялы балдырлар: 1 – *Cosmarium nasutum*, 2 – *Micrasterias papillifera*, 3 – *Clostridium venus*, 4 – *Penium exiguum*

Chlorella туысының мысалында көрсетілген балдырлардың клетка морфологиясына негізделген таксономиялық бөлінуі серологиялық айырмашылықтарға, инфрақызыл спектрдің сипатына және бірқатар басқа белгілерге негізделген бөлінумен сәйкес келеді. Түр ішінде штамдық айырмашылықтарды анықтау үшін цитоморфологиялық белгілерден басқа, сондай-ақ көміртегі көздеріне және ортаның басқа да компоненттеріне қатысы, олардың ДНҚ гомологиясы бойынша мәліметтері, сыртқы әсерлерге, паразиттер мен фагтарға және т.б. тұрақтылық есепке алынады. Балдырлар систематикасы негізделген

цитоморфологиялық белгілер әртүрлі бөлімдер ішінде ерекшеленуі мүмкін. Балдырлар арасында түссіз, пигменттері жойылған формалар өте көп. Өздерінің цитоморфологиялық белгілері бойынша олар кейбір фототрофты түрлерге ұқсас және оларға жақын систематикалық орынды алады.

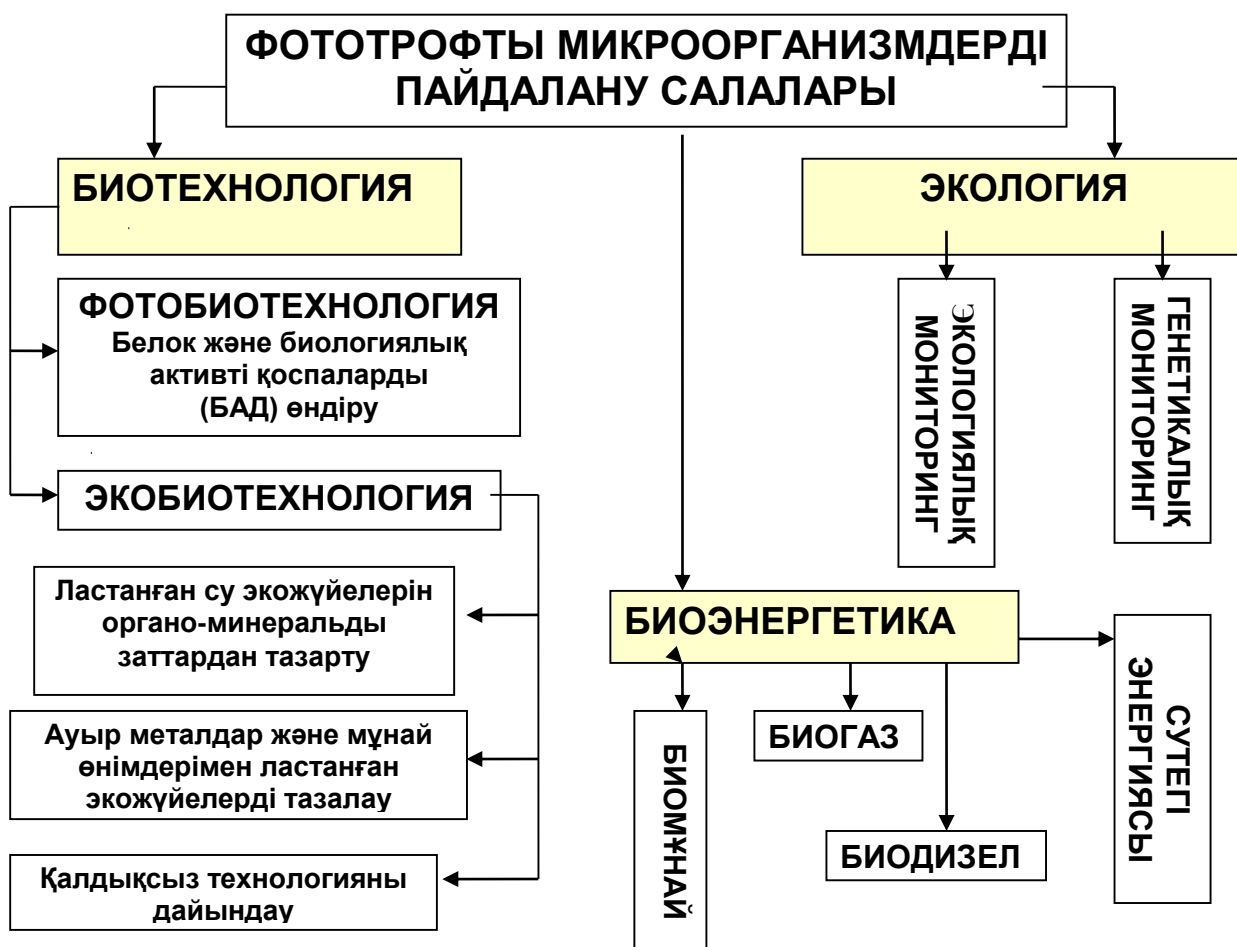
Цитируемая литература

1. Кондратьева Е.Н., Максимова И.В., Самуилов В.Д. Фототрофные микроорганизмы Издательство МГУ Москва 1989, 376с.
2. Голлербах М.М, Коссинская Е.К., Полянский В.И. Определитель пресноводных водорослей СССР// Синезеленые водоросли М., 1953. 652 с.
3. Голлербах М.М., Штина Э.А. Почвенные водоросли// JL: Наука, 1969. -228 с.
4. Громов'Б.В. Ультраструктура синезеленых водорослей. Л., «Наука», 1976. -91 с.
5. Гусев М.В., Никитина К.А. Цианобактерии. М.: Наука, 1979. — 227 с.
6. Кондратьева Е. Н. Автотрофные прокариоты. М.: МГУ, 1996. 312 с.
7. Н. В. Карапетян. Фотосистема 1 цианобактерий: организация и функции, успехи биологической химии, т. 41, 2001, с. 39—76.
8. А.Г. Пауков, А.Ю. Тептина, Н.А. Кутлунина, А.С. Шахматов, Е. В. Павловский Водоросли: Цианобактерии, красные, зеленые и харовые водоросли : учеб.-метод. пособие Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2017. — 204 с.
9. Ископаемые известковые водоросли (морфология, систематика, методы изучения) / Чувашов Б.И., Лучинина В.А., Шуйский В.П. и др. – Новосибирск: Наука, 1987. – 224 с.
10. Масюк Н.П. Эволюционные аспекты морфологии эукариотических водорослей. – Киев, 1993. – 233 с.
11. Герасименко, Л.М. Цианобактерии, циано - бактериальные сообщества, маты, биопленки / Л.М. Герасименко, Г.Т. Ушатинская / Под ред. А.Ю. Розанова // Бактериальная палеонтология. — М.: ПИН РАН. - 2002 а. -С. 36-47.

II БӨЛІМ

БИОТЕХНОЛОГИЯ ЖӘНЕ БИОЭНЕРГЕТИКАДА МАҢЫЗДЫ ФОТОТРОФТЫ МИКРООРГАНИЗМДЕР

Қазіргі кезде фототрофты микроорганизмдер әртүрлі өндіріс салаларында қолданылады. Сондықтан олар биотехнологияда және экологияда өте маңызды биообъект болып табылады (33-сурет).



33-сурет. Фототрофты микроорганизмдерді пайдалану салалары

2.1 Микробалдырларды практикада пайдаланудың маңызы және кейбір ерекшеліктері

Фармацевтика және тамақ өнеркәсібі үшін шикізат ретінде қолданылатын фототрофты микроорганизмдердің жоғары потенциалының негізінде олардың өте күрделі метаболизмі жатыр, ол түрлердің қоршаған орта жағдайларының күрт өзгерісіне бейімделуін және биосферада кең таралуын қамтамасыз етеді. Тағам өнімдерінің маңызды продуценттеріне 25 тен астам жасыл микробалдырлар мен 8 цианобактерия жатады. Дақылдау жағдайларына байланысты хлорелла, сценедесмус және дуналиелла сияқты жасыл микробалдырлардың биомассасы 8-58% ақуыз, 6-37% көмірсулар және 4-85% майлардан құралады.

Ерекше биологиялық құрамы, үлкен энергетикалық сыйымдылығы, антиоксиданттық қасиеттері және иммундық жүйенің белсенділігін ынталандыру қабілеті, құнды өсімдіктес микроскопиялық организмдерді, табиғи емдік дәрілер санатының қатарына қосады. Әлемнің барлық елдерінде тікелей тұтынуға рұқсат етілген түрлердің тізіміне мыналар кіреді: *Arthrospira platensis*, *A. maxima*, *Chlorella vulgaris*, *C. pyrenoidosa*, *C. sorokiniana*, *Dunaliella salina*, *Haematococcus pluvialis*.

Оңтүстік-Шығыс Азия елдерінде - *Nostoc Pruniforme*, АҚШ - та - *Aphanizomenon flosaquae*, Жапонияда - *Pleurochrysis carterae*, Францияда - *Odontella aurita* тұтынуға рұқсат етілген. Сонымен қатар, АҚШ-та "балдыр майы" (полиқаньқпаған май қышқылдарының концентраты) өндіру үшін *Porphyridium cruentum*, *Cryptocodinium cohnii*, *Schizochitrium sp.* пайдалануға рұқсат етілген [27, 63, 55, 41]. *Arthrospira*-ның ең ірі өндірушілері - қытайлық Hainan Simai Enterprising компаниясы және американдық Earthrise Farms және Cyanotech Co., Ltd. жылына 200 тоннаға дейін микробалдырлардың биомассасын өндіреді. Сонымен қатар, артроспира Үндістанда, Израильде, Италияда, Бразилияда, Таиландта, Мьянмада, Вьетнамда өсіріледі [12, 44, 55, 67].

Кесте 1 - Микробалдырлардың биомассасының және ақуыз өндірушісі – соя тұқымының салыстырмалы түрдегі химиялық құрамы

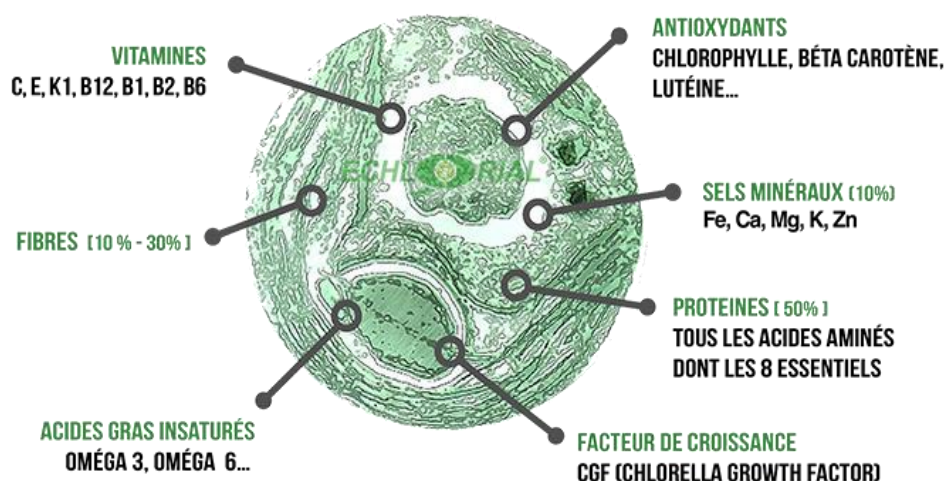
Құрамы	Жасыл	балдырлар	Көк-жасыл (<i>Spirulina</i>)	Соя тұқымы
	<i>Chlorella</i>	<i>Scenedesmus</i>		
Ақуыз, %	35-55	22-56	58-65	34-60
Май, %	до 7-10	12-24	3-7	16-20
Көмірсу, %	до 30	10-17	16-18	19-35
Жасунық, %	до 3	3-10	0,2-0,7	3-5
Күл, %	до 7-12	6-13	8-10	X

Пепсинмен қорытылуы, %	до 18,1	X	70,03	x
Биомассаның тағамдық құндылығы (ылғалдылығы 8%)	1,17	X	x	X
Ақуыздардың салыстырмалы тағамдық құндылығы (казеинмен салыстырғанда), %	x	52,0	58,0	60,0
Бета-каротин, мг/кг	600-700	X	7000-10000*	1500-1700*
Хлорофилл, мг/кг	8000-15000	до 20000	8000-10000	-
Фикоцианин, мг/кг	-	-	14,0	-
Витамины: В ₁ (тиамин), мг/кг	10-30	X	25-45	35-55
В ₆ (пиридоксин), мг/кг	3-4	X	4-5	2-3
В ₁₂ (цианкобаламин), мг/кг	x	X	5,0-7,0	1,5-2,0
С (жа4а биомассада), мг/кг	1200-3500	X	3000-5000	-
Е (токоферол), мг/кг	150-200	X	180-250	160-200
Биотин (Н)), мг/кг	1,0-2.0	-	-	0,3-0,5
Пантотен қышқылы), мг/кг	-	-	-	10-12
Фолий қышқылы), мг/кг	1,5-3,0	-	0,9-1,0	0,3-0,5
Гамма-линолен қышқылы), мг/кг	-	-	1000	-

Алайда, осыған қарамастан, цианобактериялар мен микробалдырлар өндіретін БАЗ анықтау бойынша елеулі зерттеулер XX ғасырдың 80-ші жылдарының басында биоорганикалық химиядағы физика - химиялық талдаудың жаңа әдістерінің пайда болуынан бастау алады [8]. Сол себепті олардың көпшілігі әлі күнге дейін зертханалық жануарларға жүргізілетін *in vitro* немесе *in vivo* жүйелеріндегі сығындылардың бөлігі ретінде ғана

зерттелген. Мысалы, БАЗ физиологиялық әсерінің химиялық табиғаты мен молекулалық-жасушалық механизмдері анықталғанымен, олар әлі күнге дейін тек перспективалық санат қатарында қалуда. Дәрі-дәрмектер мен тамақ өнімдерін өндіруде қолданылатын синтетикалық БАЗ –ды барынша табиғи түрге ауыстыру қажеттілігіне қарамастан, көптеген елдерде (Жапонияны қоспағанда) ғылыми-зерттеу мекемелері мен фармацевтика өнеркәсібі арасындағы қашықтық баяу түрде қысқаруда [9].

Chlorella -ақуыздардың белсенді өндірушісі болып есептеледі. Егер бидайда ақуыз заттарына тек 12% - ы тиесілі болса, онда хлореллада олар шамамен 50% құрайды, бұл бұршақ дақылдарынан екі есе көп, қалған бөлігінің 30% көмірсулар, 5% май, 3% минералды тұздар құрайды. Сонымен қатар, микробалдыр өндіретін ақуыз, ең сапалы деп есептелетін сүт ақуызына жақын екендігі айтылған. Бұл микробалдырдың химиялық құрамындағы ең құнды заттар – β -1,3 - глюкан (иммуностимулятор, липидтер алмасуын реттегіш), В 6 дәрумені (>20 мкг/г-), биотин (2,5 мкг/г дейін), фолий (шамамен 30 мкг/г), пантотен (>100 мкг/г) және аскорбин (15000 мкг/г) қышқылдары, және α -токо - ферол (2000 мкг/г).



Сурет 1 - Хлорелла биомассасының химиялық құрамы

Chlorella биомассасы тазартылған өнімдерді қолданудан, қоршаған ортаның ластануынан және күнделікті рациондағы қоректік заттардың жетіспеушілігінен туындайтын ауруларға қарсы тамаша профилактика болып табылады. Бұл балдырды иммунитетті нығайту үшін, қатерлі ісікке қарсы, әсіресе жалпы және жүйке астенизациясы бар әлсіреген науқастар үшін (психикалық шаршау, жарақаттардан, психикалық стресстен кейін байқалатын зейіннің нашарлауы) иммунитетті нығайту үшін адамға биологиялық белсенді қоспа (БАҚ) ретінде қолданылады. Осы микробалдырлардан алынған

препараттар эндогендік және экзогендік токсиндерге қатысты айқын детоксикациялық қасиеттерге ие, жараларды, экземаларды, күйіктерді емдеуді жеделдетеді, асқазан-ішек жолдарының жұмысын қалыпқа келтіреді. Микробалдырлар ақуызында барлық маңызды аминқышқылдары – треонин, валин, фенилаланин, лейцин, изолейцин, лизин, метионин және т. б. кездеседі. Аминқышқылдарының осындай ерекше құрамына байланысты балдыр ақуыздары, құрамында аз мөлшерде лизин, треонин, метионин, триптофан бар өнімдердің ақуыздарын жақсы толықтырады. Хлорелла биомассасы асқазан жарасы, аллергия, артрит, атеросклероз, гипертония, жүрек-қан тамырлары аурулары және т. б. сияқты бірқатар ауруларды емдеуде емдік-профилактикалық препарат ретінде қолданылады. Қазіргі уақытта *Chlorella* биомассасынан сыртқы қолдануға арналған ұнтақтар, майлар, спирттік және май сығындыларын дайындауда. *Chlorella* құрамында ақуыздың, полиқанықпаған май қышқылдарының, табиғи антибиотик хлореллиннің, F дәрумені мен арахидон амин қышқылының болуы терінің қартаюына жол бермейді және тіндердің регенерациясы мен жасару процестеріне әсер етеді. Бұл табиғи фактордың қабынуға қарсы, аллергияға қарсы, саңырауқұлаққа қарсы, бактерицидтік әсерін атап өту керек, себебі осы қасиеті оның көптеген тері ауруларына қолдануға және тезірек сауығып кетуіне қол жеткізуге мүмкіндік береді.



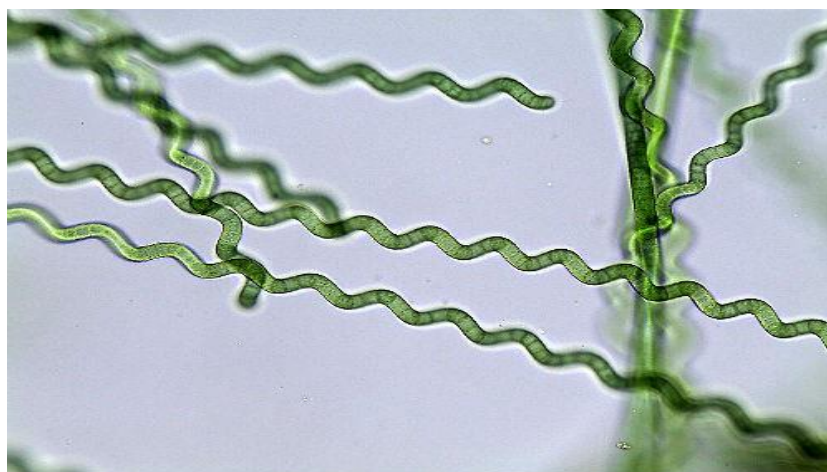
Сурет 2 - Микробалдыр *Chlorella* негізінде жасалынған тағамға қосылатын биологиялық белсенді қоспа

Әлем бойынша *Chlorella* микробалдырын 70-тен астам компания өсіреді, олардың арасында алдыңғы қатардағы Taiwan *Chlorella* Manufacturing&Co (Қытай), Sun *Chlorella* Ltd (Жапония) және Daesang (Корея) сияқты компаниялар жыл сайын 300 тоннаға дейін балдырдың құрғақ биомассасын өндіреді [<http://www.omnieast.com>, www.sunchlorella.com]. Жалпы алғанда, әлемдік балдыр өндірісінің жартысынан көбі (≈ 2000 т·г⁻¹) Жапонияның үлесіне тиесілі [19]. Жапония мен Кореяда хлорелла негізінен глюкозада немесе ацетатта гетеротрофты түрде өсіріледі (құны $\approx$ US\$ 5·кг⁻¹), Тайваньда-

автотрофты ашық түрде (көтерме бағасы - € 7.4 * кг-1) өсіріледі. Германияда жабық фотобиореакторда тағамдық хлорелланы автотрофты дақылдау арқылы жылына 130 – 150 т· алынады. [19]. Жапонияда, Кореяда және Қытайда хлорелладан алынған БАҚ өткен ғасырдың 70-жылдарынан бастап кеңінен таралып, анемия, гастрит, гипертония, қант диабеті, шаршау синдромы сияқты аурулардың алдын алу және емдеу үшін қолданылды [19], және емдік сусабындар, жасартатын маскалар мен кремдер, шашты нығайтуға арналған құралдар, лосьондар өндірісінде кеңінен қолданылған [20]. Сонымен бірге, Жапония өз өндірісінің тұрақты түрде өсуіне байланысты әлемдегі ең ірі микробалдырларды тұтынушы және импорттаушы болып табылады [43, 44]. Ел ішінде орналасқан кәсіпорындардан бөлек, Жапония Таиландта *Arthrospira*, Индонезияда және АҚШ-та *Chlorella*, Израильде *Dunaliella*, Швецияда *Haematococcus* микробалдырларын өндіруге инвестиция салу арқылы шетелде бірқатар бірлескен және еншілес компаниялар құрды. Бірлескен компаниялар шығаратын биомассаның көп бөлігі Жапонияға экспортталады, онда ол қайта өңделеді және ішкі нарыққа шығарылады. Бұл елде микробалдырларды өсіру соншалықты танымал және сенімді бизнес болып табылады, сол себепті тіпті биотехнология саласынан алыс компаниялар да оған жүгінеді.

Цианобактерия - *Spirulina platensis*.

Тамақ өнеркәсібінде жоғары ақуызды және байытылған тағамдық қоспалар, бояғыштар және фотосинтездеуші микроорганизмдердің биостимуляторы және өсу реттегіші ретінде кеңінен қолданылатындардың бірі - *Spirulina platensis*.



Сурет 3 - *Spirulina platensis* жасушалары

Оның биомассасын жеңіл сіңімді ақуыз, маңызды аминқышқылдары, микроэлементтер мен минералды тұздардың кең спектрі, полиқаньқпаған май қышқылдары, пигменттер және т. б. құрайды. Бұл цианобактерияның жасушаларында минералды компоненттер айтарлықтай мөлшерде кездеседі.

Онда 2 мың минерал, дәрумендер (соның ішінде В тобы), адам үшін құнды аминқышқылдары мен өсімдік ферменттері шоғырланған. Мысалы, оның биомассасында 528 мг/кг – ға дейін темір, фосфор – 8000, калий – 14300, магний – 1660, марганец – 22, мырыш – 33, селен-0,4 мг/кг, ал құрамындағы кальций сүттің құрамындағы кальцийден көп (10000 мг/кг дейін). Сонымен қатар, ол пигменттердің негізгі өндірушісі болып табылады және қазіргі уақытта осы қосылыстарды өнеркәсіптік өндіру үшін өсірілетін жалғыз фотосинтездеуші объект болып табылады. Оның хлорофиллдері сабынды, майларды, алкогольді және алкогольсіз сусындарды, одеколонды, иіс суды дезодорант бояу үшін қолданады. Жапонияда балық пасталары мен басқа да аспаздық өнімдер, Еуропада-майлар, хош иісті эссенциялар хлорофиллмен боялған [20]. Жануарлар мен адамның иммундық, эндокриндік, ас қорыту, жүрек-қан тамырлары және жүйке жүйелерінің бұзылуымен байланысты бірқатар ауруларды емдеуде және алдын алуда цианобактерияны қолданудың жоғары тиімділігін көрсететін медициналық-биологиялық, фармакологиялық және басқа зерттеулердің көптеген оң нәтижелері белгілі [22]. Спирулинаға коммерциялық қызығушылық оның ерекше биохимиялық құрамына байланысты (кесте 1). Сонымен бірге, спирулина биомассасындағы макро және микроэлементтердің көп мөлшері биожетімді органикалық түрде болатындығын атап өткен жөн. Спирулина ақуызының сіңімділігі 85-90% құрайды, бұл салыстырмалы түрде сүт өнімдері үшін жоғары көрсеткіш.

Кесте 2 - Спирулинаның биохимиялық құрамы

Массалық үлес, %		Минералды заттар, %	
		Кальций	0,12
Ақуыз	60–70	Фосфор	0,83
Көмірсу	10–15	Калий	1,4
Липиды	6,5–8,0	Натрий	0,03
Күл	7,5–8,0	Магний	0,37
Жасунық	2,0	Темір	0,05
Пигменттер, %		Мырыш	0,003
Каротиноиды	0,22–0,40	Витаминдер, мг/кг	
Хлорофилл	0,76–0,94	β-каротин	1100–2400
Фикоцианин	0,8–1,0	B ₁	55
Полиқанықпаған май қышқылдары, %		B ₂	35
		B ₆	3–8
Линол	1,1–1,4	B ₁₂	1,6–3,2
γ-линолен	0,9–1,2	E	190

Спирулинадан жасалынған жақпа май, спирттік және май сығындылары, суппозиторийлер мен таблеткалар түріндегі препараттар қандағы холестериннің төмендеуіне және семіздік қаупін бәсеңдетуге ықпал етеді, ауыр металдар мен дәрі-дәрмектердің әсерінен пайда болған нефроуыттылықты азайтады, ішектегі лактобактериялар мен бифидобактериялардың популяциясын едәуір арттырады, асқазан-ішек жолдарының қызметін қалыпқа келтіреді, қант диабеті кезіндегі қандағы қант мөлшерін төмендетеді [24].

Спирулина цианобактериясының химиялық құрамындағы ең құнды БАЗ – алмастырылмайтын маңызды аминқышқылдары, γ -линолен қышқылы (маңызды арахидон қышқылы мен простагландиндердің ізашары), фикоцианин (иммуностимулятор және антиоксидант), ісікке қарсы белсенділігі бар сульфатталған полисахаридтер, В дәрумендері, β -каротин (антиоксидант және А провитамины) және полиглюкандар (токсиндер мен ауыр металдардың сорбенттері). Олардың құрамы дақылдау жағдайларына байланысты айтарлықтай өзгереді. Осылайша, адам үшін құнды қасиеттері бар метаболиттерді өндіретін микробалдырлар метаболизмінің осындай ерекшелігі оларды биотехнологияның маңызды объектілеріне айналдырады.



А



Б



(а-спирулинаның кептірілген биомассасы, б-суспензия, в-паста, май)

Сурет 4 - *Spirulina platensis* биомассасынан алынған өнімнің негізгі формалары

Көптеген зерттеулер бойынша, *Spirulina platensis* құрамына кіретін биологиялық белсенді заттардың геропротекторлық, гемостимуляторлық, антиоксиданттық және аллергияға қарсы қасиеттері бар екені анықталды.

Сонымен қатар, бұл балдыр жүрек ырғағын қалыпқа келтіріп қана қоймай, қандағы холестерин деңгейін азайтып, қан тамырларының серпімділігіне әсер етеді. Бронхит, пневмония және тіпті туберкулез кезінде *Spirulina* қабылдау аурудың барлық көріністерінен тез арылуға көмектеседі.

Spirulina platensis негізіндегі жасалынған биологиялық қоспа ағзаның бұзылған функцияларын қалпына келтіреді және ағзаның аурумен өздігінен күресуін ынталандырады. *Spirulina platensis* күшті антиоксидант ретінде денедегі тотығу процестерінің нәтижесі болып табылатын ерте қартаюдың алдын алады. Осылайша, бүгінгі таңда *Spirulina platensis* диетологияда, косметологияда және медицинада белсенді қолданылуда. Одан спортшылар үшін арнайы күшейткіш қоспалар салмақ жоғалтуға арналған препараттар, сондай-ақ тері мен шашқа арналған арнайы маскалар жасалады. Бірақ ең перспективалы бағыт – бұл *Spirulina*-ны әртүрлі ауруларды, күштің төмендеуін және витамин тапшылығын емдеуде қолдану. Қазіргі уақытта *Spirulina* цианобактерияларындағы а хлорофиллді қолдана отырып өсімдік порфириндерінің класына жататын Е6 хлоринін өндіріп алады. Өсімдік порфириндері, сонымен бірге хлорофилл және оның туындылары фармакологиялық белсенді қосылыстар болып табылады және осы қасиетіне байланысты оларды медициналық тәжірибеде, және фотосенсибилизаторлар ретінде қолдануға болады. Қазіргі уақытта хлорофиллдің химиялық түрленуіне негізделген Е6 хлоринін бөліп алу әдістері белгілі. Хлорофилл а экстракциясы спирулина биомассасынан алынып, арықарай а феофитинін алу үшін қышқылмен өңделеді. Әрі қарай, қажет өнімді бөліп шығару үшін сілтілі гидролизі жүзеге асырылады. Сонымен қатар, а феофитинді гидролизге дайындау кезінде, а феофитинді ацетонмен қайта еріту арқылы тазартып алады. Гидролиз аяқталғаннан кейін реакция қоспасынан оқшауланған Е6 хлорині қышқылданған дистилденген сумен жуылады. Бұл өнімнің бөлініп шығуына және тазалығын арттыруға мүмкіндік береді.

Е6 хлорині патологиялық тіндерде (негізінен неоваскуляризациямен сипатталатын әртүрлі генезі мен локализациясы бар қатерсіз және қатерлі ісіктері) таңдамалы түрде жинақталу қабілетіне ие, ал 660-670 нм толқын ұзындығы бар жарыққа әсер еткенде ісік тінінің зақымдалуына әкелетін фотосенсибилизация әсерін қамтамасыз етеді. Хлорин Е6 спектрофлуоресцентті зерттеу кезінде жоғары ақпараттық диагностикалық құрал болып табылады. Қазіргі уақытта *Spirulina platensis* қолданудың ең перспективалы бағыттарының бірі-онкологиялық ауруларды емдеу және алдын алу, яғни ол қатерлі ісіктердің өсуіне және дамуына кедергі келтіреді және химиотерапия мен радиотерапиядан кейін қалпына келтіруді тездетеді.

Dunaliella жасыл тұзды микробалдыр, май қышқылдарын, β -каротинді және басқа каротиноидтарды алу мақсатында дақылдайтын өнеркәсіптік перспективалы объект болып табылады. Ең көп таралған балдырларда барлық каротин изомерлері анықталған (α , β , γ , ϵ), сонымен қатар ксантофиллдердің (зеаксантин, неоксантин, виолаксантин, микронон, сифоноксантин, сифонеин, атаксантин, ликопин) жинағы ұсынылған. Айта кету керек, әртүрлі штамдар үшін пигменттердің арақатынасының жеке көрсеткіштері де әртүрлі. Бұл жағдайда пигменттердің абсолютті құрамы және олардың қосындысы жасушалардың орташа көлемімен, ал өзгергіштік дәрежесі түрлердің экологиялық ерекшеліктерімен байланысты. Каротиноидтар дененің жасушалары мен тіндерін бос радикал әсерінен қорғайтын антиоксидант ретінде әрекет етеді. Бірақ айта кету керек, дуналиелла β -каротин өндірушісі ретінде ғана емес, сонымен қатар физиологиялық-биохимиялық ерекшеліктер тұрғысынан өте ерекше организм ретінде үлкен қызығушылық тудырады. Микробалдырды келесі аспектілер бойынша физиологиялық-биохимиялық модель ретінде маңызды деп санайды[1]:

Біріншіден, өсімдік жасушаларының тұзға төзімділігі және оларды осморегуляциялау механизмдері тұрғысынан галофильді балдырлар болуы.

Екіншіден, *D. Salina* жасушаларында гиперсинтезі жүретін β -каротиннің функционалдық рөлі және биосинтез механизмдері, оның экстремалды әсерлерге бейімделуінің ерекше түрі.

Үшіншіден, экзогендік заттардың балдыр жасушасына енуіне жалғыз кедергі болып табылатын перипласт арқылы иондар мен органикалық заттарды тасымалдау механизмдерін білу үшін.

Төртіншіден, *D. Salina*-да жоғары концентрацияланған тұзды ерітінділерде тіршілік етуіне қарамастан қатты целлюлоза қабығының болмауы, фотосинтездеуші жасушалардан қарапайым әдістер арқылы органеллаларды (ядролар, хлоропластар және т.б) препараттық бөліп алуға мүмкіндік беретін балдырларды ерекше объектіге айналдырады –әртүрлі кернеудегі физиологиялық ерітінділерге жасушаларды қайта суспензиялау және дифференциалды центрифугалау.

Алайда, биотехнологияда *Dunaliella Salina* микробалдыры негізінен β -каротин алу үшін шикізат ретінде қолданылады.

Сәулеленуге қарсы қорғаныс реакциясы ретінде β -каротиннің жинақталуы жүретіндігі *Dunaliella Bardawil* балдырынан анықталды [43]. Дуналиелла жасушасындағы фотоингибирлеуші агент ретінде көк жарықты фотоингибирлеуге қарсы қорғаныс ретінде қолданады. Бұл жағдайда каротин синтезі артады. В-каротиннің орташа жинақталу деңгейі ақ жарықта байқалады, ал ең төменгі жинақталу қызыл жарыққа тән. В-каротиннің қарқынды түрде жоғарылауы жасушаны жоғары радиациядан қорғайды ол үшін көк жарықтың адсорбциясы жүреді, көк жарықтың жоғары концентрациясында хлорофиллдің фотодеструкциясы жүреді және

жасушалардың өлімі орын алады. Сондай-ақ, кез-келген биологиялық қоспаны алу кезінде биомассаның биологиялық құндылығын қайта өңдеу және сақтау процессі кезінде жоғалтып алмау маңызды. Күн сәулесінде кептірілген және ауамен қамтамасыз етілген жерде сақталған биомассада витаминдер, каротиноидтар және фикоцианин мөлшері бір жыл ішінде екі есе азаяды [17]. Бұл мәселені ішінара шешудің заманауи нұсқасын Cyanotech Co., Ltd, ұсынып, спирулинаны азот атмосферасында кептірудің криогендік әдісін өндіріске енгізген, бұл әдіс БАҚ тиімді түрде үнемдейді. Айта кету керек, микробалдырлардан алынатын пигменттер улы емес. Биотехнологиялық өнеркәсіп үшін каротиннің ең перспективалы көзі ретінде - *Dunaliella salina* жасыл балдыры есептеледі. *Dunaliella salina*-өте тұзды су айдындарында мекен ететін жасыл бір жасушалы микроскопиялық балдыр. *Dunaliella salina* мекен ететін өте тұзды су объектілері көбінесе теңіздер мен мұхиттардың жағалауларында, сондай-ақ құрлықшілік құрғақ жерлерде кездеседі. *D. Salina* балдыры-су қоймасындағы тұздың концентрациясы өте жоғары болған жағдайда β-каротин (А провитамина), глицерол, қанықпаған май қышқылдары және т.б. сияқты бірқатар пайдалы қосылыстарды синтездеуге қабілетті бірегей организм. Бүгінгі таңда коммерциялық негізде *D. salina* биомассасы Австралия, Жапония, Қытай, АҚШ сияқты елдерде өндіріліп, тұтынылады. Жасалған қорытынды заңдылық бойынша Австралияда, Израильде, Қытайда, Үндістанда *D. salina*-ны ауқымды өсірудің көп жылдық тәжірибесін жоққа шығарады. *D. Salina* биомассасындағы β-каротин мөлшері 10-12% құрайды, сонымен қатар 9-цис-изомермен ұсынылған табиғи пигмент оның синтетикалық аналогымен -толық транс-изомермен салыстырғанда антиоксиданттық белсенділігі жоғары [2, 13, 23]. *D. salina* өндірісінің әлемдік көлемі шамамен 1200 т-г -1құрайды, *D. Salina*-дан β-каротиннің нарықтық бағасы өнімнің шығарылу формасына қарай (кристалды зат немесе 1-30% май ерітінділері) 1кг үшін 0.3-тен 3 мың US\$ дейін өзгереді [26]. Пигмент медицинада, нутрацевтика, тамақ, косметика өндірісінде антиоксидант және тағамдық бояғыш ретінде кеңінен қолданылады [27].

Сілтеме жасалынған әдебиеттер

1. Бойцов А.Г., Ластовка О.Н. и др. Оценка качества воды по биологическим показателям: пути совершенствования // Вестник Санкт-Петербургской государственной медицинской академии им. И.И. Мечникова 2004. - №1 -С.86-89.
2. Заядан Б.К., Кирбаева Д.К., Синявский Ю. А., Жубанова А.А. Биологически активная добавка к пище «Spirulina Life» Инновационный патент № 24807, 15.11.2011
3. Ефимов А.А. Обоснование технологии получения хлорофилла из синезеленых водорослей как пищевой добавки // Фундаментальные исследования. – 2007. – № 11. – С. 82-84;
4. Заядан Б.К., Кирбаева Д.К., Жубанова А.А. «Кормовая добавка для повышения яйценоскости кур-несушек и способ получения яйценоскости на основе смешанных культур микроводорослей». Патент № 24332. Оpubл. 2014 г. бюлл. № 10.

5. Заядан Б.К., Синявский Ю.А., Жубанова А.А., Кирбаева Д.К., Садвакасова А.К. Способ производства хлебобулочных изделий, обогащенных спирулиной. № 31116, Инновационный патент № 201/0512.1 2015 г.
6. Богданов Н.И. Прудовое рыбоводство Пензенской области / Н.И. Богданов, А.Ю. Асанов. Пенза, 2005. 68 с.
7. Антипов, В. А. Бета каротин: применение при воспроизводстве животных и птиц. / В. А. Антипов, А. Н. Турченко, В. С. Самойлов и др.. - Краснодар. науч. исслед. вет. ин-т; ЗАО «Роскарфарм». - Краснодар, 2002. - 120 с.
8. Богданов, Н. И. Суспензия хлореллы в рационе сельскохозяйственных животных / Н. И. Богданов. Пенза, 2007. - 46 с.
9. Ковалев, Б. М. Одноклеточная микроводоросль хлорелла природный биостимулятор / Б. М. Ковалев, Н. И. Богданов, С. П. Ковалева // Физиология и патология иммунной системы. - 2003. - Том 5. - № 2. - С. 179.
10. Мельников, С. С. Хлорелла: Физиологически активные вещества и их использование / С. С. Мельников, Е. Е. Мананкина Мн.: Наука 1 тэхнша, 1991.-79 с.
11. Панкратова Е. М. Роль азотфиксирующих синезеленых водорослей (цианобактерий) в накоплении азота в повышении плодородия почвы// Автореф. дис. . докт. биол. наук. -М., 1981. -39 с.
12. Маторин, Д. Н. Методика измерения обилия и индикации изменений состояния фитопланктона в природных водах флуоресцентным методом. Теоретические и практические аспекты / Д. Н Маторин, В. А. Осипов, А. Б. Рубин. М.: Альтекс, 2012. - 138 с.
13. Заядан Б.К., Болатхан К, Н.Р. Акмуханова, А.К. Садвакасова, М.А. «Штамм *Desertifilum sp. IPPAS B-1200*, в качестве сырья для получения хлорина еб» Патент на полезную модель от 30.06.2017. №2276
14. Сиренко Л.А. Современные проблемы фотобиотехнологии (обзор)// Гид-робиол. журн., 1990. Т.26, № 3. - С. 71-77.
15. Заядан Б.К. Фототрофные микроорганизмы в экологическом мониторинге и биоремедиации загрязненных водных экосистем Монография.-Алматы, С. 380.
16. Заядан Б.К. Фототрофы микроорганизмов Биотехнологиясы. Монография.-Павлодар, 2010г. С.421.
17. Заядан Б.К. Экологическая биотехнология фототрофных микроорганизмов Монография. Алматы,«Арыс», – 2011 г. С.368
18. В.К. Zayadan, Dyo Y.M., Vonlanthen S.E., Purton S.Evaluating New Isolates of Microalgae from Kazakhstan for Biodiesel Production Moscow 2013, 60 №4 P.582–587
19. Заядан Б.К., Экологиялық биотехнология. Оқу құралы. Алматы, «Қазақ университеті», 2014 ж. 316 б.
20. Заядан Б.К., Мусалдинов Т.Б., Акмуханова Н.Р. «Штамм одноклеточной зеленой водоросли *Chlorella vulgaris* для получения биомассы» Заключение о выдача патента 07.10 2011 г. №12-3/4311.
21. Заядан Б.К., Пуртон С., Садвакасова А.К., Усербаева А., Болатхан К. Выделение, мутагенез и оптимизация условий культивирования штаммов микроводорослей для производства биодизеля Физиология растений. Москва, Изд.Наука.Т.61, № 1, 2014 С.135-143
22. Заядан Б.К., Садвакасова А.К., Усербаева А.А., Болатхан К.Мутагенез микроводорослей и оптимизация условий их культивирования для производства биодизеля Физиология растений, 60(5), 2013 С.70-81

23. Садвакасова А.К., Кирбаева Д.К., Акмуханова Н.Р., Бейсенова А.Ж. Способ биологической очистки бытовых и промышленных сточных вод от органоинеральных примесей и ионов тяжелых металлов. Инновационный патент - 2014/0367.1 26.03.2014
24. Цоглин Л. Н. Биотехнология микроводорослей [Текст] / Цоглин Л. Н., Пронина Н. А.. – Москва: Научный мир. – 2012. – 182 с.
25. Заядан Б.К., Баймаханова Г.Б., Маторин Д.Н., Саданов А.К. Создание консорциумов на основе цианобактерий для применения в агробиотехнологии. Известия НАН РК. Серия биологическая и медицинская. №5С. 2014 год. С. 35-39
26. B.K. Zayadan, Sadvakasova A.K., Saleh M.M., Gaballah. M.M. Generation and characterization of pigment mutants of *Chlamydomonas reinhardtii* CC-124. African Journal of Biotechnology. Vol.13(2), 2014 P. 274-279
27. B.K. Zayadan, Sarsekeyeva F., Usserbayeva A.A., Sinetova M.A., Los D.A. Cyanofules – biofuels from cyanobacteria: reality and perspectives Photosynth. Res. 125(1-2). 2015 P.329-340.
28. Matorin D., B.K. Zayadan. Biomonitoring water ecosystems based on microalgae. Monograph, Moscow, Alteks, 2015 P. 251
29. Садвакасова А.К. Акмуханова Н.Р. Кирбаева Д.К. Способ криосохранения консорциума фототрофных микроорганизмов. Полезная модель № 95521, 08.04.2015
30. B.K. Zayadan Sadvakasova A. K. Akmukhanova N.R., Matorin D. N., Protopopov F. F., Alekseev A. A., Bolatkhan. K. Pigment Mutants of the Green Microalga *Chlamydomonas reinhardtii*: Morphological Properties and Photosynthetic Performance. Russian Journal of Plant Physiology, Vol. 63, No. 4. 2016, P. 443–450.
31. Заядан Б.К., Болатхан К., Акмуханова Н.Р., Садвакасова А.К., Синетова М.А., Лось Д.А. Выделение и характеристика токсичных цианобактерий из различных природных источников. Биотехнология, Т. 32, № 3 2016 г С. 57–66.
32. Заядан Б.К., Сарсекеева Ф.К., Лось Д.А., Садвакасова А.К., Усербаева А.А., Болатхан К. «Штамм *Cyanobacterium* sp. IPPAS-1200 в качестве сырья для производства биотоплива». Патент Республики Казахстан на полезную модель «Штамм *Cyanobacterium* sp. IPPAS-1200 в качестве сырья для производства биотоплива». №1750 от 30.09.2016.
33. Заядан Б.К., Акмуханова Н.Р., Садвакасова А.К. Су тоғандарының микрофлорасы. Алматы «Қазақ университеті», оқу құралы, 2016. 272 б.
34. B.K. Zayadan Rodionova M.V., Poudyal R.S., Voloshin R.A., Nam H.G., Bruse B.D., Hou H.J., Allakhverdiev S.I. Biofuel production: Challenges and opportunities International Journal of Hydrogen Energy, 2017 pp. 8450-8461
35. Акмуханова Н.Р., Садвакасова А.К., Болатхан К., Бауенова М.О. Инновационный патент // Способ биологической очистки бытовых и промышленных сточных вод. Патент на полезную модель № 2551 от 12.12.17
36. B.K. Zayadan Sadvakasova A. K., Usserbayeva A., Bolatkhan K., Baizhigitova A., Akmukhanova N. R., Sidorov R. A., Sinetova M. A., Los D.A. Waste-free technology of wastewater treatment to obtain microalgal biomass for biodiesel production International Journal of Hydrogen Energy, Vol 42, 12, March 2017 pp. 8586-8591.
37. Заядан Б.К., Акмуханова Н.Р., Садвакасова А.К., Болатхан К., Бауенова М.О. Создание консорциума высших водных растений и микроводорослей для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов Физиология растений. Москва, Изд. Наука. 2018, Т. 65, № 1. С. 73-80
38. Bolatkhan K, Kossalbayev B.D., B.K. Zayadan Tomo T., Veziroglu T.N., Allakhverdiev S.I. Hydrogen production from phototrophic microorganisms: Reality and perspectives. International Journal of Hydrogen Energy Volume 44, Issue 12, 1 March 2019. P. 5799-5811
39. Sadvakasova A.K., Akmukhanova N.R., Bolatkhan K., B.K. Zayadan Usserbayeva A.A., Bauenova M.O., Akhmetkaliyeva A.E., Allakhverdiev, S.I.

40. Search for new strains of microalgae-producers of lipids from natural sources for biodiesel production. International Journal of Hydrogen Energy Volume 44, Issue 12, 1 March 2019, P. 5844-5853
41. Сорокина К.Н., Яковлев В.А., Пилигаев А.В. и др. Потенциал применения микроводорослей в качестве сырья для биоэнергетики.
42. Сорокина К.Н., Яковлев В.А., Пилигаев А.В., Кукушкин Р.Г., Пельтек С.Е., Колчанов Н.А., Пармон В.Н. Потенциал применения микроводорослей в качестве сырья для биоэнергетики. Катализ в промышленности. 2012;(2):63-72.
43. Белых Д.В. Новые подходы в синтезе полифункциональных хлоринов на основе хлорофилла а: дисс. ... д-ра хим. наук. Иваново, 2012. 320 с.
44. Л.А. Сиренко, В.Н. Козицкая Биологически активные вещества водорослей и качество воды. Наук. думка, Киев, 1988, 352 с.
45. Гайсина Л.А., Фазлутдинова А.И., Кабиров Р.Р. Современные методы выделения и культивирования водорослей. Учебное пособие. Уфа. Изд-во БГПУ. 2008. 152
46. Ашмаров В.В., Баум Р.Ф., Мещерякова А.Л., Пономарев Г.В., Сухин Г.М. Промышленное производство *Spirulina* - реальный источник крупномасштабного получения фотосенсибилизаторов на основе хлорофилла а // Тезисы VII Междунар. конф. по химии порф. и их аналогов. СПб., 1995. С. 151-152.
47. Мещерякова, Ю. В. Технология получения биодизельного топлива из биомассы микроводоросли / Ю. В. Мещерякова // Наука в центральной России. -2013. - № 3. - С. 76 - 79.

Биоэнергетика —биологиялық объектілер және олармен түзілетін үрдістерді қолдану негізінде энергия өндіру (биогаз алу, биомасса өндіру, биодизель, сутегі биосинтезі және т.б.), ол сарқылмайтын қуат көзіне жатады.

Биодизель өсімдіктер және жануарлар майынан этерификациялану нәтижесінде алынатын биоотын. Биодизельді өндіру және қолдану технологиясы осыдан жарты ғасыр бұрын белгілі бола бастаған. Соңғы жылдары әлемдік әйгілі ғылыми зерттеу лабораторияларында фототрофты микроорганизмдерді биоэнергетикаға пайдалану мүмкіншілігі мол екені анықталып отыр. Микробалдырлардан биодизель, биосутегі, биогаз, сингаз, биоэтанол сияқты бірнеше сарқылмайтын отын түрлерін алу жолдары қызу зерттелу үстінде.

Хисти мәліметтері бойынша микробалдырлардан алынатын майдың мөлшері жер үсті өсімдіктерімен салыстырғанда 10-100 есе көп, ал оларды өсіретін аудан каноламен салыстырғанда 5-100 есеге азаяды (17-кесте). Бұл мәліметтер Жаңа Зеландияда өсірілген балдырларға тәжірибе жасау кезінде алынған.

17-кесте.

Майлы дақылдар және микробалдырлардағы май мөлшері

Дақыл	Май мөлшері, л/га	Май өндіруге қажетті аудан, га
-------	----------------------	-----------------------------------

Жүгері	172	1540
Соя	446	594
Канола	1190	223
Ятрофа	1892	140
Какос жаңғағы	2689	99
Пальма	5950	45
Микробалдырлар ^а	136900	2
Микробалдырлар ^б	58700	4,5

^а70% липид (құрғақ салмаққа шаққанда)

^б30% липид (құрғақ салмаққа шаққанда)

Микробалдырлардың тұщы және теңізде кездесетін түрлері құрамында қанықпаған май қышқылдарының көп мөлшерде болуына байланысты, оны биоотын алу мақсатында қолдану айтарлықтай қызығушылық туындатады.

Микробалдырлар жарық және көмірқышқыл газын фиксациялап, оларды биологиялық белсенді заттарға, бейтарап липидтерге (PUFAs) айналдыруға қабілетті бір немесе көп клеткалы прокариотты (цианобактериялар) немесе эукариотты қарапайым фотосинтездеуші микроорганизмдер.

Микробалдырлардан биодизель алудың бірқатар артықшылықтары бар:

- майлы дақылдарға қарағанда көп мөлшерде бейтарап липидтерді (полиқанықпаған май қышқылдары) синтездеп, жинақтауға қабілетті;
- өсу жылдамдығы жоғары (күніне 1-3 еселенеді);
- микробалдырдан алынған биодизель құрамында күкірті жоқ, улы емес және оңай биодеградацияланады;
- ластанған сулардың биоремедияциясына қолдануға болады;
- фотосинтез барысында CO₂ фиксациялап, парникті газдың эмиссиясын төмендетеді, ЖЭС шығатын CO₂, NO_x, SO_x мөлшері азаяды;
- химия, фармацевтика, медицина, мал-азықтық өндіріске қажетті биополимерлер, витаминдер, белоктар, полисахаридтер, пигменттер, мал азығы, тыңайтқыш сияқты өнімдер алуға болады;
- қолайсыз жағдайларда, мысалы ауылшаруашылығына жарамсыз аймақтарда, шөлде, тұзды суларда немесе тоқтау суларда өсіруге болады;
- тыңайтқыш немесе ерекше ирригацияны қажет етпейді;
- микробалдырларды фотобиореакторларда жылдың барлық мезгілінде өсіруге болады және микробалдырдан алынған биомасса оңай, шығынсыз жиналады;
- микробалдырлардан биодизель алу технологиясы калдықсыз және энергетикалық автономды;

Микробалдырлардан биодизель алудың кемшіліктері:

•жылдың аязды-суық мезгілінде отын бағынан отын насосына жеткізілетін отын қатып қалуына байланысты, оны ұзақ қыздыру қажет немесе 20% биодизель және B20 маркалы 80% жанар май қоспасы (солярка) қолданылады және ол 3 ай көлемінде ғана сақталады;

•микробалдырлардан биодизель алу технологиясы қымбат.

Микробалдырлардағы липидтер және май қышқылдары мембрана компоненті болуы мүмкін немесе метаболиттер түрінде, энергия көзі болатын қор ретінде жинақталады. Микробалдырлардың ішінен липидтің 30% - ға дейін мөлшері бар штамдар, диатомдар, цианобактериялар табылған.

Осы уақытқа дейін анықталған құрғақ салмаққа шаққанда 15%-дан 75%-ға аралығында липид жинақтай алатын келешегі мол микробалдырлар 19-кестеде көрсетілген.

19-кесте.

Кейбір микробалдырлар штамдарының липидтер мөлшері (Spolaore P., Duran E., және т.б. 2006)

Микробалдырлар	Липидтер мөлшері (құрғақ салмаққа шаққанда, %)
<i>Botryococcus braunii</i>	25–75
<i>Chlorella</i> sp.	28–32
<i>Cryptocodinium cohnii</i>	20
<i>Cylindrotheca</i> sp.	16–37
<i>Dunaliella primolecta</i>	23
<i>Isochrysis</i> sp.	25–33
<i>Monallanthus salina</i>	20
<i>Nannochloris</i> sp.	20–35
<i>Nannochloropsis</i> sp.	31–68
<i>Neochloris oleoabundans</i>	35–54
<i>Nitzschia</i> sp.	45–47
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	20–30
<i>Schizochytrium</i> sp.	50–77
<i>Tetraselmis sueica</i>	15–23

Микробалдырлардың ішінде *Botryococcus braunii* колониялы жасыл микробалдыр (30-сурет) ерекше көмірсутектер мен эфирлі липидтерді синтездейтіні анықталған. Ол көмірсутектер n-алкадиендер және триендер, тритерпеноидтар, тетратерпеноидтар және ликопадиендерге жатады.



30-сурет. *Botryococcus braunii* колониялы жасыл микробалдыр (Banerjee A., және т.б. 2002)

Соңғы жылдары әлемдік әйгілі ғылыми зерттеу лабораторияларында фототрофты микроорганизмдерді биоэнергетикаға пайдалану мүмкіншілігі мол екені анықталып отыр. Микробалдырлардан биодизель, биосутегі, биогаз, сингаз, биоэтанол сияқты бірнеше жаңғырмалы отын түрлерін алу жолдары зерттелу үстінде (31-сурет).

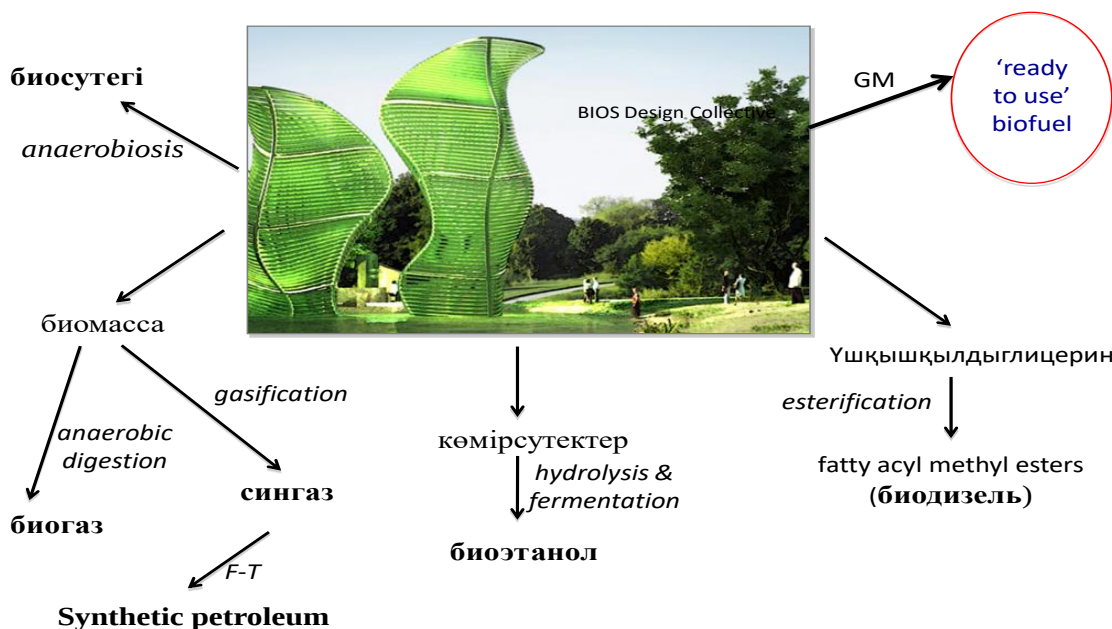
Микробалдырлар липидтердің әртүрлі түрлерін бейтарап, полярлы липидтер сонымен қоса, стеролдар, көмірсутектер, токоферолдар, каротиноидтар, терпендер, хинондарды синтездей алады.

Май қышқылдары орташа (C10-14), ұзын тізбекті (C 16-18), өте ұзын тізбекті май қышқылдарының туындыларынан (>C20) тұрады. Мембрананың негізгі компоненті глицеролипидтер май қышқылдарының алуантүрлілігі болып табылатын қанықпаған май қышқылдарына жатады.

Қоршаған ортаның қолайсыз жағдайында көптеген балдырларда бейтарап липидтердің (20-50% DCW) әсіресе үшқышқылдыглицериннің (TAG) түзілуі мен жинақталуы артады. Ол мембрана липидінен өзгеше және құрылымдық қызмет атқармайды, бірақ ол энергия мен көміртегі формаларының негізгі көзі болып табылады. Стресс жағдайында синтезделген TAGs липид денешігінде жинақталады және ол балдыр клеткасының цитоплазмасында орналасады. Кейбір балдырларда азот тапшылығы кезінде липидтің көп мөлшері жинақталатыны анықталған. Силикон тапшылығы кезінде диатом балдырлары TAGs көп мөлшерде синтездеген. Температура төмендегенде қанықпаған май

қышқылдары көбейсе, ал температура жоғарылағанда, қаныққан май қышқылдарының мөлшері артқан.

Фототрофты микроорганизмдерден алынатын биодизель, биосутегі, биогаз, сингаз, биоэтанол сияқты бірнеше сарқылмайтын отын түрлерін алу жолдары зерттелу үстінде (31- сурет).



31-сурет. Фототрофты микроорганизмдерден алынатын био-отын түрлері (Sommerfeld Q., Jarvis E., 2008)

Микробалдырлардың жоғары тығыздықты концентрациясын химиялық флокуляция немесе центрифугалау арқылы алуға болады. Алюминий сульфаты немесе темір хлориді сияқты химиялық заттар балдыр клеткасын коагуляциялайды. Содан соң балдыр биомассасын супернатанттан ажыратады. Алынған балдыр суспензиясы тоңазытқышта бір немесе екі апта сақтауға болады. Оларды глюкоза немесе диметилсульфооксидпен өңдеп, қатырып тастауға болады. Аталған химиялық заттар криопротектор ретінде қолданылады .

Микробалдырлар – қарапайым суда тіршілік ететін организмдер. Толық өмірлік циклдан өту үшін оларға сулы орта қажет.

Балдырлардың тобын микроскопиялық құрылымды бір клеткалы және колониялы балдырлар құрайды. Олардың көпшілігі мұхиттардың, теңіздердің, көлдердің, өзендердің терең жерлерінде өседі.

Балдырлардың барлық түрі – фототрофтар. Олардың ең басты ерекшелігі - клеткаларында жасыл пигмент хлорофильдің болуы.

Микробалдырлардың мал шаруашылығына, құс өсіруде, медицинада және басқа да ауыл шаруашылық салаларында пайдаланады.

Алғашқы рет микробалдырлардың таза дақылын Бейерник 1890 жылы зерттеген: бірнеше альгологиялық таза балдырлардың түрлерін бөліп алып, олардың дақылдағы био-экологиялық ерекшеліктеріне зерттеулер жүргізген. Микробалдырлардың биохимиялық қасиеттері олардың белок, көмісулар, түрлі витаминдер мен басқа да физиологиялық активті заттарды алуының бағалы көзі болып табылатын және витаминдер мен белоктарға бай екендігін көрсетті [3].

Combs (1952) зерттеулері бойынша 100 грамм құрғақ хлореллада 48,0 мг каротин, 1,0 витамин В₁; 3,5 В₂; 2,3 В₆; 0,002 В₁₂, 25,0 мг ниацина, 303,3 мг холин және тағы басқа заттар бар екендігі анықталды [4].

XX ғасырдың 40-шы жылдардың аяғы мен 50-ші жылдардың басында көптеген елдерде тағам мен азықтың қосымша көзі ретінде микробалдырларды жаппай өсіру технологиясын қарастыра бастады.

Балдырлар – белок, витаминдер және басқа да қоректік және азықтық заттарды алудың басты көзі болып саналды. Пайдалы түрлері тек қана ірі теңіздердің арасында ғана емес, бір клеткалы, микроскопиялық құрылымды балдырлар арасында да кездеседі. Цианобактериялардың ішінде 80-нен астам түрлері азотфиксаторлар болып табылады. Хлорелла және басқа да балдырларды азыққа пайдаланады. Олардың құрамы 50-55 % белок, 30-35% көмірсулар, 7-10% майлар және түрлі витаминдерден тұрады [5].

Балдырларды өсіруге қажетті қоректік элементтер мен басқа компоненттері бар жасанды қоректік орталарда өсіреді. Қоректік ортаның құрамы өсірілетін балдырлардың физиологиялық қажеттіліктеріне сәйкес әртүрлі болады. Қоректік минералды тұздардың жұмсалуды жоғары сатыдағы өсімдіктер дақылдарынан әлдеқайда аз.

Балдырлар биомассасының өндірісінде суды қолдану жоғары сатыдағы өсімдіктер дақылына қарағанда 15-20 есе аз.

Жасыл балдырлардың дақылы органикалық заттарды синтездеуде микробалдырлардан ерекшеленеді. Фототрофты биосинтез арнайы қондырғыларда (реакторларда) жасыл микробалдырлардың

клеткаларымен жүзеге асады. Қарапайым микробиологиялық әдістерден айырмашылығы - органикалық заттарды синтездеу барысында бағалы белокты және витаминді, минералды қоректену мен сәуле энергиясын қолдану болып табылады. Микробалдырларды жаппай өсіруде бірінші тәжірибе 1941 жылы Венесуэллада өткізілді. Мұнда хлорелланы, сценедесмусты және ангистродесмустың әрқайсысы үлкен көлемдегі бассейндерде өсірілді. Микробалдырлар суспензиясын араластыру насостың көмегімен жүзеге асады [6]. Балдырлар биомассасын арзандату мақсатында кейбір өндірістерде қоректік орта ретінде тыңайтқыштардың органикалық түрлері мен кейбір өндірістік қалдықтарды қолдану маңыздылығы көптеген зерттеулерде атап көрсетілген. Балдырларды спиртті-ашытқы және крахмалды - сірненің қалдықтарында өсіру мен адамдардың, жануарлардың, құстардың физиологиялық бөлінулерінде өсіруі жайлы зерттеулер ерекше қызықтырады. Бірақ балдырларды өндірістік өсіру практикасында қоректік ортаның органикалық көзі жеткіліксіз болады. Бұл органикалық көздің түгелімен зерттелмеген және оларды қолданудағы арнайылық ерекшеліктерін толық зерттемегендігінен болып отыр.

Микробалдырлардың өнімділігін арттыруда клеткаға әртүрлі қоректік орта қажет. Қоректік ортаның негізгі микроэлементтері болып – марганец, цинк, бор, молибден, кобальт болып табылады. Марганец клеткада темірдің жиналуын және онымен уланудан сақтайды. Өңдейтін ерітіндіге марганецтің 0,2 мг/л –дің қосылуы өнімділікті 10-600 есе көбейтеді. Сонымен, микроэлементтер өңдейтін қоректік ортаның негізгі құрамының бөлігі, қазіргі кездегі микробалдырларды жаппай өсіруде кеңінен қолданылады [7]. Қалалық канализациясының ағынды суларын пайдаланып өсіріп алынған хлорелла мен сцендесмустың биомассасында 39-50% белок, 30-36% қимірсу, 5-10% май, 8-12% минералды зат және 1200-2000 мг/кг каротин, 800-1900 мг/кг аскорбин қышқылы анықталған. Сондай-ақ витаминдердің В-В₁, В₂, В₆, В₁₂, В₁₅ және т.б. тобы анықталаған. [8].

Ағын суда дақылдаудың нәтижесінде жиналған балдырларды егілген ортадан сүзіп, бөлек алып отыру керек, ейтпесе екінші реттік ластануға екеліп соғады. Ал тазаланған ағындыны жиналғыш-тоғанға жинап, оны ауыл-шаруашылық егістікті суару үшін және белокқа, витаминге бай арзан биомасса алу үшін пайдалануға болады. Ағынды суда егілген балдырларды өсірудің барлық шығынын биомасса өндірісіне өткізсек, тазалау шығыны қансыз болып қалады екен. Тоған-жиналғыш балық өсіруге, қыстарға және т.б. су жәндіктеріне тиімді қоректік орта болып

табылады. Қыптеген ерт%орлі балықтардың болуынан хлорелла мен сцендесмус және т.б. балдырлардың мсу жылдамдығы жоғарылайды.

Жапон зерттеушілері хлореланы мсіру %ошін табиғи тыңайтқыштар: ашыған балық т±нбасы, компостың бикпесін, тезек-қмъ және т.б. қолданады. Органикалық қоректік орталар балдырлардың мсуіне мте тиімді, егер ортаға CO_2 – %орлесе, дақылдық ортадағы рН теңеседі.

Т.В.Васигов хлорелла мен сцендесмусты қой тезегінің экстракциясына қыптеп мсіріп қырді. Нәтижесінде борсыған қой қмъінің сығындысы протококкалы балдырларға жақсы қоректік орта болатынын дәлелдеді [9].

А.М.Музафаров, Т.Т.Таубаев, Х.Ф.Якубов тауық, қайын және т±т ағашының жібек қ±ртының нежісін хлорелла мен сцендесмустің штамдарына қолданды. Қоректік орта 04-ке ерт%орлі концентрациялы органикалық тыңайтқыштардың қоспасын қосып мсірді. Авторлардың айтуынша, к%оңгірт-жасыл т%ості орғано-минералды ортада клетканың мсуі тез байқалады. Сондай-ақ, дақылдағы қ±рғақ биомассасы да жоғары болып, биологиялық мнімділігі қытеріледі [10].

Сонымен қ±с қиымен (6-10 г/л конц.) және т±т ағашының жібек қ±ртының нежісінің (2-5 г/л) сығындысымен протококкалы микробалдырларды арнайы қондырғыда %оэбей мсіруге болады. Нәтижесінде балдырлардың мнімділігі теулігіне 17,5-33 г/м қ±рғақ заттар алынған.

Балдырларды мндіріс дақылдарында, ондағы шарап зауытының қалдығында дақылдауға болады. М±нда хлорелланың жалпы белок мөлшері 42-50%, қммірсутегі 7,3-16,8%, май 10,3-13,0%-ке жеткен. Треонин мен лизиннің қ±рамына қарай хлорелла тауық ж±мыртқасынан кем т%оспейді, ал цистин мен метионин аз мұлшерде ғана. Жемдік және азықтық мнімдердің арасында хлорелла белоктық сапалығына қарай I – орын алады.

Францияда қалалық қалдық суларды микробалдырлар қммегімен тазартатын 2600-ге дейін биологиялық тоғандар салынып, оларға хлорелла, спироулина сияқты микробалдырларды мсіріп, биомассаларын ауыл шаруашылығында қолданады.

Келешек биоэнергетикада да микробалдырлардың маңызы зор. Микробалдырлардан биодизель алу мақсатында, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің микробиология кафедрасында, бізбен жаңа микробалдырлардың май өнідіргіш штамдарын алуда селекция жүргізу жұмыстары белсенді іске асуда. Бұл ғылыми жұмысқа Ұлттық биотехнологиялық орталықтың бас директоры Е.М.Раманқұлов қолдау көрсетіп отыр.

3.2 *Chlamydomonas reinhardtii* микробалдыры – биотехнологияда маңызды модельді объект болып табылады.

Молекулалы-генетикалық және биохимиялық зерттеулердің әйгілі объектісі – *Chlamydomonas reinhardtii*, ол *Escherichia coli*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Drosophyla melanogaster* тәрізді моделді организмдер тобына жатады [11].

Chlamydomonas reinhardtii

Бір клеткалы жасыл балдыр *Chlamydomonas reinhardtii* балдырлардың түрге бай тобы *Chlorophyta* бөлімінің өкілі болып табылады. *Chlamydomonadaceae* тұқымдасы 33 туысты және 800- дей түрді құрайды. Ең жақсы зерттелген *Chlamydomonas* туысы, бұл туыс өкілдері негізінен ағын суларда, ластанған су мен топырақта мекендейді [12]. *Chlamydomonas* туысына әртүлі дәрежелі гаметалар диморфизмі тән түрлер кіреді, изогамдыдан гетерогамдыға дейін. Бұл туысқа бір гаплоидты клетка гаметаларға бастама бере алатын, олар өз кезегінде когуляцияға қабілетті және мейозды бастан кешіретін, зиготаны түзетін гомоталломды формаларда және шағылысудың екі генетикалық детерминацияланатын типке бөлінген гетероталломды формалары да кіреді. Лабораториялық жағдайларда осы туысқа жататын кейбір түрлері ғана жиі қолданылады, соның ішінде *C.eugametos*, *C.smithii*, *C.reinhardtii* (34-сурет).

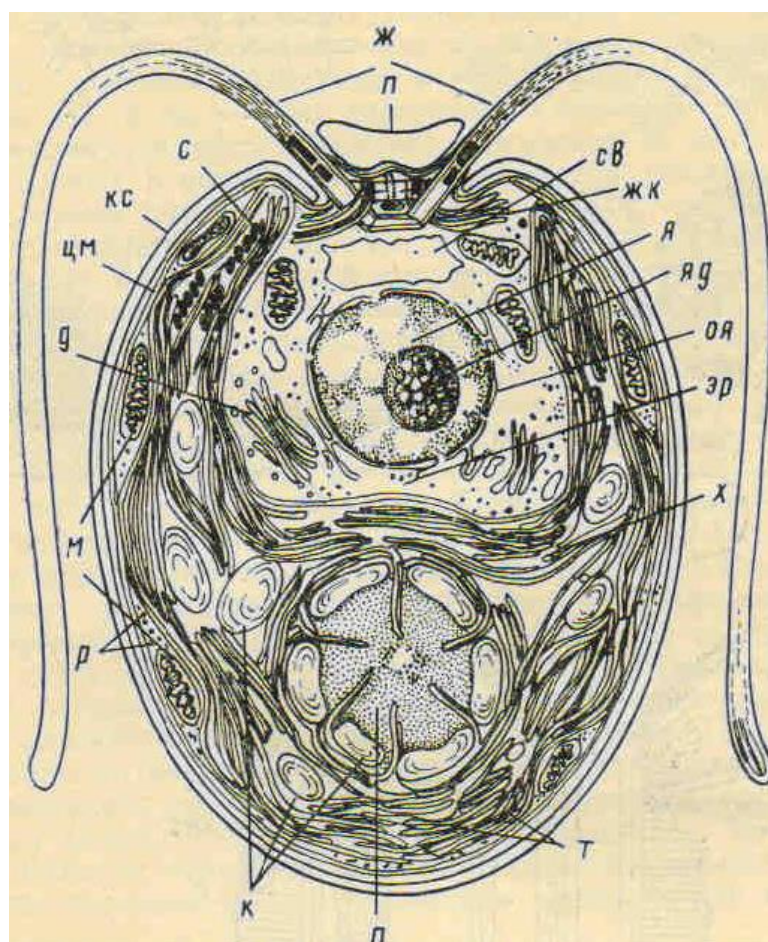
***Chlamydomonas reinhardtii* клеткаларының морфологиясы және құрылысы**

Бір клеткалы организм сыртынан клеткалық мембранамен қоршалған, мембрана сыртынан капсуламен қапталған клетка қабырғасы жанасады. Клетка қабырғасы жеті қабаттан тұрады, оның негізгі компоненттері гидроксипролинге бай гликопротеиндер мен полисахаридтер. Клеткада бір ғана ірі хлоропласт болады, ол клетка көлемінің жартысына жуығын алады. Хлоропласт ішінде фотосинтез өтетін ламеллярлы мембраналар, сонымен қатар крахмал синтезделетін пиреноид және көз дағы орналасады. Организм қозғалмалы, алдыңғы жағында орналасқан 2 талшық көмегімен жүзеді және жарықты көз дағы арқылы қабылдап, фототаксистке қабілеттілігін көрсетеді. Талшықтар құрылысы эукариоттар талшықтарына тән құрылысқа ие. Кәдімгі микроскопта бақылағанда денесінің алдыңғы ұшында екі жиырылғыш вакуольдері және ядрошығы бар ірі ядроны көруге болады. Электронды микроскопта зерттегенде жануар клеткаларының ішкі құрылысын еске түсіретін цитоплазманың күрделі құрылымдық ұйымдасуын көруге болады. Хромосоманың гаплоидты саны әртүрлі хабарлар бойынша 8-ден 16-ға дейін жетеді. Цитоплазматикалық компоненттерге көптеген митохондриялар, Гольджи мембраналарының бірнеше тобы, тегіс және дәнді эндоплазматикалық ретикулум мембраналары, рибосомалар,

микротүтікшелер, микроденешіктер және басқа да түзілулер жатады (34-сурет). Осылайша, клеткаға эукариоттық құрылым тән [13].



34-сурет. *Chlamydomonas reinhardtii*, Dangeard



35-сурет. Электронды микросурет арқылы түсірілген *Chlamydomonas* клетка құрылысының схемасы (Сэджер, 1975).

Кс – клетка қабырғасы, *цм* – цитоплазмалық мембрана, *я* – ядро, *яд* – ядрошық, *оя* – ядро қабықшасы, *х* – хлоропласт, *т* – тилакоидтар, *п* – пиреноид, *к* – крахмалды гранулалар, *с* – стигма, *δ* – диктиосома, *м* – митохондрии, *р* – рибосомалар, *эр* – эндоплазмалық ретикулум, *св* – қысқармалы вакуоль, *жс* – мұртшалар, *жск* – мұртшалар түбі, *п* – папилла.

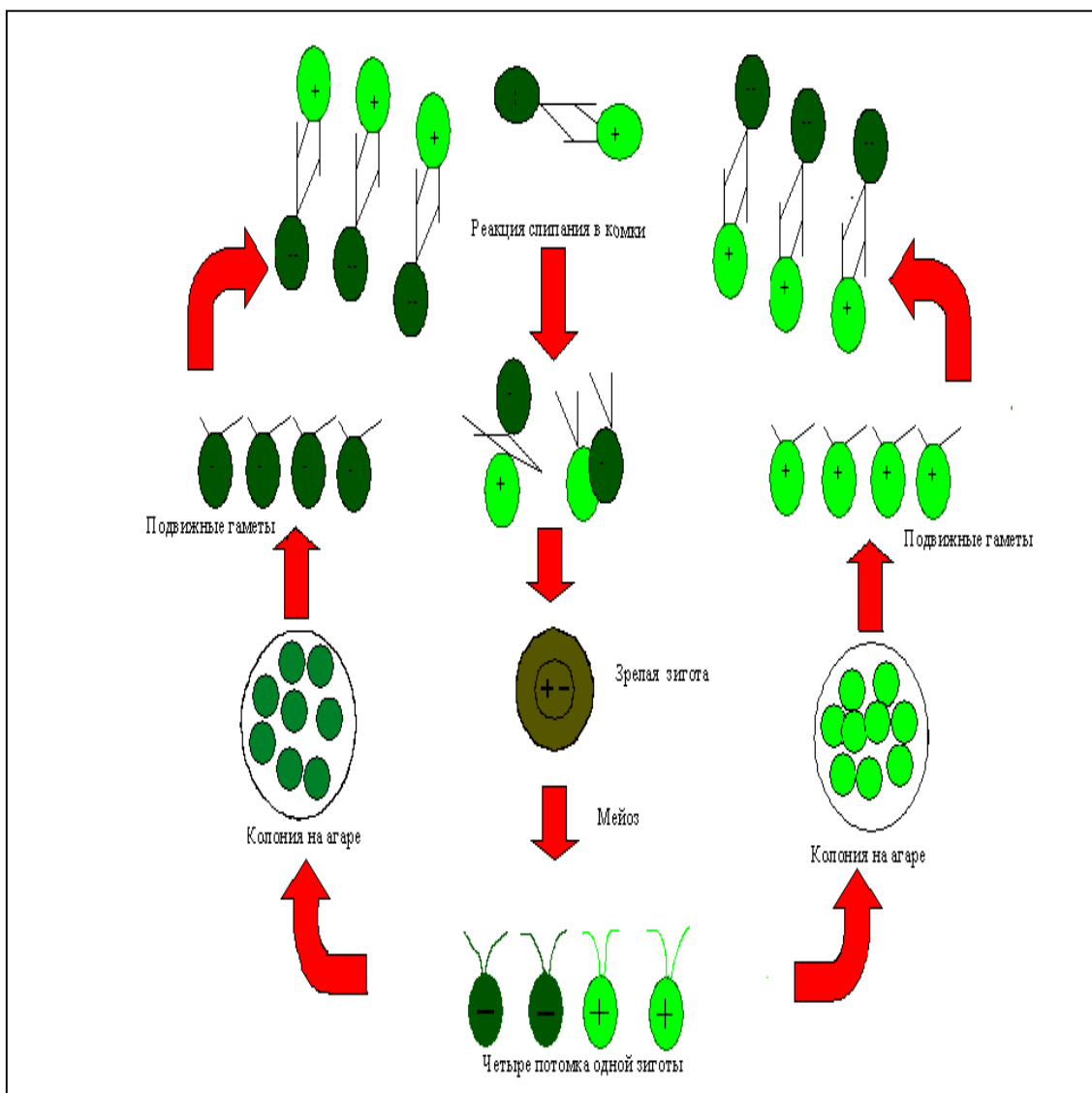
Клеткалық бөлінудің синхронизациясы және өсу

Chlamydomonas клеткалары сұйық ортада экспоненциальді өседі, орта құрамына және басқа да жағдайларға, әсіресе температура мен жарық қарқындылығына байланысты дарақтар саны тәулігіне 1-4 есе көбейеді. Дақылды сәйкес сұйылтқанда оларда ұзақ уақыт бойы тәуліктік циклде жарық пен қараңғының алмасуымен синхронды өсу жағдайын ұстауға болады. Бірклеткалы балдырларда бактериялар мен сүтқоректілер клеткаларына қарағанда өсу мен клеткалық бөліну арасында тәуелділік болмайды. Синхронды *Chlamydomonas* дақылдарында бөліну тәуліктік циклде бір рет жүреді, бірақ клеткалық массаның көбею периодында бірқатар ДНҚ репликациясы жүруі мүмкін және сәйкесінше басқа клеткалық компоненттердің саны өсе түседі, осылайша, бөліну кезінде бірден 4, 8 немесе 16 клеткалар түзіледі.

Гаметогенез және жыныстық цикл

Chlamydomonas reinhardtii изогамды түрінде шағылысудың екі типі бар, бұл екі типтің вегетативті клеткалары морфологиялық жағынан ажыратылмайды. Смит пен Регнери алғаш рет шағылысу типі жұп ядролық гендермен mt^+ және mt^- анықталатынын көрсетті, олар өздерін алелль тәрізді жүргізіп, мейоз кезінде 2:2 қатынасында ажырайды (36-сурет).

Аталық дақылдарды азоттық аштық жағдайында өсіру арқылы когуляцияны бақылау мүмкіндігінің ашылуы генетикалық және физико-химиялық зерттеулерді жүргізуді біршама жеңілдетті. Клеткаларға қоректік ортадағы әр компоненттің жетіспеушілігі салыстырыла отырып, азоттық жетіспеушілік жыныстық процесті реттейтіні анықталды.



36-сурет. *Chlamydomonas reinhardtii* клеткаларының тіршілік айналымы

Бұл эмпирикалық фактының метаболикалық негізі әлі анықталмаған, бірақ құбылыстың өзі зерттеушілермен кеңінен қолданылады. Кейтс пен Джони азоттық аштық әдісін өздері құрастырған режимге енгізіп, синхронды дақылдарды сұйық ортада өсіру арқылы бір уақытта копуляцияны алды. Кейтс және басқалар синхронды дақылда азоттық аштық тудырған гаметалардың бөлінуі кезінде клетка санының екі есеге көбейетінін және ДНҚ мөлшері вегетативті клеткалар ДНҚ мөлшерімен бірдей болатынын анықтады, бұл ДНҚ репликациясы осы уақытта екі рет жүретіндігін көрсетеді. Бірақ Чианг және басқалары гаметогенез кезінде хлоропластар ДНҚ бір-ақ рет жүретінін тапты, себебі гаметаларда ол бүкіл ДНҚ-ң 7% құраса, бастапқы вегетативті клеткаларда оның үлесі 14% дейін жетеді. Осылайша, жыныстық процесс физиологиясы ядролық ДНҚ мен хлоропласттық ДНҚ репликациясы циклінің

санын және клеткалық бөліну санын анықтайтын бірқатар реттеуші механизмдерден тұрады, бұл когуляцияға қабілетті гаметалардың түзілуіне алып келеді. Гаметалар вегетативті клеткалардан кіші мөлшерімен ерекшеленеді, сондай-ақ олар азот көзін қоспай әрі қарай ДНҚ репликациясына немесе клеткалық бөлінуге қабілетсіз және ең бастысы олар өзара құйылыса алады [14].

Когуляцияның бірінші сатысында mt^+ гаметаларын шақыратын диффуздаушы mt^- затын клеткалар бөледі, нәтижесінде клеткалар бір-бірімен жабысады. Бұл «жыныстық» заттар тек жабысу процесіне қатысады, бірақ кейінгі сатыларда ешқандай роль ойнамайды. Гаметалардың құйылысу процесінің өзі электрондық микроскопия деректері бойынша Фридманмен және басқалармен сипатталған, олар копуляция кезінде жыныстық типтер арасындағы айырмашылықты көрсетті, яғни, mt^+ клеткалары «ұрықтану түтікшесін» түзеді. Келесі сатыларда клеткалардың құйылысуынан зигота түзіледі, сонан соң хлоропластар мен ядролардың құйылысуы жүреді. Зигота қабықшасы ішінде төрт зооспораның түзілуіне алып келетін ішкі қайта ұйымдасу сатылары әлі толық сипатталмаған. ДНҚ молекуласы екі еселенген және қосылған, бірақ клеткалар әлі бөлінбеген кезде ажырау жүреді, яғни, «төрт жіпше» сатысының алмасу нәтижесі. Алмасу ықтималдығы барлық клеткалық бөлінулерінде бірдей.

Chlamydomonas reinhardtii үшін хлоропласттық және митохондриялық гендердің бір ата-аналық берілуі тән. Мейоз кезінде хлоропласттық гендер ұрпаққа 95% астам жағдайларда mt^+ ата-анадан беріледі, ал митохондриялық геном mt^- ата-анадан келеді.

***Chlamydomonas reinhardtii*–мен зерттеу жұмысын жүргізудің артықшылық негіздері**

Chlamydomonas reinhardtii – қоршаған ортадағы тірі организмдерге әртүрлі токсиканттардың генетикалық әсерін зерттеуде және гендік инженерия, фотосинтез генетикасын зерттеуге қолдану үшін моделді объект болып табылады. Себебі:

1. Бұл нағыз ядросы бар қарапайым, бір клеткалы организм, лабораториялық жағдайда оңай бақылауға болатын күрделі емес жыныстық циклі бар;
2. Қарапайым синтетикалық ортада жақсы өседі, оны массалық дақылдауға болады, сақтау кезінде тіршілігін жақсы сақтайды;
3. Зерттеу жұмыстарын жүргізуге стандартты микробиологиялық әдістерді қолдануға болады;
4. Факультативті фототроф ретінде оны фотосинтез жағдайында және гетеротрофтық қоректену жағдайында, көміртегі көзі ретінде ацетатта, өсіруге болады;
5. Изогамды (гаметалар мөлшері бірдей), гетероталломды (шағылысудың екі генетикалық детерминацияланатын типіне

- бөлінуі) түр. Шағылысу типі бір ядролық генмен анықталады, клеткалары екі типті болуы мүмкін – mt^+ немесе mt^- және екі гамета да зигота түзілуі кезінде клеткалық заттың бірдей мөлшерін енгізеді;
6. Физиолого-биохимиялық және генетикалық ерекшеліктері жақсы зерттелген. Патогенді емес.

3.3 Микробалдыр *Chlorella* биотехнологияда маңызды объект