

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

«Химиялық және биологиялық технологиялар» институты

«Химиялық және биохимиялық инженерия» кафедрасы

Назарханова Мира Қайырқызы

ДИПЛОМДЫҚ ЖОБА

Тақырыбы: «Қалдық суларда өскен цианобактерия штамдарынан биодизель алу»

5B070100 - «Биотехнология» мамандығы

Алматы 2021

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ


Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

«Химиялық және биологиялық технологиялар» институты

«Химиялық және биохимиялық инженерия» кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Химиялық және биохимиялық
инженерия кафедрасының меңгерушісі
Ph.D. докторы


_____ Рафикова Х.С.
«18» мамыр 2021 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖОБА

Тақырыбы: «Қалдық суларда өскен цианобактерия штамдарынан биодизель алу»

5B070100 - «Биотехнология» мамандығы бойынша

Орындаған

Назарханова М.Қ. 

Ғылыми жетекші

 Қосалбаев Б.Д.

«__» _____ 2021 ж.

Алматы 2021

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті


«Химиялық және биологиялық технологиялар» институты

«Химиялық және биохимиялық инженерия» кафедрасы

5B070100 – «Биотехнология»

БЕКІТЕМІН

Химиялық және биохимиялық инженерия кафедрасының меңгерушісі
Ph.D. докторы


_____ Рафикова Х.С.
«9» сәуір 2021 ж.

**Дипломдық жоба орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы Назарханова Мира Қайырқызы

Тақырыбы: «Қалдық суларда өскен цианобактерия штамдарынан биодизель алу»

Университет Ректорының 2020 жылғы "09" сәуір № 491 -б бұйрығымен бекітілген

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі 2021 жылғы "18 мамыр"

Дипломдық жобаның бастапқы берілістері: теориялық мәліметтер мен мақалалар жиыны, тақырып бойынша әдебиеттерге шолу нәтижелері және нақты нәтижелер алынды

Дипломдық жобада қарастырылатын мәселелер тізімі

а) Цианобактерия;

ә) Қалдық су;

б) Биодизель;

в) Биоэнергетика;


г) Май қышқылдары;

Ұсынылатын негізгі әдебиет: 89 атау

Дипломдық жобаны дайындау
КЕСТЕСІ

| Бөлімдер атауы, қарастырылған мәселелер тізімі | Ғылыми жетекші мен кеңесшілерге көрсету мерзімдері | Ескерту |
|--|--|-----------|
| Жобаның кіріспе бөлімі | 19.01.2021 – 27.01.2021 | орындалды |
| Әдебиетке шолу | 28.01.2021 – 10.02.2021 | орындалды |
| Материалдар мен әдістер | 20.02.2021 – 23.03.2021 | орындалды |
| Зерттеу жұмыстарын қарастыру | 24.03.2021 – 15.04.2021 | орындалды |
| Жобаны рәсімдеу | 30.04.2021 – 15.05.2021 | орындалды |

Дипломдық жұмыс бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушыларының
аяқталған жұмысқа қойылған
қолтаңбалары

| Бөлімдер атауы | Кеңесшілер аты, әкесінің аты, тегі(ғылыми дәрежесі, атағы) | Қол қойылған күн | Қолы |
|----------------|---|---------------------|---|
| Норма бақылау | Нурсұлтанов Мерей Елтайұлы | 15.05.21 |  |

Ғылыми жетекші
Ph.D. докторы,к.ғ.к.  Қосалбаев Б.Д.

Тапсырманы орындауға алған білім алушы Назарханова М.Қ.

ТҰЖЫРЫМ

Диссертация беттен, суреттен, кестеден, пайдаланылған әдебиет көздерінен тұрады.

Түйінді сөздер: цианобактериялар, биодизель, өсіру жағдайларын оңтайландыру

Мақсаты: Биоотын алу үшін цианобактериялардың өсіру жағдайларын оңтайландыру.

Міндеттері:

1. Биомасса өнімділігі үшін цианобактериялар жиынтығының сұрыптау жүргізу.

2. Цианобактериялық дақылдарды сұрыптау кезінде таңдалған *Cyanobacterium* sp. В-1200 штаммына NaHCO_3 әртүрлі концентрациясының биомасса мен липидтердің жиналуына әсерін зерттеу.

3. Қалдық суларда өсірудегі сұрыптау кезінде таңдалған цианобактерияның *Cyanobacterium* sp. В-1200 штаммына N және P әр түрлі концентрацияларын пайдалана отырып биомасса мен липидтердің жиналуы зерттеу.

Әдістері: микробиологиялық және биохимиялық әдістер.

Нәтижелер: Цианобактериялар культуралары биомассаның өнімділігіне тексерілді. Скрининг кезінде өсіру жағдайларын оңтайландыруға бағытталған кейінгі жұмыс үшін таңдалған *Cyanobacterium* sp. В-1200 штаммының ең өнімді штаммы анықталды. NaHCO_3 концентрациясының *Cyanobacterium* sp. В-1200 штаммындағы биомасса мен липидтердің жиналуына әсері зерттелді. Биомассаның біршама жоғарылауы 2% NaHCO_3 - 1,9 г / л ортада өсіру кезінде байқалды. Натрий бикарбонатының ортадағы өзгеруі зерттелген штамм жасушаларында липидтердің мөлшеріне әсер етпейді. Сондай-ақ N және P концентрациясының *Cyanobacterium* sp. В-1200 штаммына биомасса мен липидтердің жиналуына әсер ететіндігі байқалды.

Cyanobacterium sp. В-1200 штамдарындағы биомассаның ең көп мөлшері азот пен фосфордың қалыпты концентрациясы бар ортада өсіру кезінде тіркелгені анықталды. Липидтердің көп мөлшері қоршаған ортада азот концентрациясының 2 есе азаюымен және фосфордың 2 есе артуымен, 9,7% құрайды. *Cyanobacterium* sp. В-1200 жасушаларының май қышқылдарының құрамын талдау әр түрлі өсіру жағдайларында зерттелді: қалыпты орташа құрамымен және азоттың 2 есе азаюымен және фосфордың 2 есе артуы.

Тәжірибелік маңыздылығы:

Алынған мәліметтерге сәйкес, *Cyanobacterium* sp. В-1200 цианобактерия штаммы биомасса мен липидтердің жоғары өнімділігімен сипатталатын дизель отынын өндіруші ретінде пайдаланылуы ұсынылады.

РЕФЕРАТ

Дипломная работа состоит из страниц, рисунков, таблиц, использованных источников литературы.

Ключевые слова: цианобактерии, биодизель, оптимизация условий культивирования

Цель работы: Провести оптимизацию условий культивирования цианобактерий для получения биотоплива.

Задачи:

1. Провести скрининг культур коллекции цианобактерий на продуктивность биомассы.

2. Изучить влияние различных концентраций NaHCO_3 на накопление биомассы и липидов на штамм *Cyanobacterium* sp. В-1200 отобранный в ходе скрининга культур цианобактерий.

3. Изучить влияние различных концентраций N и P на накопление биомассы и липидов на штамм *Cyanobacterium* sp. В-1200 отобранный в ходе скрининга культур цианобактерий.

Методы: микробиологические и биохимические методы.

Результаты: Проведен скрининг культур цианобактерий на продуктивность биомассы. В ходе скрининга был определен наиболее продуктивный штамм *Cyanobacterium* sp. В-1200, который был выбран для последующих работ, направленных на оптимизацию условий культивирования. Было изучено влияние различных концентраций NaHCO_3 на накопление биомассы и липидов на штамм *Cyanobacterium* sp. В-1200. Заметное повышение выхода биомассы отмечено при культивировании в среде с 2% NaHCO_3 – 1.9 гр/л. В то время как изменение концентрации бикарбоната натрия в среде не влияет на количество липидов в клетках исследуемого штамма. Также, было изучено влияние различных концентраций N и P на накопление биомассы и липидов на штамм *Cyanobacterium* sp. В-1200.

Установлено, что наибольшее количество биомассы у штаммов *Cyanobacterium* sp. В-1200 зарегистрировано при культивировании в среде стандартной концентрацией азота и фосфора. В то время как наибольшее количество липидов - в среде с 2 кратным уменьшением концентрации азота, и 2 кратным повышением фосфора, что составляет – 9,7%. Проведен анализ жирнокислотного состава клеток *Cyanobacterium* sp. В-1200 при различных условиях культивирования: при стандартном составе среды и с 2 кратным понижением азота и 2 кратным повышением фосфора.

Практическое использование:

В соответствии с полученными данными штамм цианобактерии *Cyanobacterium* sp. В-1200 рекомендуется использовать в качестве продуцента дизельного топлива, характеризующееся высокой продуктивностью биомассы и липидов.

ABSTRACT

Master thesis contain pages, figures, tables, references.

Keywords: cyanobacteria, biodiesel, optimization of cultivation conditions

Purpose of the work: To optimize cultivation conditions of cyanobacteria for biofuel production.

Tasks:

1. To conduct screening of collection cultures of cyanobacteria on biomass productivity and growth rate
2. To study the influence of various concentrations of NaHCO_3 on biomass and lipid accumulation of strain *Cyanobacterium sp.B-1200* selected during screening of cyanobacteria cultures.
3. To study the influence of various concentrations of nitrogen and phosphorus on biomass and lipid accumulation of strain *Cyanobacterium sp.B-1200* selected during screening of cyanobacteria cultures.

Methods: microbiological and biochemical methods.

Results: The screening of cyanobacteria collection cultures on biomass productivity and growth rate. During screening the most productive strain *Cyanobacterium sp. B-1200* was determined. It was selected for the following investigations directed on optimization of cultivation conditions. The influence of various concentrations of sodium bicarbonate on biomass and lipid accumulation on the strain *Cyanobacterium sp. B-1200* was studied. Significant increase of biomass yield was detected under cultivation in a medium with 2% NaHCO_3 – 1.9 g/l. While, the change of concentrations of sodium bicarbonate does not influence on lipid amount in cells of investigated strain. Also, influence of various concentrations of nitrogen and phosphorus on biomass and lipid accumulation on strain *Cyanobacterium sp.B-1200* was studied. It was detected that the highest yield of biomass was at cultivation on medium with a standard concentration of nitrogen and phosphorus, while the highest lipid yield was noted at cultivation in medium with 2-fold decreased nitrogen and 2-fold increased phosphorus and was 9.7 % . The fatty acid composition analysis of lipids of *Cyanobacterium sp.* at different cultivation conditions was carried out: under standard concentrations of N and P and 2-fold decreased N and 2-fold increased P.

Practical application:

According to obtained data cyanobacteria strain *Cyanobacterium sp.B-1200* characterized by high biomass and lipid accumulation and could be recommended as a source of producer of biodiesel fuel.

CONTENT

| | | |
|-----|--|----|
| | Кіріспе | 10 |
| | Негізгі бөлім | 10 |
| 1 | Әдебиет көрінісі | 11 |
| 1.1 | Цианобактериялардың түрлері | 11 |
| 1.2 | Цианобактериялар - ғылым үшін бірегей объект. | 13 |
| 1.3 | Биодизель өндірісі - болашақтың перспективалық технологиясы | 16 |
| 1.4 | Цианодизель, цианобактериялардан | 18 |
| 2 | Материалдар мен тәсілдер | 24 |
| 2.1 | Тергеу нысаны | 24 |
| 2.2 | Цианобактерияларды өсіру | 24 |
| 2.3 | Натрий гидрокарбонаты концентрациясының липидтердің жиналуына әсері | 24 |
| 2.4 | Липидтердің жиналуына азот пен фосфордың әр түрлі концентрациясының әсері | 24 |
| 2.5 | Биомассаның өнімділігін анықтау | 24 |
| 2.6 | Биомассаны ботаинизациялау әдісі | 25 |
| 2.7 | Липидтерді алу әдісі | 25 |
| 3 | Тергеу және талқылау нәтижелері | 25 |
| 3.1 | Цианобактериялық штамдарды өсу белсенділігі мен биомассаның жинақталуы бойынша скрининг | 25 |
| 3.2 | Биомассаның жинақталуы мен цианобактерия жасушаларында липидтердің мөлшері бойынша натрий бикарбонатының концентрациясын зерттеу | 29 |
| 3.3 | Липидтердің өсуіне және жиналуына азот пен фосфор концентрациясының әсері | 33 |
| | Қорытынды | 33 |
| | Әдебиеттер | 38 |

Қысқартулар

Саг - каротиноидтар

МА – Май қышқылдары

БАД – Биологиялық активті дәрумендер

Хл - хлорофил

КІРІСПЕ

Жұмыстың өзектілігі. Дүниежүзілік мұнай қорының азаюы, қазба отынды пайдалану есебінен парниктік газдар шығарындыларының көбеюімен бірге, әлемнің энергия қажеттіліктерін тұрақты түрде қанағаттандыру үшін таза ресурстар табуға үлкен түрткі болды [1, 2].

Биоотынның жаһандық өндірісі 2000 жылдан бастап жеті есе өсті, дегенмен сұйық отынға деген соңғы қажеттіліктің тек 2,3%-ын қанағаттандырады. Жаһандық энергияны тұтыну 2007 жылы 522 экзажуладан (ЕJ) 49% -ға, 2035 жылы 780 EJ дейін өседі деп болжануда [3]. Екі негізгі энергетикалық ресурстар - шикі мұнай мен табиғи мөлшері қысқарады деп күтілуде, ал 2025 жылы болжамды энергия қажеттілігі үш есеге артады [4].

Цианобактериялар биологиялық белсенді заттардың кең спектрін алу үшін шикізат бола алады [5]. Болжам бойынша, бұл организмдер көп ұзамай Жердегі жаңартылатын отынның маңызды дақылдарының біріне айналуы мүмкін [6].

Ғылыми жаңалығы. NaHCO_3 әр түрлі концентрациясының *sp.*B-1200 биомассасының *Cyanobacterium* жиналуына әсері. Ортадағы азот пен фосфордың әр түрлі қатынасының өсу өнімділігі мен *sp.*B-1200 цианобактериясының липидті жинақталуына әсері.

Тәжірибелік мәні. Скринингтің нәтижелері бойынша ең өнімді штамм таңдалды және биомасса мен липидті өнімділікті арттыру үшін оны өсіру шарттары оңтайландырылды. Май қышқылдарының құрамына және биомассаның өсу жылдамдығына негізделген, алынған штамм *Cyanobacterium sp.* B-1200 биодизель өндірісі үшін шикізат ретінде қолданыла алады.

Зерттеу мақсаты. Пластикалық метаболизм арқылы цианобактериялар қоршаған ортаның әртүрлі жағдайларына бейімделе алады және әртүрлі пайдалы қосылыстардың, соның ішінде май қышқылдарының әлеуетті өндірушілері болып саналады.

Міндеттемелері

1. Биомассаның жиналуы үшін цианобактериялардың дақылдарын сұрыптау.

2. Әр түрлі NaHCO_3 концентрациясының скринингте таңдалған *Cyanobacterium sp.* B-1200 биомассасына және оның липид жинақталуына әсерін зерттеу.

3. Азот пен фосфордың әртүрлі концентрациясының скринингте таңдалған *Cyanobacterium sp.* B-1200 биомасса мөлшеріне және липидті жинақталуына әсерін зерттеу.

Зерттеу нысаны. Коллекциядан алынған цианобактериялардың дақылдары

Теориялық және әдістемелік негіздер. Биоотынның кең таралған түрлерінің бірі - биодизель. Биодизельді әдетте триглицеридтер моноалкогольмен (көбінесе метанол, этанол) және катализдеуші ферменттермен әрекеттескенде моноалкоголдан тұратын трансэтерификация процесін қолдана отырып рапс, соя, күнбағыс және алақан сияқты майлы

дақылдардан өндіреді. Цианобактерияларды отын шикізаты ретінде пайдалану технологиясы баламалы энергияда басты орын алады.

1 Әдебиеттерге шолу

1.1. Цианобактерия түрлері

Биоценоздардың құрамында Жерде тіршілік ететін кез-келген организмдер белгілі және ерекше орын алады, әрбірі таптырмас болып табылады және мұқият зерттеуге лайық. Алайда, белгілі бір топтардың биосфераның эволюциясы мен тіршілігінде маңызы ерекше. Мұндай топ, қазіргі заманғы ғылымда дәлелденгендей, сөзсіз цианобактериялар болып келеді.

Цианобактериялар - теңіз және тұщы су орталарынан құрлыққа дейінгі фотосинтетикалық прокариоттардың ең үлкен және кең тараған тобы [7].

Цианобактериялар - метаболизмдік қасиеттеріне байланысты табиғатта кең таралған және топырақ пен тұщы сулардан мұхиттарға дейінгі әр түрлі экологиялық қуыстарды мекендейтін микроорганизмдердің үлкен тобы және олар жердегі органикалық заттардың алғашқы өндірісіне маңызды үлес қосады. Осының бәрі цианобактерияларды фотосинтездейтін организмдердің әр түрлі биологиялық процестерін, соның ішінде оттегі фотосинтезін, азотты бекітуді, мембраналық биогенезді, жасушалардың дифференциациясын, молекулалық эволюцияны, қабылдау және стресс факторларына бейімделуді зерттеу үшін тартымды етеді [8].

Цианобактериялар жасушалардың ұйымдастырылу сипаттамалары бойынша грам теріс бактериялар болып табылады және олардың эволюциясының тәуелсіз тармағына жатады. Цианобактериялардың морфологиялық күрделілігі жоғары және молекулалық оттегінің бөлінуімен фотосинтез жүру мүмкіндігі бар. Сондықтан олардың «цианобактериялар» деген атауы жеткілікті негізделген. Формальды систематика арқылы цианобактерияларды да жоғары диапазонды таксон ретінде қарастыруға болмайды, олар Жер эволюциясында шешуші рөл атқарады және фотосинтетикалық O_2 шығуына және CO_2 қарапайым органикалық қосылыстарға сіңуіне құнды үлес қосады. Мысалы, цианобактериялар жылына шамамен барлық оттегінің 10% жуығын өндіреді [9].

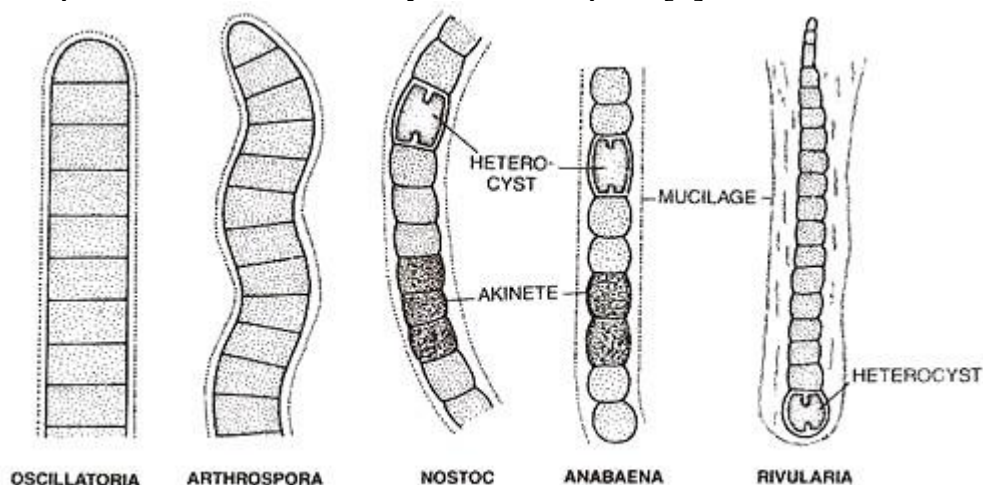


Fig. 2.17. Some common filamentous blue-green algae.

Сурет 1 - Цианобактериялардың морфологиясы және жасушалық құрылымы

Цианобактериялар - бұл жарық энергиясының негізінде тіршілік ететін фототрофты прокариоттар, сонымен қатар олар оттегі фотосинтезін жүзеге асырады, яғни көмірқышқыл газынан және молекулалық оттегі шығаратын судан органикалық заттарды синтездейді. Олар фотосинтезді оттегімен қамтамасыз етуге қабілетті ерекше прокариоттар. Цианобактериялардың құрамында өсімдік тектес хлорофилл а және суда еритін фикобиллин пигменттері бар: көк - фикоцианиндер және қызыл - фикоэритриндер. Бұл пигменттер фикобилизомаларда сақталады. Кейбір цианобактериялардың штамдарынан d және f [10, 12] үлкен толқындық хлорофиллдері де табылды.

Екі қабаттан тұратын мембраналар – бұл тилакоидтар деп аталатын фотосинтетикалық аппарат. Тилакоидтардың саны және олардың жасушада орналасу сипаты әр түрге әр түрлі, фикофилизомалар тилакоидтардың бетінде орналасқан. Бұл фотондарды түсіретін және оларды фотосинтетикалық аппараттың реакция орталықтарына өткізетін құрылымдар. Клеткада сонымен қатар рибулоза-дифосфат-карбоксилаза негізгі фермент фотосинтезінің ферментінің молекулалары құрған полиэдрлік денелер немесе карбоксисомалар бар [5].

Заманауи экологиялық ультра құрылымдық және молекулалық әдістерді қолдану көптеген организмдер туралы білімімізді өзгерте отырып, көптеген цианобактериялардың морфтық түрлерін зертетуге көмектеседі. Молекулалық мәліметтер цианобактериялардың таксономиясының негізгі критерийлерін ұсынады, сондықтан филогенетикалық жүйені түзету деректерді цианобактериялардың биоалуантүрлілігі туралы 150 жылдық зерттеулер туралы бұрынғы біліммен ұштастырып жасалынады. Сондықтан, табиғаттағы морфологиялық өзгерістерді және қазіргі заманғы морфологиялық, ультрақұрылымдық, экофизиологиялық және биохимиялық сипаттамаларды зерттеу полифазалық тәсілге біріктірілуі керек [13-17].

Цианобактериялар тіршілік ету басрысында басқа микроорганизмдермен симбиозға түседі. Цианобактерияларда жақсартылған тағы бір бейімделу оларға Жердің әртүрлі экстремалды аймақтарында өмір сүруге мүмкіндік береді [18-21].

Гетероциттері бар барлық цианобактериялар потенциалды нитрификаторлар ретінде қарастырылады. Олардың ішінде *Nostoc*, *Anabaena*, *Calothrix*, *Cylindrospermum* туыстарының өкілдері басым. Олардың әлемдегі травертин мен строматолиттер мен әктас шөгінділерінің көпшілігіне қатысуы метаболизм белсенділігінің нәтижесі болып табылады. Олар әртүрлі экожүйелердегі бәсекелік өзара әрекеттесуге көмектесетін токсиндерді шығара алады. Миллиондаған жылдар бойғы өмір сүру кезеңінде төмендемейтін ерекше өміршендігі қалыптасқан [21-23].

Биосфераның эвтрофикациясында цианобактериялар популяциясының үлкен дамуы маңызды болып келеді. Цианобактериялардың эволюциясы ұзақ мерзімді процесс. Ол цианобактерия штамдары арасында және популяциялар ішінде көлденең нуклеин қышқылының (ДНК) берілуіне негізделген және олар тез бейімделу мен акклиматизациямен үйлеседі. Бұл процесс

«статикалық дамуды» тудырады. Цианобактериялар геномының бұл икемділігі кең табиғи жағдайда қолдануға мүмкіндік береді, бұл цианобактериялардың әртүрлілігі мен өміршеңдігін және жаңа морфос пен экотиптің жедел дамуын сипаттайды. Әр түрлі молекулалық, экофизиологиялық және морфологиялық тәсілдерді қолдана отырып, қазіргі заманғы таксономия мәліметтер базасын құрудың және биоалуантүрлілікті түсінудің әдістерін біріктіруге мүмкіндік береді [24-25].

Тұщы су цианобактерияларының арасында жоғары температурада өсетін термофильді формалары да бар. Температураның жоғарғы шегі олар үшін 74 °С құрайды. Термофильді цианобактериялар барлық континенттерде, әсіресе вулкандық белсенді аймақтарда кездесетін ыстық бұлақтарда тіршілік етеді. Ресейдің Қиыр Шығысында көптеген ыстық бұлақтар бар, мұнда қою жасыл рейдтерді құрайтын цианобактериялардың мол дамуы кездеседі. Термофильді цианобактерияларға біржасушалы және жіпшелі түрлері жатады. Цианобактериялар теңіздер мен мұхиттарда тіршілік етеді. Олар планктонда, әсіресе ең кіші формалар арасында нанопланктонда дамиды. Кішкентай бір клеткалы, қызыл түске боялған және цианобактериялардың жасыл жарығын тиімді қолдануға қабілетті тереңдікте орналасқан. Олардың қызметі мұхит өнімділігін қамтамасыз етудің маңызды элементі болып табылады [26].

Микроорганизмдер кездесетін қуыстардың мөлшері де микроскопиялық, олар қоршаған ортадан жартылай немесе толығымен дерлік оқшауланған. Микроорганизмдер сыртқы жағымсыз факторлардан қорғалған, бірақ сонымен бірге олар тамақ көздерінен оқшауланған. Энергетикалық тұрғыдан мұндай қауымдастық күн сәулесіне тәуелді, олардағы элементтердің айналуы іс жүзінде жабық болуы мүмкін және қоршаған ортамен алмасу минималды түрде жүзеге асады. Сонымен қатар, криптоэндоэлитикалық қауымдастықтарға қыналар мен цианобактериялар жатады [27, 28].

1.2 Цианобактериялар – ғылым үшін маңызды объект

Цианобактериялар әртүрлі биологиялық процестерді зерттеуге арналған перспективалы модель объектілері болып саналады. Жасуша қабырғасы мен геномының ұйымдастырылуы бойынша цианобактериялар грам теріс бактерияларға, ал фотосинтетикалық аппараттың құрылымы мен оттегі фотосинтез қабілеті жоғары сатыдағы өсімдіктерге жатқызуға болады.

Қазіргі уақытта ішек таяқшасы немесе *Bacillus subtilis* сияқты цианобактериялар микроорганизмдер тобын неғұрлым белсенді зерттеуді қарастыруда. 1996 жылы бүкіл *Synechocystis* sp. PCC 6803 нуклеотидтік дәйектілігін анықтағаннан кейін [29], осы организмді және жалпы цианобактерияларды зерттеудің мүлдем жаңа кезеңі басталды.

Цианобактериялардың әртүрлілігін жасуша морфологиясының әртүрлі құрылымдық-функционалдық аспектілерінен, сондай-ақ метаболизмнің өзгеруінен, қозғалғыштығынан, жасушалардың бөлінуінен және даму биологиясынан көруге болады. Цианобактериялардың жасушадан тыс заттар

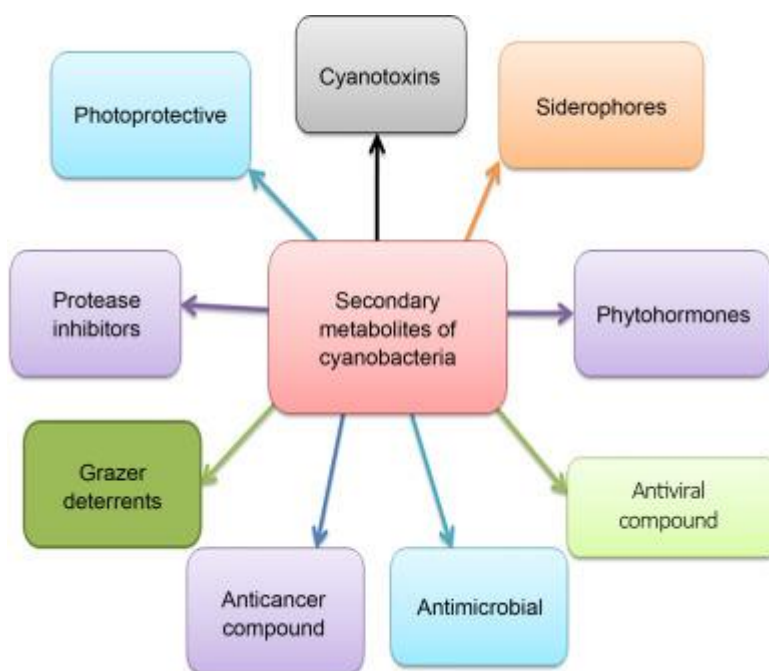
мен цианотоксиндерді өндіруі олардың басқа организмдермен өзара әрекеттесуінің әр түрлі сипатын көрсетеді [30-36].

Қазіргі уақытта цианобактериялар, әдетте, алғашқы және қайталама метаболизмде түзілетін биологиялық белсенді заттардың потенциалды көздері ретінде әрі қарайғы зерттеулердің әлеуетті көзі болып қала береді. Бастапқы метаболиттер өсуге қажет төмен молекулалық қосылыстар ретінде анықталды [37-41].

Цианобактериялар экстремалды жағдайларда тіршілік ету қабілетіне байланысты «экстремофилдер» деп аталатын микроорганизмдер тобына жатады. Зерттеулер көрсеткендей, бұл ұйымдастырушылардың биологиялық белсенді заттарды өндіруде үлкен мүмкіндіктері бар. Зерттеулер көрсеткендей, бұрын Сербиядағы әртүрлі топырақ типтері мен су көздерінен оқшауланған *Anabaena* және *Nostoc* тұқымдастарынан алынған 21 цианобактериялық штамдардан алынған метанол сығындыларының бактерияға қарсы және саңырауқұлаққа қарсы қасиеттері көрсетілген. *Nostoc* түрлерімен салыстырғанда, *Anabaena* тұқымдасының штамдары бактерияға қарсы белсенділігімен сипатталады (бактерия штамдарына орташа сезімталдығы 3% және 25,9% құрайды) [42-46].

Цианобактериялар температура, рН, қысым, гиперполиденттік, құрғақшылық және құрғақшылықтың шекті мәндерінде өсіріледі. Төтенше жағдайлар биотехнологияны қолдануға жаңа үміткерлердің пайда болуына әкеледі [47-49].

Балдырлар – жаңа биологиялық белсенді заттар мен адамның тамақтануына арналған негізгі қосылыстармен қамтамасыз ететін перспективалы микроорганизмдер [50]. Балдырлар 2-суретте көрсетілгендей сығындыларын, фракцияларын немесе таза қосылыстарды ұлғайту қажет [51, 52].



Сурет 2 - Цианобактерия жасушаларынан алынған екінші метаболиттер

Коммерциялық құнды екінші метаболиттерге антибиотиктер және басқа фармакологиялық белсенді заттар, токсиндер мен пигменттер жатады.

Цианобактериялар екінші метаболиттердің кең спектрін, соның ішінде улы және биологиялық белсенді пептидтерді құрайды. Уытты заттардың бір бөлігін медицинада қолдануға болады

Фикобилипротеидтер спектрлік қасиеттеріне байланысты оларды иммунологиялық зерттеулерде және жасушаларды сұрыптауға арналған флуоресцентті затбелгі ретінде пайдалануға мүмкіндік береді. Фикоцианин тағамдық бояу ретінде, косметика индустриясында ерін далабы мен қабаққа арналған бояғыш ретінде қолданылады. Фикоцианиннің стресстен туындаған ауруларды емдеуде терапиялық агент ретінде қолдану мүмкіндігі бар. Ол бос радикалдарды байланыстыра алады. Қабынуға қарсы тиімділігі бойынша фикоцианин стероидты емес препараттарға ұқсас. С-фикоцианиннің мидағы нейрондардың зақымдануын болдырмау қабілетіне сүйене отырып, оны Альцгеймер ауруы мен Паркинсон ауруын емдеу үшін қолдануға болатын. Фикоцианиннің вирусқа қарсы белсенділігі бар [53].

Тамақтанудағы ақуыздың жетіспеушілігі – адамзаттың ғаламдық проблема болып табылады. Ақуыздың жетіспеуі әртүрлі аурулардың пайда болуына, дене жұмысының төмендеуіне әкеледі. Ақуызға деген қажеттілік аумақтың, климаттық ерекшеліктердің шектеулі болуына байланысты дәстүрлі ауылшаруашылық және мал шаруашылығы ресурстарының негізінде шешілмейді. Цианобактерия жасушаларында ақуыздың мөлшері органикалық бөліктің 70-75% дейін жетуі мүмкін. Осылайша, цианобактериялар белок өндірісі үшін шикізат бола алады.

Биологиялық белсенді заттарды өндіру үшін цианобактерияларды өнеркәсіптік өсіру қазір көптеген елдерде жүруде. Өсірудің негізгі мақсаты - Африка мен Мексиканың табиғи жағдайында бар спиролина цианобактерияларын дақылдау болып табылады [54].

Сондай-ақ, биоэнергия үшін биомассаны қолдана отырып, ағынды суларды тазарту үшін фототрофты микроорганизмдердің штамдарын пайдалану мұндай микроорганизмдерді экологиялық биотехнологияда да, биоэнергияда да екі мақсатты пайдалануға мүмкіндік береді [55-58].

Биотын өндірісі үшін жоғары липидті материал көзі ретінде цианобактериялар назарын өзіне аударады, себебі биотындар биоыдырайтын, жаңаратын, улы емес отын болып табылады және тамақта қолданылатын дақылдармен бәсекелеспейді. Биодизельге арналған өсімдік майларымен салыстырғанда микробалдырлар майлары липидтің құрамы жоғары және өсу қарқыны да жоғары болып келеді. Биодизельді пайдалану экологиялық, ауылшаруашылық және экономикалық даму мақсаттары арасындағы тепе-теңдікке қол жеткізеді. Көп мөлшерде липидтер өндіруге қабілетті жүздеген цианобактериялық штамдар тексеріліп, олардың метаболизмі сипатталды. Кейбір цианобактерия штамдары сақтау құралы ретінде көп мөлшерде липидтер шығарады, липидтер олардың құрғақ салмағының 50-80% тұрақты түрде жетеді [59]. ДНҚ секвенциясы және

геномика цианобактериялардың таксономиясына айтарлықтай өзгерістер енгізілді. Суббірлік рибосомалық ДНҚ көптеген зерттеулерде түрлерді анықтау үшін қолданылған, өйткені олар түр деңгейінде өте сақталған аймақтарды қамтиды. Биодизель өндірісі үшін мұнай өнімділігі жоғары цианобактериялар қажет болып келеді. Цианобактериялардың түріне байланысты әр түрлі липидтер, көмірсутектер және басқа күрделі майлар өндіріледі [60]. Биомассаның өнімділігі мен липидтің жалпы құрамы биоотын көзі ретінде цианобактерияларды қолданудың экономикалық орындылығын анықтайтын негізгі параметрлердің бірі болып табылады. Құрамында липид мөлшері, биомассасы және экстремалды табиғи жағдайларға төзімділігі бар мұнай экстракциясының жақсы штамын анықтау қиын перспектива болып қала береді. Липидтер жаппай өндіріске әлі қабілетсіз болғанымен, жүйелер биологиясы мен гендік инженерия дамыған кезде балдырлардан алынатын биоотын процесі 10-15 жыл ішінде экономикалық тұрғыдан тиімді бола алады [61].

Энергия мен шикізаттың баламалы көзі ретінде биомассаға деген қызығушылық мұнай қорының сарқылуы мен парниктік газ проблемасына байланысты өсуде. Биомасса көміртектің нольдік шығарындылары бар жаңартылатын энергия көзі болып саналады, өйткені атмосфералық CO₂ фотосинтез арқылы бекітіледі. Биоотынға деген сұраныстың өсуі биодизельге және басқа көлік отынына айналуы мүмкін биомассаның өнімді, азық-түлік емес көздерін жедел іздеу қажеттілігін анықтады. 1978-1996 жылдар аралығында АҚШ Энергетика министрлігі қолдау көрсеткен «Суда жүзу бағдарламасы» микробалдырлардың биодизель өндірісінің жаңартылатын және тұрақты көзі ретіндегі артықшылықтарын көрсетті. Судағы микробалдырлардың кейбір түрлерінде май мөлшері жоғары (құрғақ салмақтағы биомассаның 60% -ына дейін) және соя бұршағы сияқты құрлық дақылдарымен салыстырғанда биодизельдің едәуір өнімді көзі бола алады. Балдырлар - бұл жемісті емес жерлерде тұзды су мен ағынды суларды қолданып өсіруге болатын азық-түлік емес ресурстар болып табылады [62-66].

М.И. Юрьев пен А.А. Теми көрсеткендей теңіздегі бір жасушалы балдырларда липидтердің (жасушалардың құрғақ массасының 14,7% -ы) және май қышқылдарының (жасушалардың құрғақ массасының 4,49%) концентрациясы жоғары болады. 50 фунт 25 лк жарықтандыру шектеулі және кәдімгі липидтер мен кәдімгі май қышқылдарының жинақталу процестері арқылы 150 лк тежеледі. Жарық қарқындылығын арттыру үшін май қышқылдарының қанықпау дәрежесінің жоғарылауы байқалды. Барлық зерттелген жарық режимдерінде май қышқылдарының құрамында пальмитин, арахидон және линолик басым болды. Экосапентаендік, экосатриендік және октадекатетраеналық қышқылдардың құрамындағы ең әсерлі өзгерістер байқалады [67].

Өсіру жағдайлары цианобактериялардың май қышқылына әсер етеді. Сонымен, жасыл балдырларды автотрофты және гетеротрофты өсіруде

линолен қышқылының мөлшері, бірінші жағдайда, линол және олеин қышқылдарының сәйкесінше төмендеуімен жүреді.

1.3 Биодизель өндірісі - болашақтың перспективалық технологиясы

Қазба отынды жаңартылатын энергия көздеріне біртіндеп ауыстыру және көлік шығарындыларын азайту бойынша шараларды жүргізу 21-ғасырдың алдыған қойған ең басты мәселе болып табылады. Биотын өндірісі кіріс көздерін және отынмен қамтамасыз етуді әртараптандыруға, ауыл тұрғындарын жұмыспен қамтуға ынталандыруға, ұзақ мерзімді қазба отынмен алмастыруды дамытуға және парниктік газдар шығарындыларын азайтуға, көлік отынын көмірсутектендіруді жеделдетуге және энергетикалық қауіпсіздікті арттыруға жаңа мүмкіндіктер ашады деп күтілуде. Биотынның ең көп таралған түрлері болып биодизель мен биоэтанол табылады, олар сәйкесінше дизель мен бензинді ауыстыра алады, қазіргі кездегі автомобильдерде автомобиль қозғалтқыштарында өзгертулер жоқ немесе мүлдем жоқ. Олар негізінен биомассадан немесе жаңартылатын энергия көздерінен өндіріледі және эквивалентті қуатқа шаққанда қазба отынына қарағанда жану шығарындыларының төмендеуіне ықпал етеді. Олар қолданыстағы технологияларды пайдалана отырып шығарылуы және қолданыстағы тарату жүйесі арқылы таратылуы мүмкін. Осы себептен биотын енді отынға балама ретінде қарастырылады, оны жүзеге асыру қиынырақ басқа нұсқалар, мысалы, сутегі болғанға дейін оңай қолдана алады [68].

Биотын пайдалы қазбаларға қарағанда әлдеқайда қымбат болса да, олардың өндірісі әлем елдерінде артып келеді. Биотынның көлікке арналған саясаттық шаралары мен міндеттерінен қуатталған оның әлемдік өндірісі 35 миллиард литрден асады [69-70]. ЕО-да дизель отынына негізгі балама биодизель болып табылады, ол биотынның жалпы көлемінің 82% құрайды, және ол Еуропада, Бразилияда және АҚШ-та саяси және экономикалық мақсаттарға сәйкес өсіп келеді. Биодизель өсімдік майларынан (тағамдық немесе тағамдық емес) немесе жануарлар майларынан өндіріледі. Өсімдік майларын адам тұтынуы үшін де қолдануға болатындықтан, бұл тағамдық майлардың құнын жоғарылатуы мүмкін, бұл биодизельдің құнын арттырады және дизельге қарағанда артықшылығы болса да, оны пайдаланудың алдын алады. Биодизельдің әлеуетті нарығы басқа нарықтарға арналмаған өсімдік майларынан едәуір асып түседі. Мысалы, ЕО мақсатына жету үшін отандық өндірістің 10%-на жету үшін шикізатпен нақты қамтамасыз ету қазіргі сұранысты қанағаттандыру үшін жеткіліксіз, ал биотын жеріне деген қажеттілік биоэнергетикалық дақылдар үшін қол жетімді егістік алқаптарынан үлкен болады. Жерді пайдалануды өзгерту және отырғызылған алқаптарды ұлғайту үшін кең плантациялар мен қысым жер үшін бәсекелестікке және қолданыстағы ормандарды кесу және экологиялық маңызы бар аймақтарды пайдалану салдарынан биоәртүрліліктің жоғалуына әкелуі мүмкін [71]. Биодизель адам үшін пайдаланылатын дақылдарды ауыстыру кезінде немесе

оның шикізаты ормандарда және басқа биологиялық алуан түрлілігімен маңызды тіршілік ететін жерлерде өсірілген жағдайда да қолайсыз болуы мүмкін. Қазір көптеген адамдар күрделі проблема ретінде қабылдаған жаһандық жылынудың жағымсыз әсерлері соңғы онжылдықта айқын байқалды және жыл сайын артып келе жатыр. Көміртек оксидтерінің және онымен байланысты бейорганикалық оксидтердің шығарындылары әлемдегі табиғи аймақтар сіңіре алатын мөлшерден көп, өйткені әлемдегі энергия қажеттілігінің 88% -ы қалпына келмейтін көміртегі негізіндегі отыннан алады.

Жақында шикі мұнай бағасының өсуіне, қазба байлықтарының шектеулі ресурстарына және экологиялық проблемаларға байланысты биодизель өндірісі үшін өсімдік майлары мен жануарлардың майларына қайта назар аударылды. Мұнайды үнемі қолдану жергілікті ауаның ластануын арттырады және CO₂ туындаған ғаламдық жылыну проблемаларын арттырады [72]. Белгілі бір жағдайда, мысалы, жабық жерасты шахталарында ластаушы заттардың шығуы, биодизель ластаушы заттардың деңгейін және әлеуетті немесе болуы мүмкін канцерогендердің деңгейін төмендетуі мүмкін. Рапс, соя және жүгері сияқты тағамдық өсімдік майлары биодизель алу үшін пайдаланылды және дизель отынының орнын басады [73]. Дегенмен, өсімдік майынан биодизель өндірісін коммерциализациялаудағы негізгі кедергі оның қымбаттылығы болып табылады, бұл жеуге жарамды майдың қымбаттауымен байланысты. Өсімдік майы, жеуге жарамды өсімдік майына қарағанда едәуір арзан, өсімдік майына перспективалы балама болып табылады.

Өткізілген өсімдік майы мен майлар әлемнің көптеген бөліктерінде қайта өңдеу проблемаларын туғызады. Бұл экологиялық проблеманы отын ретінде жұмсалған өсімдік майын дұрыс пайдалану және қайта өңдеу арқылы шешуге болады. Көптеген дамыған елдерде тамақ майы мен дренаждық қалдықтарды жоюды жазалайтын саясат қалыптасқан. Америка Құрама Штаттарындағы Энергетикалық ақпарат басқармасы АҚШ-та күніне 100 миллион галлонға жуық өсімдік майы өндіріледі деп есептейді, мұнда жан басына шаққанда өсімдік майының орташа мөлшері 9 фунт құрайды. Еуропада жиналған өсімдік майының болжамды мөлшері жылына 700000-100000 тоннаны құрайды [74].

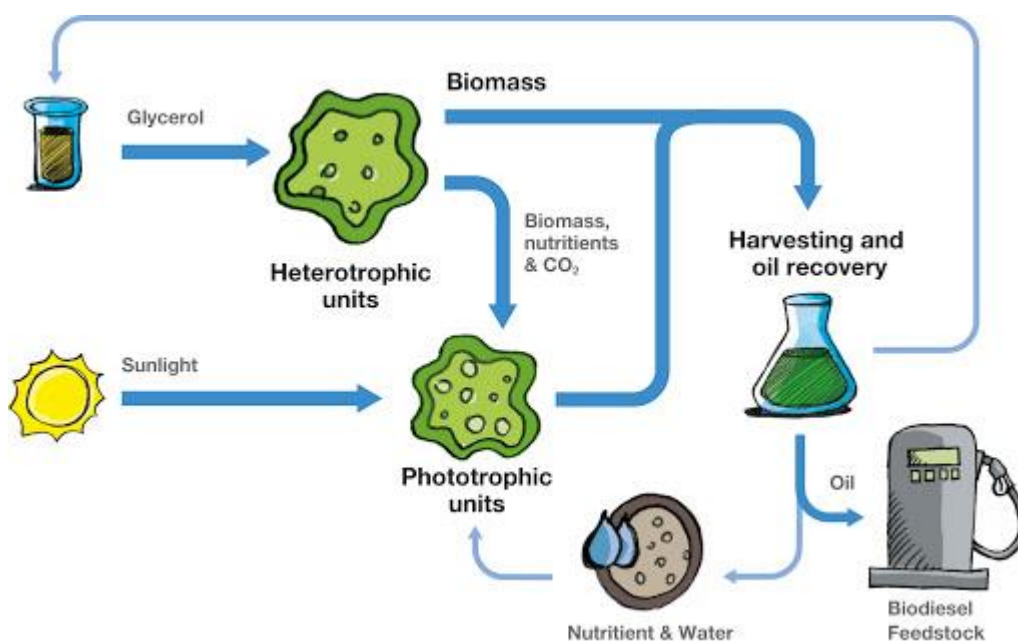
Биодизель биомасса майларынан, негізінен өсімдік майларынан өндіріледі. Биодизель бірнеше себептерге байланысты тартымды энергия көзі болып табылады. Біріншіден, биодизель - бұл тұрақты түрде жеткізілетін жаңартылатын энергия көзі. Мұнай қоры қазіргі тұтыну деңгейінде 50 жылдан аз уақытта таусылуы керек екендігі түсінікті [75]. Екіншіден, биодизель бірқатар жағымды экологиялық қасиеттерге ие болып көрінеді, нәтижесінде көміртегі диоксиді шығарындыларының артуы және күкірттің мөлшері өте төмен. Биодизельді энергия көзі ретінде пайдалану есебінен күкірт пен көміртегі оксидінің бөлінуі тиісінше 30% және 10% төмендейді. Биодизельді энергия көзі ретінде пайдалану арқылы жану газын азайтуға болады және көміртегі оксидінің азаюы биодизельдің салыстырмалы жоғары оттегімен байланысты. Сонымен қатар, биодизель құрамында хош иісті қосылыстар мен қоршаған ортаға зиянды басқа химиялық заттар жоқ. Соңғы зерттеулер

көрсеткендей, биодизельді қолдану ауаның уыттылығын және 95% қатерлі ісік ауруларын әдеттегі дизель көзімен салыстырғанда 90% төмендетуі мүмкін. Үшіншіден, биодизель айтарлықтай экономикалық әлеуетке ие сияқты, өйткені жаңартылмайтын отын ретінде қазба отынының бағасы болашақта оның қабілетсіздігін одан әрі арттырады. Сонымен, биодизель дизельдік отынға қарағанда тұтану температурасы мен биологиялық ыдырау жағынан жақсы [76].

1.4 Cyanodiesel from Cyanobacteria

Қазіргі өркениет өсіп жатқан көлемде отынды қажет етеді, ал қазіргі кезде әлемдегі сұйық отынмен қамтамасыз ету мұнайға толығымен тәуелді. Сарапшылардың пікірінше, дәстүрлі энергия көздерін өндіруді одан әрі қысқарту болжамы күтілуде. Нәтижесінде ұзақ уақыт аралығында тұрақты энергия өндірісін қамтамасыз ете алатын қалпына келетін энергияның баламалы көздеріне қызығушылық артып келеді.

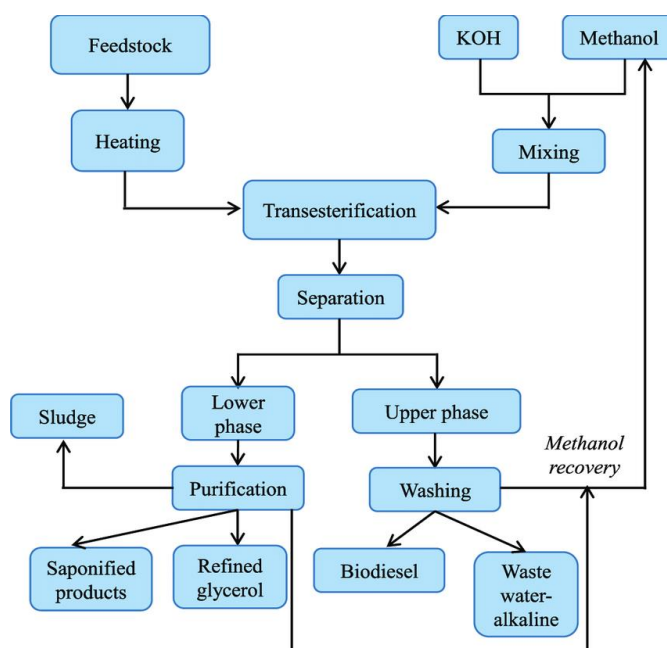
Биотынның ең көп тарағаны - биодизель [77]. Биодизельді өндірудің типтік схемасы 3-суретте көрсетілген.



Сурет 3 - Микробалдырлардан биодизельді өндіру процесі

Биодизельді әдетте рапс, соя, күнбағыс және алақан сияқты майлы дақылдардан триглицеридтер моноалкогольмен (көбінесе метанол, этанол) және катализдеуші ферменттермен әрекеттесетін моноалкольді трансэстерификация процесін қолдана отырып дайындайды [78].

Биодизель май немесе майды бір негізді спиртпен, негізінен метанолмен трансэстерификациялау арқылы дайындалады (4-сурет).



Сурет 4 - Биодизель алу үшін TAG-ті трансестерификациялау процесі

Еуропа негізінен рапсты шикізат ретінде пайдаланады, АҚШ соя бұршағын, Канада рапс, Индонезия пальма майын, кокос майын, Бразилия кастор майын пайдаланады. Қолданылған өсімдік майы, жануарлар майы, балық майы да қолданылады. Осылайша, биодизель шикізатын өндіруге үлкен аудандар бөлінеді, мұнда өсімдіктерді қорғау үшін химиялық заттардың жоғары дозалары қолданылады. Бұл топырақтың биологиялық ыдырауына және топырақтың сапасының төмендеуіне әкеледі [77].

Цианобактериялар биоотын өндірісі үшін перспективті болып табылады, негізінен олардың көбейту коэффициенті, фотосинтездің жоғары қабілеттілігі және қоректік қажеттіліктің төмендігі. Сонымен қатар, бұл организмдер құнарлы және егістік жерлер үшін бәсекеге түспейді және олардың метаболизмінің пластикасы липидті биосинтезді басқарылатын жағдайларда бағыттауға мүмкіндік береді. Соңында, цианобактериялардың кейбір штамдары генетикалық тұрғыдан оңай өзгертілуі мүмкін [39, 77].

Ол:

1. Суды оттегі фотосинтезі үшін электронды донор ретінде пайдалану мүмкіндігі

2. Қарапайым майлы дақылдармен салыстырғанда жоғары тығыздыққа және жоғары өнімділікке дейін өсу. Демек, коммерциялық өндіріс үшін цианобактерияларды жаппай өсіру тиімді болады.

3. Бұл азық-түлік емес шикізаттар.

4. Олар ауыл шаруашылығына қолайлы жерлерді пайдалануды қажет етпейді.

5. Олар су көздерінің кең спектрін пайдаланады (тұщы су, тұзды, теңіз суы және ағынды сулар).

6. Олар биоотын ғана емес, сонымен қатар құнды екінші ретті өнімдер шығарады [79].

Егер өсірілген организмдер осы липидтер мен май қышқылдарының бөлінуімен өлмесе, тірі қалса және органикалық қосылыстарды көбейтіп, жинақтай алса, биоотынның құнын едәуір төмендетуге болады (кесте 1).

Кесте 1 - Биодизель өндірісінің плюстері

| Дақыл түрлері | Биодизель (л/га*жыл) | Егіс көлемі (га*10 ⁶) | Жер беті, % | Жер жырту, % |
|---------------|----------------------|-----------------------------------|-------------|--------------|
| Мақта | 325 | 15,002 | 100,7 | 756,9 |
| Соя | 446 | 10,932 | 73,4 | 551,6 |
| Қыша | 572 | 8,524 | 57,2 | 430,1 |
| Күнбағыс | 952 | 5,121 | 34,4 | 258,4 |

Сонымен қатар, цианобактериялардың өсуі үшін тек жарық, көмірқышқыл газы және бейорганикалық заттар қажет.

Сонымен қатар, цианобактериялардың микробалдырларға қарағанда артықшылықтары бар екенін ескеру маңызды. Көптеген микробалдыр штамдарының құрамында қанықтырылмаған май қышқылдарының мөлшері көп, бұл отынды цетанның төмен липидтері мен жақсы тотығуға төзімділігі негізінде қосымша өндеусіз өндіруге мүмкіндік береді. Цетанның өте жоғары саны төмен температурада отынның тұтқырлығын арттырады. Биоотын қоспасы неғұрлым қолайлы - бұл C14: 0, C16: 0, C18: 0 және C18: 1 май қышқылының қоспасы, олар цианобактериялар мен кейбір микробалдырлар липидтерінен тұрады [77].

Фотосинтетикалық өсімдіктермен және микробалдырлармен салыстырғанда цианобактериялар генетикалық манипуляция арқылы оңай өзгереді және олар бөгде гендердің енуіне төзімді. 100-ден астам цианобактериялардың геномдары толығымен анықталды, біріншісі *Synechocystis* sp. PCC6803 1996 ж. Демек, цианобактериялар жасушаларында биосинтез реттелуінің генетикалық және метаболизмдік механизмдері белгілі.

Цианобактериялардың көптеген штамдарын олардың метаболизм белсенділігінің генетикалық модификациялары үшін қолайлы платформа ретінде оңай пайдалануға болады. Эукариотты балдырлармен салыстырғанда биоотын бөлетін модификацияланған цианобактериялар да белгілі [80].

Майдың құрамы цианобактериялардың типіне және өсу жағдайларына өте тәуелді. Құрамында бейтарап липидтер бар майлар биоотын өндірісі үшін перспективалы болып табылады. Жасушалар белсенді түрде өсіп келе жатқанда, олардың метаболизмі фотосинтезге және биомасса өндірісіне әсер етеді. Май қышқылдары фотосинтез үшін қажет фосфор және гликолипидтер сияқты полярлық липидтерге жиі синтезделеді. Өкінішке орай, полярлық липидтердің тек 30-50% -ы ғана отынға айнала алады. Бірақ жасушалар метаболикалық стрессе болған кезде, мысалы, азотты қосқанда, маңызды коректік заттардың жетіспеушілігі, өсу қарқыны төмендейді.

Anna-VIT кампус университетінде (Тиручираппали, Үндістан) *Lyngbya* sp. и *Synechococcus* sp. дақылдары ASN III, ASN III және BG-11 қоректік орталары арқылы алынған теңіз суы сияқты әр түрлі ортада биодизель шығару мүмкіндігі зерттелді. Бұл балдырлардың өсу қарқыны ASN азотының сарқылуына байланысты теңіз суында байқалды, жалпы хлорофиллге аз әсер етеді, ал *Lyngbya* sp. дақылдарындағы липидтердің мөлшері 1,4%, ал *Synechococcus* sp. 1,2% өсті. Тұздылығын 0,5-тен 1,0 М-ге дейін арттыру липидтердің санын *Lyngbya* sp.-де 2,0% -ке және *Synechococcus* sp.-де 0,8% -ке арттыратыны анықталды. Нәтижелер теңіз балдырларын биоотын өндірісі үшін жаңартылатын энергия көзі ретінде пайдалануға болатындығын көрсетті [81].

Тірі организмдер, кейбір ерекшеліктерді қоспағанда, кейіннен FAD-мен қанықпаған қаныққан СК синтездейді (5-сурет). Жасушалар мен фотосинтетикалық мембраналардың липидтері негізінен глицерол трикарбонатты алкоголь молекуласымен күрделі байланысқан екі МҚ тізбегінен тұратын диглицеридтерден немесе диацилглицеролдардан (DAG) түзілген глицеролипидтер болып табылады [80,81].

СК-дің қанықпауының өзгеруі мембранамен байланысқан ақуыздардың әр түрлі функцияларына әсер етеді, мысалы, цианобактерия жасушаларының тилакоидты және цитоплазмалық мембраналарында жүретін фотохимиялық және электронды тасымалдау реакциялары [82].

Цианобактериялық торлардағы қанықтыру туралы қолда бар эксперименттік мәліметтер $\Delta 9$ -десатураза карбоксилдегі көміртек атомдарының санын есептейді, ал $\Delta 15$ -десатураза деп аталатындар ацетил-3-десатуразия, ал көміртек атомдарының санын есептейді деп болжауға мүмкіндік береді. Региоспецификалық десатурацияның еритін ацил-ацил-ақуыз-десатуразойдың молекулалық негіздерін түсінуде айтарлықтай жетістіктерге қол жеткізілгенімен, ацил-липидті қабықпен байланысқан $\Delta 12$ -десатуразаны есептеу тәртібі әлі күнге дейін шешілмеген. Сондай-ақ, $\Delta 15$ ($\omega 3$) - *Synechocystis* sp. PCC6803 цианобактериясының десатуразасы LO 9 моноеніне қос байланыстарды енгізе алмайтындығын және оның белсенділігі үшін [83, 84] диен субстратты қажет ететіндігін ескеру қажет.

Секвенирлеу техникасының заманауи жетістіктері цианобактериялардың әртүрлі штамдарының бүкіл геномдарын анықтауға мүмкіндік берді. Цианобактериялардың көптеген түрлерінде май қышқылдарының спецификалық ацил липидтік десатуразасының гендері анықталған [80].

Кесте 2 - Әр түрлі цианобактериялық штамдардан алынған жалпы липидтердің май қышқылдық құрамы

| Fatty acids | Maintenance in Collection | | | | Culturing | | |
|--------------------------|---------------------------|-------|-------|-------|-----------|------|-------|
| | 20°C | | 47°C | | 25°C | 32°C | 32°C |
| | B-266 | B-434 | B-267 | B-453 | B-434 | | B-267 |
| 14:0 | 7.6 | tr. | 1.3 | tr. | 0.3 | 0.2 | 0.9 |
| 14:1 ^{Δ9} | 0.5 | 6.5 | 1.5 | 0.5 | 0.2 | 0.2 | 2.4 |
| 14:1* | 3.7 | tr. | – | – | 0.4 | 0.5 | – |
| 16:0 | 34.5 | 43.4 | 53.4 | 66.4 | 54.7 | 62.3 | 39.7 |
| 16:1 ^{Δ9} | 30.9 | 18.7 | 16.0 | 17.4 | 3.4 | 1.7 | 18.2 |
| 16:1* | tr. | 3.7 | 4.1 | – | 3.6 | 2.5 | 4.8 |
| 16:2** | tr. | tr. | – | – | – | – | 2.0 |
| 16:3** | tr. | tr. | – | – | – | – | 4.2 |
| 18:0 | 2.6 | tr. | 2.6 | 2.2 | 1.0 | 1.2 | 3.7 |
| 18:1 ^{Δ9} | 14.5 | 7.3 | 19.0 | 13.9 | 7.9 | 8.6 | 23.8 |
| 18:2 ^{Δ9,12} | 4.3 | 8.5 | – | – | 9.9 | 13.4 | – |
| 18:3 ^{Δ6,9,12} | 2.0 | 12.7 | – | – | 15.2 | 9.4 | – |
| 18:3 ^{Δ9,12,15} | 1.6 | tr. | – | – | 1.6 | tr. | – |
| 18:4* | – | – | – | – | 1.8 | tr. | – |
| S/U | 0.80 | 0.76 | 1.40 | 2.18 | 1.27 | 1.75 | 0.79 |

Биосинтез кезінде цианобактериялардың полярлық липидтерден тек қаныққан май қышқылдарын синтездейтіні және май қышқылдарының липидтермен байланысқан түрінде май қышқылдарының десатурациясы болатындығы дәлелденген [85].

Қанықпаған қос байланыстар теориялық тұрғыдан цис немесе транс позицияларында пайда болуы мүмкін екенін ескеру керек, бұл қос көміртекті-көміртекті байланыс конфигурациясына жатады. Бұл позициялар майлы ацил тізбегінің әртүрлі кеңістіктік құрылымын анықтайды. Табиғатта транс май қышқылдары тиісті цис қос байланыс конфигурациясының орнын ауыстырмай тікелей ферментативті изомеризациясы арқылы түзіледі. Фотосинтетикалық жасушалардың ішінде цианобактерияларда цитоплазмалық және тилакоидтық мембраналарға интеграцияланған ацил-липидті FAD бар. Бұл ферменттер глицерин магистралінде эфирленген май қышқылдарында қос байланыс түзеді

Бұл май қышқылдары адам мен жануарлардың диеталық тамақтануының негізгі компоненттері, сонымен қатар аквамадақылдардағы құнды биологиялық белсенді қоспалар болып табылады [80].

Аноксигенді фотосинтезі бар цианобактерия штамдары сирек кездеседі, олар электронды донор ретінде сульфидтерді пайдаланады, мұндай цианобактерияларда полиқанықпаған май қышқылдары жоқ [86]. Май қышқылдары, әсіресе α-линолик, оттегінің бөлінуіне жауап беретін фотожүйенің пайда болуында үлкен рөл атқарады. Алайда, цианобактериялардың кейбір түрлерінде оттегі бөлінуімен жүретін фотосинтез полиқанықпаған май қышқылдарын синтездемейді. Бұл азотты түзе алмайтын және гетеротрофты түрде өсетін цианофитаның қарапайым

мүшелері. Олардың май қышқылдарының спектрінде қаныққан пальмитин қышқылдары, ал моноэниканың аз мөлшерінде - пальмитолей және олеин қышқылдары басым. Цианобактерияларда липидтер, барлық фотосинтездейтін организмдер сияқты, галактолипидтер екендігі анықталды. Фосфолипидтер бір компонентпен - фосфат диглицеридімен ұсынылған, сонымен қатар жоғары сатыдағы өсімдіктердің жасыл балдырлары мен хлоропластарында бар [87].

Іс жүзінде барлық тірі организмдер қоршаған орта жағдайларының өзгеруіне жауап ретінде май қышқылдарының қанығу дәрежесін өзгерте алады: температура, жарық интенсивтілігі, тұз концентрациясы және осмолиттер. Температураның төмендеуі кезінде май қышқылы құрамының өзгеруі биологиялық мембраналардың физикалық қасиеттерінің өзгеруіне тікелей байланысты, оларды «мембраналық сұйықтық» немесе мембраналық липидтердің физикалық қозғалғыштығы деп те атайды. Температура төмендеген сайын биологиялық мембраналардың сұйықтығы төмендейді. Алайда, дене өз мембраналарының физикалық қасиеттерін мембрана липидтерінің майлы қышқыл тізбектеріндегі қос байланыс мөлшерін өзгерту арқылы реттей алады [89]. Биологиялық мембрана сұйықтығының өзгеруі температураны немесе осмостық қысымды қабылдаудағы алғашқы сигнал болып саналады.

Егер бактериялар мен цианобактерияларда температура 38-ден 22°C-қа дейін төмендесе, 18: 1 май қышқылдарының мөлшері 20% -дан 10% -ға дейін, ал 18: 3 мөлшері 0,1-0,5% -дан 25-30-ға дейін артады. %. 18: 2 саны төменгі температураның әсерінен алғашқы 6-10 сағат ішінде өседі, содан кейін азаяды, өйткені 18: 2 α -десатурациясы үшін субстрат болып табылады, линоликті (18: 2 Δ 9.12) α -линолендіге айналдырады [78].

Май қышқылының құрамына қоршаған ортаның әртүрлі факторларының әсері де байқалады. Мысалы, Olvera Рамирес және басқалар Мексикадағы күріш алқабынан оқшауланған *Calothrix* sp. құрамындағы май қышқылдарының құрамына қоректік ортадағы нитраттардың мөлшері әсер етті және полиқаньқаған май қышқылдарының мөлшері жоғары болды деп хабарлады. Көптеген ғалымдар сонымен қатар әртүрлі тіршілік ету орталарынан оқшауланған кейбір түрлердегі жарықтың, температураның және тұздылықтың липидтер мен май қышқылдарының құрамына әсері туралы хабарлайды. Сонымен қатар, липидтер мен май қышқылдары цианобактериялардың жасушаларының кептіру, тұздың әсерінен болатын зақымдану, төмен температура, жоғары жарық әсерінен пайда болатын фотобақылау сияқты әр түрлі қоршаған орта стрессіне төзімділігінде маңызды рөл атқарады [87].

Synechococcus жасушаларын *Synechocystis* D12 десатураза генімен трансформациялау арқылы гендік инженериямен СК-нің қанықпауының жоғарылауына қол жеткізілді. *Synechococcus* тек моноқандырылған СК синтездейді, көбіне 16: 1D9 және 18: 1D9. Ол төмен температурада өсе және көбейе алмайды. ДесА1 түрлендірілген синеккокк жасушалары глицерин

фрагментінің sn-1 позициясына дейін эфирленген D12 FA позициясында қос байланыс орната алды. Нәтижесінде LC құрамындағы өзгеріс қанықпаған LC деңгейінің моноқанықпауына байланысты жоғарылауы ретінде танылды: трансформацияланған жасушаларда моно қанықпаған және қанықпаған LC мөлшері бірдей болды.

Цианобактериялардың май қышқылдары цианодизель мен басқа да пайдалы өнімдердің жаңартылатын өндірісінің әлеуетті ізашары болуы мүмкін. Биодизельді өндіру үшін шикізат ретінде цианобактериялық май қышқылдарын пайдалану үшін олардың санын, сондай-ақ сапасын көбейту туралы қамқорлық қажет.

Цианобактериялар өзгеріп жатқан ортадан шыға алмайды. Сондықтан олар қолайсыз температура сияқты қолайсыз жағдайларда тіршілік ету мен тіршілік етудің күрделі механизмдерін жасады. Төмен температура жасушалық компоненттерде бірқатар өзгерістер тудырады, соның ішінде май қышқылының қанықпау дәрежесі, глицеролипидтердің құрамы, липид молекулаларында қаныққан және қанықпаған май қышқылдарының позициялық қайта бөлінуі, ақуыз құрамының өзгеруі және канал иондарының белсенділігі. Төмен температура дегидриндерді кодтайтын гендер, липидті тасымалдайтын ақуыздар, трансляцияның өте жоғары факторлары және кеш эмбриогенезге бай ақуыздар сияқты суық әсер ететін гендерді белсендіреді.

Мембрана липидтерінің қанықпау дәрежесі мембрана липидтерінің сұйықтығына әсер ететін негізгі фактор болып табылады. Температураның төмендеуі мембраналық сұйықтықтың төмендеуіне әкеледі, бұл май қышқылы десатураза гендерінің экспрессиясының жоғарылауына әкеледі. Бұл ферменттер мембрана липидтерінің майлы ацил тізбектеріне қос байланыстар енгізеді, осылайша мембрана сұйықтығының төмендеуін өтейді [90]. Нәтижесінде мембрана арқылы тиісті иондық градиенттерді ұстап тұру және мембранамен байланысқан ферменттердің функцияларын қалпына келтіру арқылы мембрананың физикалық қасиеттері бастапқы қалпына келеді.

Май қышқылының десатуразасының үш түрі бар: ацил-КоА десатуразалары, ацил-АСР десатуразалары және ацил-липидтік десатуразалар.

2 Материалдар мен тәсілдер

2.1 Зерттеу нысаны

Зерттеуге арналған материал үшін келесідей цианобактериялар қолданылды: *Cyanobacterium* sp. B-1200, *Cyanobacterium aponium* IPPAS B-1201, *Synechococcus elongatus* 7942.

2.2 Цианобактерияларды өсіру

Тәжірибе үшін зерттелген цианобактериялардың жасушалары зертханалық фосфор қышқылында шыны көпіршіктері бар 27°C температурасында 50 мкмоль/м² жарық қарқындылығы бар жасанды жарықтандыру және стерильді газдар мен ауамен байытылған ауа қоспасы бар ыдыстарда үздіксіз өсіріліп отырылды. Аэрация S-4000B ауа сорғысы бар BOYU ауа компрессорының көмегімен орындалды (Қытай). 1%CO₂ концентрациясы PMA-0,063 ротамерімен реттелді.

2.3 Натрий гидрокарбонаты концентрациясының липидтердің жиналуына әсері

Cyanobacterium stanieri B-1200 цианобактерияларын жинау дақылдарына тәжірибе жүргізілді. Ол үшін 10% сулы ерітіндіден NaHCO₃ - 1%, 2%, 3%, 4% концентрациясының жиынтығы дайындалды.

1% NaHCO₃ – 25 мл 10% NaHCO₃;

2% NaHCO₃ – 50 мл of 10% NaHCO₃;

3% NaHCO₃ – 75 мл of 10% NaHCO₃;

4% NaHCO₃ – 100 мл of 10% NaHCO₃.

2.4 Липидтердің жиналуына азот пен фосфордың әр түрлі концентрациясының әсері

Cyanobacterium stanieri IPPAS B-1200 шоғырлары BG-11 қоректік ортада өсірілді. NaNO₃ азот көзі ретінде, ал K₂HPO₄ фосфор көзі ретінде пайдаланылды.

1-бақылау нұсқасы: стандартты концентрацияда N-1,5 г/л, P - 0.04 г/л

Екінші нұсқа: екі элементтің де концентрациясы екі есеге өсті, N-3 г/л, P - 0.08 г/л,

3-нұсқа: N концентрациясы екі есеге төмендеді, P концентрациясы екі есеге өсті: N - 0.75 г/л, P - 0.08 г/л;

4-нұсқа: N концентрациясы екі есеге, P концентрациясы екі есеге азайды: N - 3 г/л, P - 0.02 г/л;

5-нұсқа: N концентрациясы екіге, P концентрациясы екіге азайды: N - 0.75 г/л, P - 0.02 г/л.

2.5 Биомассаның өнімділігін анықтау

Өсу жылдамдығы Горяев камерасында қарапайым санау әдісімен тәжірибелік дақылдардың суспензиясындағы 1 мл-дегі жасушалар санын көбейту арқылы анықталды [88]. Оқшауланған цианобактериялардың өсу

жылдамдығын теңдеу бойынша эксперименттік ыдыстардағы жасушалар санын көбейту арқылы есептеді:

$$k = \ln$$

N_0 - ұяшықтардың бастапқы саны; $N_t - t$ уақыттан кейінгі ұяшықтар саны.

2.6 Биомассаны ботаинизациялау әдісі

Құрғақ салмақты анықтау екі сатыда жүргізілді. Бірінші кезеңде жалпы құрғақ салмақ (цианобактериялардың тұзы) анықталды. Жасушалар 5810R центрифугада тұндырылды (Eppendorf, Германия) 5000 айн/мин. Культура 800°C-та 3 күн бойы кептірілді. Материалдың булануы мен кептірілуінен кейін пластиналар анатомиялық салмақта қайтадан өлшеніп, жалпы салмаққа негізделген жалпы салмақ (г/л) анықталды. Екінші кезеңде құрғақ қалдық аз мөлшерде тазартылған сумен тазартылды.

2.7 Липидтерді алу әдісі

1 л орта цианобактериялардың суспензиясымен бастапқы концентрациясы шамамен 1 миллион жасуша/мл себілді. Колбалар үнемі жарықпен себіліп, үздіксіз ауамен үрленіп отырды. Осындай жағдайларда 7-10 күн ішінде өсірілді. Алынған суспензия үш рет тазартылған сумен жуылды (қоректік ортаның қалдық тұздарын кетіру үшін), әр жуудан кейін оны центрифугалайды. Биомассаның концентрациясы центрифугалау арқылы жүзеге асырылды. Цианобактерияларды 45°C температурада кептіру камерасында ауамен кептірді.

Липидтердің жалпы мөлшерін Хара мен Радин әдісі арқылы анықталды. Маталардан липидтерді алудың бұл жетілдірілген әдісі гексан: изопропанолды қолданудан, содан кейін липидті емес ластаушылардан тазарту үшін сығындысын сулы сульфат натрийімен жуудан тұрады. Бұл әдіс хлороформды әдеттегі қолдануға қарағанда бірқатар артықшылықтарға ие: метанол. Еріткіштер біршама аз уытты, протеолипидті ақуыздың ластануымен араласуға жол берілмейді, жуу фазаларында екі фаза тез бөлінеді, еріткіштің тығыздығы фильтрацияға балама ретінде гомогенатты центрифугалауға мүмкіндік беретін төмен, еріткіштер арзан болып табылады.

Липидті бөліп алу техникасы: 2 грамм биомассаға 1 мл гексан: изопропанол (18: 3) құйып, қоспаны 30 секунд ішінде құйындымен өңдеп, суспензияны мембраналық сүзгіден өткізіп, НІР көмегімен қайтадан жуылды.

Қажет болса, сығындыдағы липидтерді құрамдас фильтраттарды кем дегенде 1 минут бойы 12 мл сулы натрий сульфатымен (сусыз тұз бен 15 мл судан дайындалған) араластыру арқылы кетіруге болады. Екі түрлі қабаттың әрқайсысының көлемі шамамен 18 мл болды.

3 RESULTS AND THEIR DISCUSSION

3.1 Screening of cyanobacterial strains by growth activity and biomass accumulation

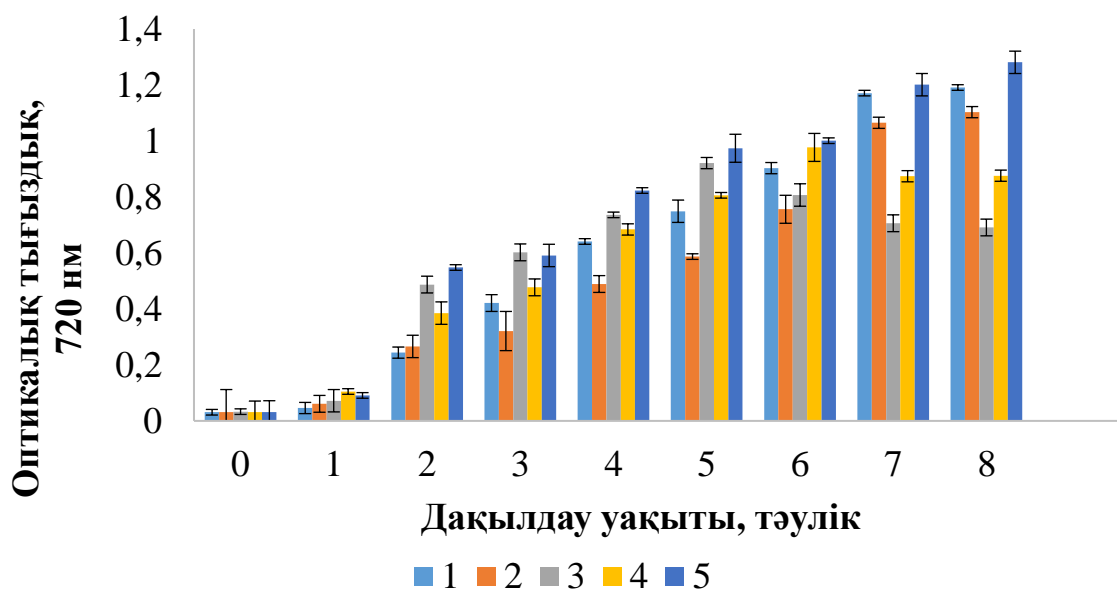
Цианобактериялардың тәжірибелік дақылдарының скринингі өнімділіктің салыстырмалы анализінің нәтижелері бойынша жүргізілді, оған өсу жылдамдығын, флуоресценцияны және құрғақ салмақты анықтау кірді. Бастапқы оптикалық тығыздық барлық жағдайда 0,03 құрады. Тәжірибелік штамдардың жасушаларының оптикалық тығыздығының өзгеруі әр күнге дейін өлшенді. Өсірудің алғашқы күнінен бастап белсенді өсу *Cyanobacterium* sp.В-1200 штаммында анықталды. Нәтижелерді визуалды түрде өсірілген штамдардың жасушалық суспензиясының түсі мен тығыздығымен бағалауға болады (5-сурет).



Сурет 5 - Зертханалық жағдайда цианобактериялардың тәжірибелік дақылдарының өсуі:

1- *Cyanobacterium* sp.В-1200; 2- *Nostoc caldicola* RI-3; 3- *Anabaena variabilis* R-I-5; 4- *Cyanobacterium aponium* IPPAS В-1201; 5- *Synechococcus elongatus* 7942.

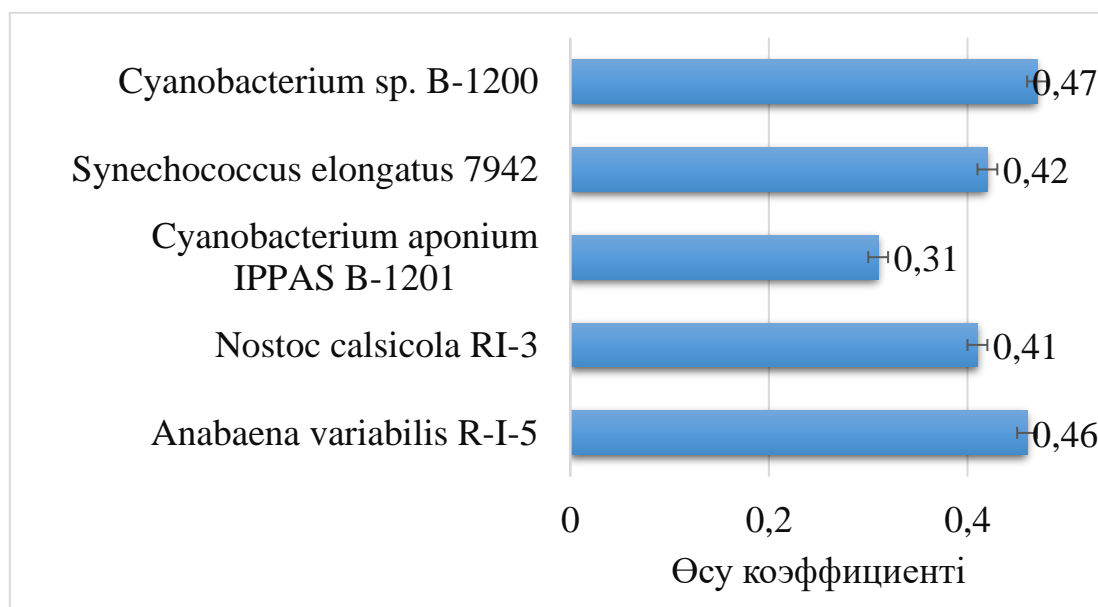
Зерттелген цианобактерия штамдарының өсу тәжірибелерінің нәтижелері көрсеткендей, *Anabaena variabilis* R-I-5, *Nostoc caldicola* RI-3 және *Cyanobacterium* sp.В-1200 штамдарының экспоненциалды өсуінің 8 күнінде өсу белсенділігінің төмендеуі анықталды. *Anabaena variabilis* R-I-5 және *Nostoc caldicola* RI-3 жасушаларының максималды тығыздығы сәйкесінше 1191 және 1.103 құрады, *Cyanobacterium* sp.В-1200 - 1.281. *Cyanobacterium aponium* IPPAS В-1201 және *Synechococcus elongatus* 7942 сәйкесінше 0,921 және 0,977 болған, бұл салыстырмалы түрде төмен өсу қарқынын көрсетеді. *Cyanobacterium aponium* IPPAS В-1201 және *Synechococcus elongatus* 7942 стационарлық фазаға өсірудің 6-7-ші күнінде, ал жетінші күннің аяғында - өлім фазасына ауысатынын ескеру қажет. *Cyanobacterium* sp.В-1200, *Anabaena variabilis* R-I-5, *Nostoc caldicola* RI-3, *Cyanobacterium aponium* IPPAS В-1201 және *Synechococcus elongatus* 7942 өсу қисықтары 6-суретте көрсетілген.



Сурет 6 - Коллекциялық жасушаларының және цианобактериялардың оқшауланған штамдарының өсу қисықтары

Белгілері: 1- *Anabaena variabilis* R-I-5; 2- *Nostoc caldicola* RI-3; 3 - *Cyanobacterium aponium* IPPAS B-1201; 4 - *Synechococcus elongatus* 7942; 5- *Cyanobacterium* sp. B-1200.

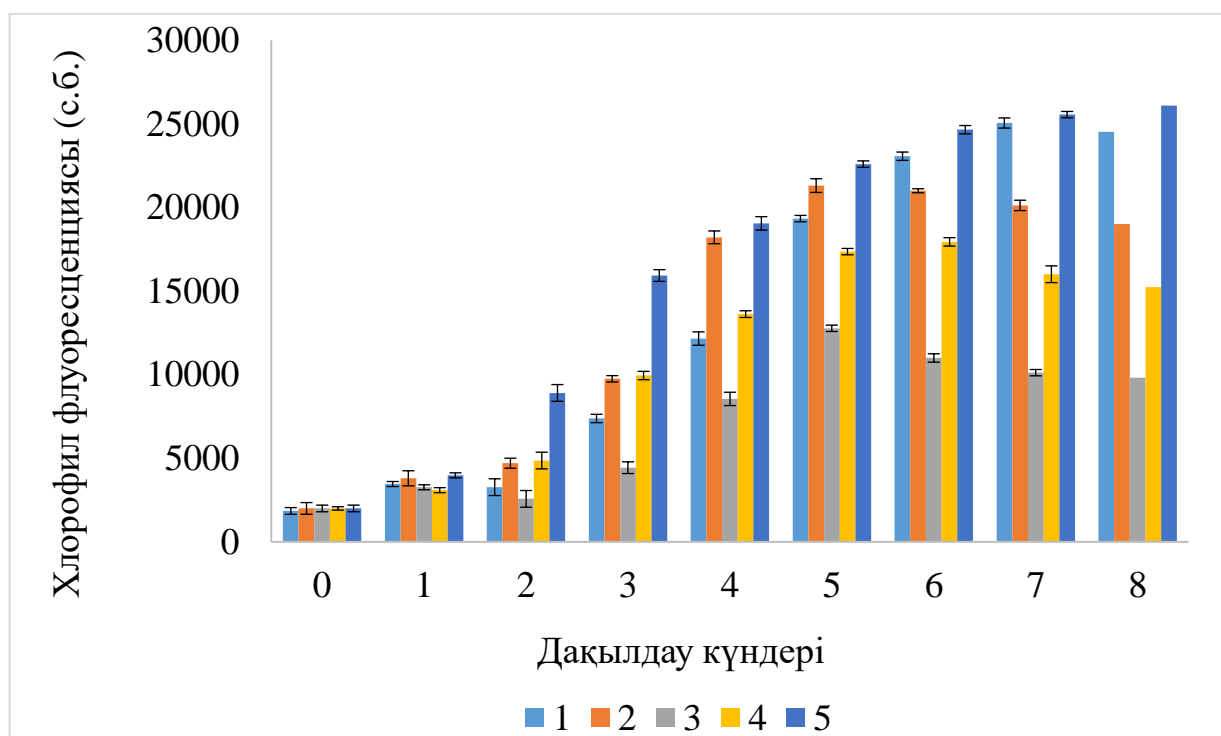
6-суретте көрсетілгендей, *Cyanobacterium* sp. B-1200, *Anabaena variabilis* RI-5 және *Nostoc caldicola* RI-3 *Cyanobacterium aponium* IPPAS B-1201 және *Synechococcus elongatus* 7942-ге қарағанда түзу өсімге ие. Өсу жылдамдығының факторларын анықтауда цианобактериялардың болжамды өсу қарқыны 7-суретте көрсетілген.



Сурет 7 - Жинау және цианобактериялардың оқшауланған штамдары клеткаларының өсу коэффициенттері

8-суретте көрсетілгендей, өсудің ең жоғары қарқыны *Cyanobacterium* sp. B-1200 және *Anabaena variabilis* R-I-5-те байқалды және сәйкесінше 0,47 және 0,46 құрады.

Зерттелетін дақылдардың оптикалық тығыздығынан басқа, суспензиядағы цианобактериялардың концентрациясын анықтау және олардың өсу жылдамдығын бағалау үшін тұрақты флуоресценция қолданылады [91]. F₀ 8 күндік культурада сыналған барлық штамдарда өлшенді. Өлшеу нәтижелері 8-суретте көрсетілген.



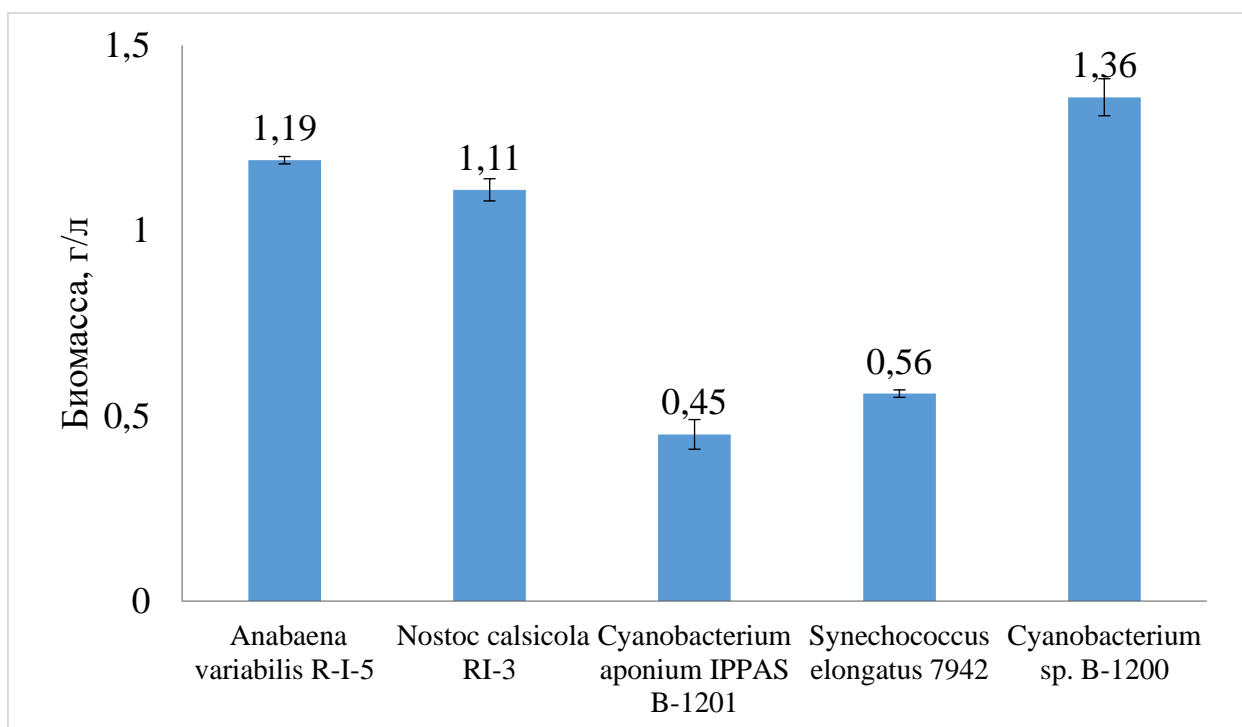
Сурет 8 - Цианобактериялардың жинау штамдарының тұрақты флуоресценциясының қисығы (F₀).

1- *Anabaena variabilis* R-I-5; 2- *Nostoc caldicola* RI-3; 3 - *Cyanobacterium aronium* IPPAS B-1201; 4 - *Synechococcus elongatus* 7942; 5- *Cyanobacterium* sp. B-1200.

Тәжірибелерге сәйкес, *Cyanobacterium* sp. B-1200 және *Anabaena variabilis* R-I-5 және сәйкесінше 26101 және 25054 салыстырмалы бірлікке тең. Ал коллекцияның басқа штамдарында бұл параметрдің максималды мәні 12775-21310 салыстырмалы бірлік аралығында болды, сондықтан өсудің баяулауы өсірудің 6-7-ші күндерінде байқалды.

Цианобактериялардың фотосинтезге қабілеттілігі, сондай-ақ прокариоттарға жататындығы, негізде тек минералды элементтері бар орталарда өсіру мүмкіндігі, осы ерекшеліктердің барлығы көбірек биомасса алуға мүмкіндік береді. Осыған байланысты біз цианобактериялардың тәжірибелік штамдарының биомассасын анықтадық. 8 күндік дақылдаудан

кейін барлық штамдардың жасушаларында құрғақ заттардың жинақталуы анықталды. Осы мақсатта тығыз культура суспензиясы центрифуга арқылы концентрацияланып, 80°C температурада 3 күн кептірілді. Тәжірибеде алынған нәтижелер 9-суретте көрсетілген.



Сурет 9. Коллекторлы және оқшауланған цианобактерия штамдарының жасушаларын өсірудің 8-ші күнінде биомассаның жинақталуы

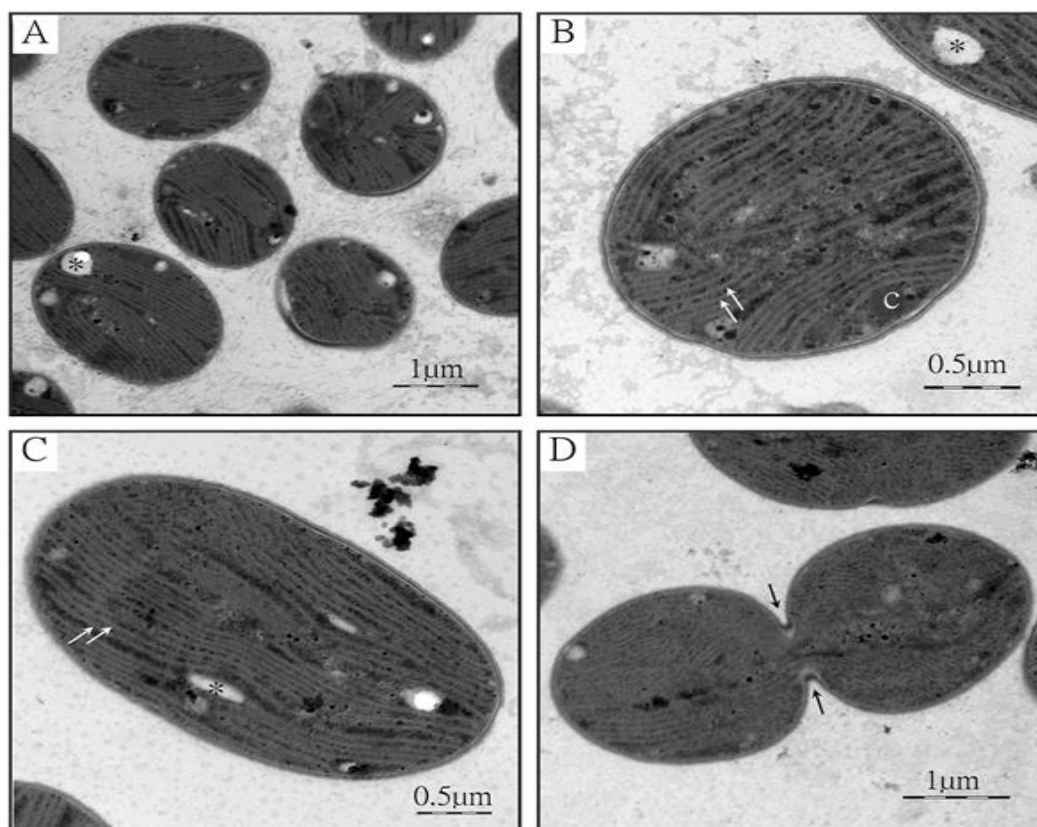
Құрғақ биомассаның жинақталуының орташа мәні *Cyanobacterium* sp. B-1200 - 1,36 г/л, *Anabaena variabilis* RI-5 штаммы үшін - 1,19 г/л, *Nostoc caldicola* RI-3 штамы үшін - 1,11 г/л, *Cyanobacterium aponium* үшін - 0,45 г/л және *Synechococcus elongatus* 7942 үшін - 0,56 г/л. 5 суретте көрсетілгендей, салыстырмалы түрде жоғары биомассаның жинақталуы *Cyanobacterium stanieri* B-1200- 1,36 г/л, *Anabaena variabilis* R-I-5 - 1,19 г/л табылды.

Cyanobacterium sp. B-1200 өсу жылдамдығының, флуоресценцияның және биомассаның өнімділігінің ең жоғары жылдамдығына ие, бұл оның жоғары өнімділігін анықтайды. Осылайша, скрининг нәтижесінде биоотын өндірісін оңтайландыру шарттары бойынша келесі зерттеулер үшін *Cyanobacterium stanieri* B-1200 штамдары таңдалды.

3.2 Биомассаның жинақталуы мен цианобактерия жасушаларында липидтердің мөлшері бойынша натрий бикарбонатының концентрациясын зерттеу

Торлардың морфологиясы мен ультрақұрылымы: бұл магистральдық торлар қозғалмалы, жалғыз немесе жұптасқаннан кейін, қақпағы жоқ, сопақша дөңгелектенген шұңқырлы, ұзындығы 4,5-7,5 мкм, ені 2,0-4,5 мкм, тікелей

немесе сәл доға тәрізді. (сурет 10), Мәдени ерекшеліктері: колониялар көк-жасыл, жарқыраған, дөңгелек, біркелкі, шеттері тікелей.



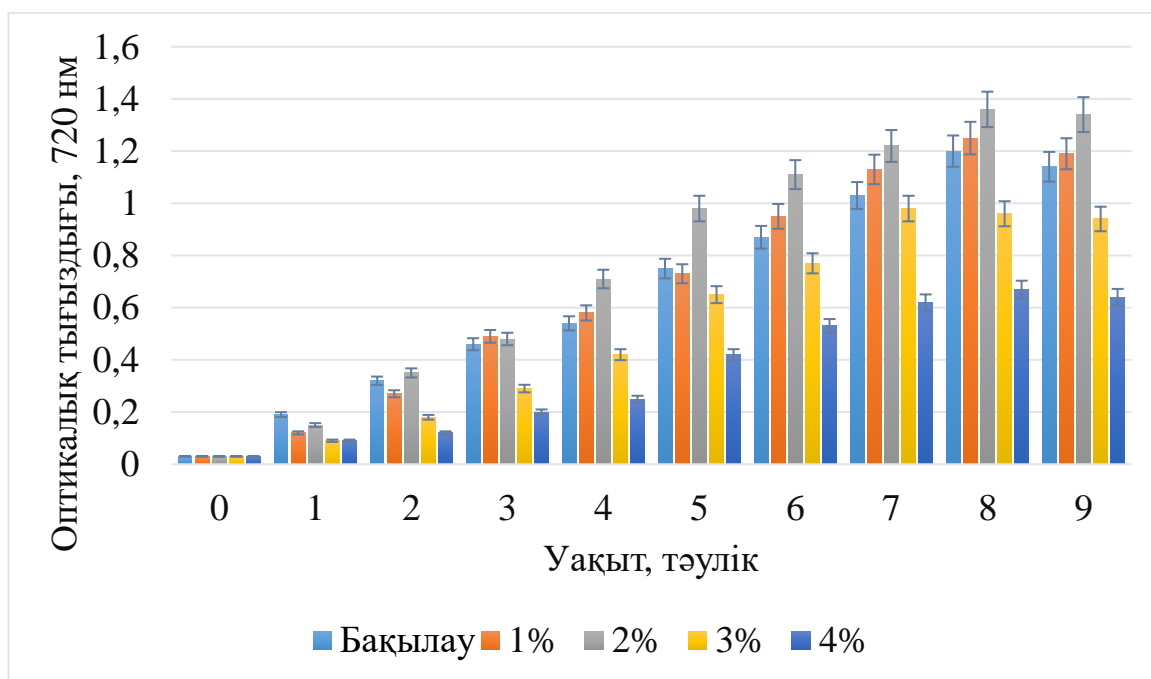
Сурет 10 - *Cyanobacterium stanieri* штаммының жасушалары

Фотосинтездейтін микроорганизмдердің автотрофты өсуі үшін әдетте CO_2 түрінде берілетін бейорганикалық көміртектің көзі қажет. CO_2 қоректік жүйеге (1) ауа айдау арқылы, (2) бикарбонат тұздары түрінде концентрацияланған CO_2 , (3) ауамен айдау арқылы берілуі мүмкін. CO_2 -ге балама интеграцияланған бикарбонат негізіндегі балдырларды алу және өндіру жүйесі деп аталатын процеске сәйкес көміртегі көзі ретінде бикарбонат тұздарын пайдалану болуы мүмкін [56]. Бикарбонат тұздарының CO_2 -мен салыстырғанда суда ерігіштігі жоғары (мысалы, $\text{NaHCO}_3 > 90$ г/л 25°C температурасында), және олардың тиімділігі CO_2 -ден жоғары болады деп күтілуде [57].

Цианобактериялар мен балдырлар сияқты судағы фотоавтотрофиялар үшін CO_2 сұйық фазада болуы төмен, нәтижесінде бейтарап немесе сәл сілтілі рН деңгейінде HCO_3^- бикарбонат ионы еріген бейорганикалық көміртектің басым түрі болып табылады. Цианобактерия жасушалары HCO_3^- -ті белгілі бір жасушалық конвейерлер көмегімен импорттай алады. HCO_3^- жасушаларында карбоксисомада шоғырланған, ол әр түрлі көмірқышқыл ангидразаларының (CA) CO_2 белсенділігіне айналады [58].

Бикарбонаттың түрлі концентрациясының (NaHCO_3 : 1%, 2%, 3%, 4%) *Cyanobacterium stanieri* IPPAS-1200 өсуіне, биомассасына және липидті

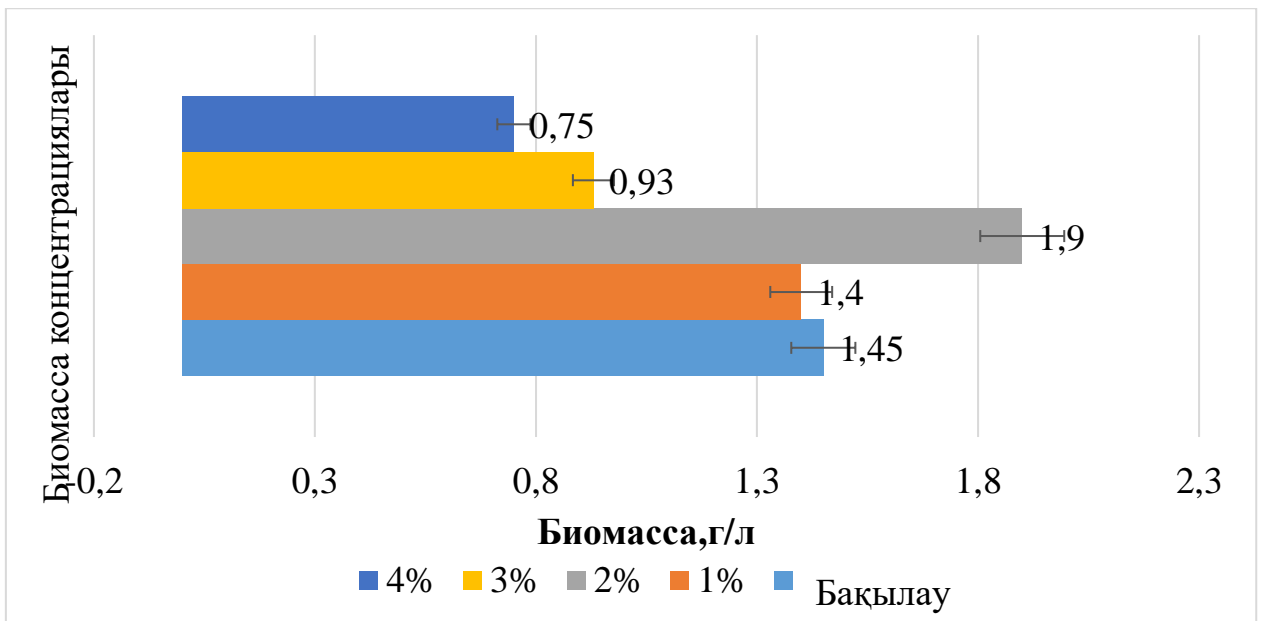
жиналуына әсері зерттелді. Цианобактериялар BG-11 сұйық қоректік ортада өсірілді. Бикарбонат концентрациясы 10% ерітіндімен анықталды. Өсу спектрофотометрмен байқалды. Бастапқы оптикалық тығыздық 0,03 OD₇₅₀ құрады. Тәжірибе нәтижесінде *Cyanobacterium stanieri* IPPAS B-1200 штаммы өсірудің 8-ші күні максималды оптикалық тығыздыққа ие болды 2% NaHCO₃ концентрациясында. 4% NaHCO₃ кезінде оптикалық тығыздық 2% NaHCO₃ концентрациясында өсіргеннен екі есе дерлік көп болды. Тәжірибелердің нәтижелері 11-суретте көрсетілген.



Сурет 11 - *Cyanobacterium* sp. strain B-1200 әр түрлі NaHCO₃ концентрациясында өсіргендегі нәтижелер

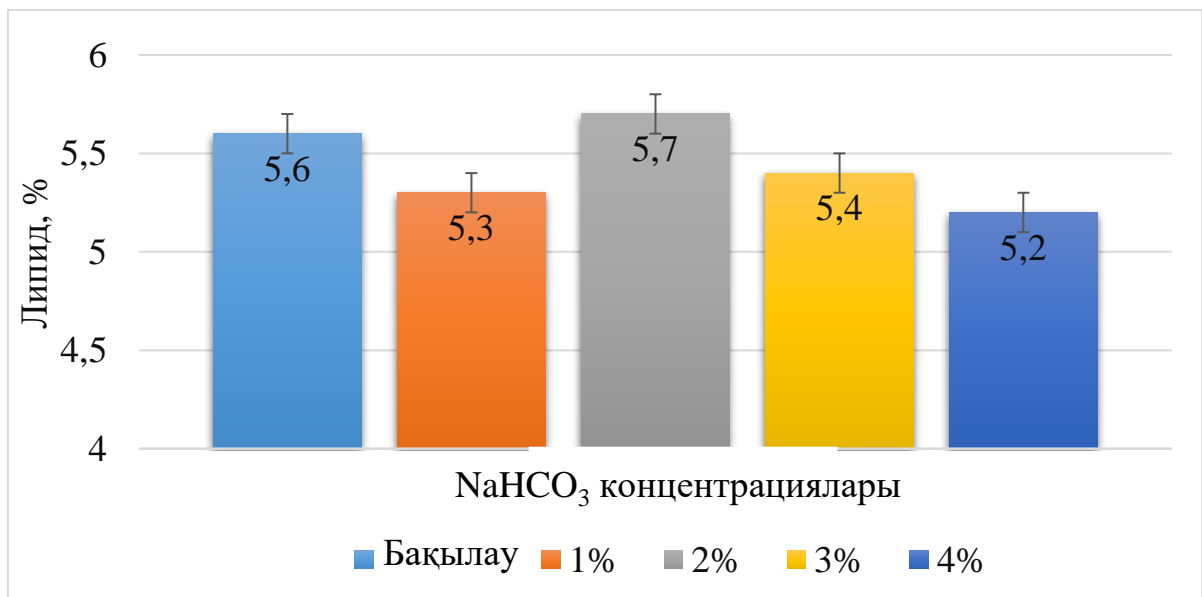
Натрий гидрокарбонатының өте жоғары концентрациясын қолдану жасушалардың өсуін баяулатады (әсіресе натрий гидрокарбонатының 4%-ында), мүмкін субстраттың тежелуіне немесе теңгерілмеген осмотық қысымға байланысты

Штамның құрғақ салмағының биомассасы осы үш жағдайда өсірілгенде қозғалмайтын өсу фазасына жету арқылы анықталды. 14-суретте көрсетілгендей, максималды биомасса шығымы 1,9 г/л бикарбонат тұзының 2% концентрациясында *Cyanobacterium* sp. B-1200 дақылын өсіру кезінде байқалды, бақылау үлгінің және 1% концентрациялы сынаманың биомасса шығымы салыстырмалы түрде жақын болды. 4% NaHCO₃ кезінде биомассаның құрғақ салмағы максималды мәнінен шамамен екі есе артық болды. *Cyanobacterium stanieri* B-1200 0,75 г/л берді, 3% NaHCO₃ кезінде бұл көрсеткіш 0,93 г/л құрады.



Сурет 12 - Әр түрлі бикарбонат концентрациясы бар ортада өсірген кезде *Cyanobacterium* sp. B-1200 құрғақ биомасса салмағының мөлшері

Сондай-ақ, липидтердің жалпы мөлшері Хара және Радин әдісімен анықталды. Нәтижелер бойынша *Cyanobacterium stanieri* IPPAS B-1200 штаммындағы зерттелетін штамдар жасушасындағы липидтердің жалпы мөлшері өсіру бойынша 5,2%-дан 5,7%-ға дейін өзгерді. Қазіргі уақытта липидтердің құрамында айтарлықтай өзгерістер бар, бірақ биомассаның жоғары өнімділік үлгілерінде липидтердің жалпы мөлшері де жоғары болады. Нәтижелер 13-суретте көрсетілген.



Сурет 13 - *Cyanobacterium stanieri* IPPAS B-1200 жасушаларында липидтердің жалпы мөлшері

Алынған нәтижелер бойынша бикарбонатты стандартты ортаға қосу сыналатын штамның биомасса шығымын арттыратыны анықталды. Оңтайлы NaHCO_3 концентрациясы - 2%, биомассаның шығымы - 1,9 г/л, ал бақылау - 1,45 г/л, бірақ одан жоғары концентрация өсудің тежелуіне әкелді. Алайда липидтердің жалпы көлемінде күрт өзгеріс жоқ, бұл параметр 5,2% -дан 5,7% -ке дейін болды. Бикарбонат *Cyanobacterium stanieri* IPPAS В-1200 жасушаларында липид өндірісін арттырмайды. Натрий гидрокарбонатының өте жоғары концентрациясын қолдану жасушалардың өсуін баяулатады (әсіресе натрий гидрокарбонатының 4% -ында), мүмкін субстраттың тежелуіне немесе теңгерілмеген осмостық қысымға байланысты

ҚОРЫТЫНДЫ

Биоотынның үшінші буынын өндіру үшін цианобактерияларды өсіру бірінші және екінші буын биоотындарын өндіру үшін қолданылатын жоғары өсімдіктерге қарағанда көптеген артықшылықтарға ие. Бұл олардың тез өсуіне, ағынды суларды пайдалануды қоса алғанда, олардың әр түрлі өсу жағдайында өсу қабілетіне, суға және басқа да ресурстарға деген қажеттіліктің төмендеуіне және өңдеуге арналған егістік жерлерді иемденбеуге байланысты. Цианобактерияларды қолдану қолайлы альтернатива болуы мүмкін, өйткені олар планетада май қышқылдарының биологиялық өндірушілері болып табылады, сонымен қатар биомассаның жаңартылатын әмбебап көзі болып табылады.

Бұл жұмыс биоотын өндірісі үшін цианобактерияларды өсіру жағдайларын оңтайландыруға арналған. Жұмыста цианобактериялардың жинау дақылдарының өнімділігі мен биомассаның өсу жылдамдығына скринингі, скрининг кезінде таңдалған *Cyanobacterium* sp. В-1200 штаммының липидтерінің жинақталуына және натрий гидрокарбонатының, азот пен фосфордың әр түрлі концентрациясының биомасса шығуына әсерін зерттеу ұсынылған.

Жұмыстан келесі келесі қорытындылар шықты:

1. Цианобактерияларды сұрыптау жұмыстарында *Cyanobacterium* sp. В-1200 биомассаның өсу жылдамдығының, флуоресценцияның және өнімділіктің жоғары өнімділігі бойынша ерекшеленді. Осылайша, өсіру жағдайларын оңтайландыру үшін келесі тәжірибеге *Cyanobacterium* sp. В-1200 таңдалды.

2. Тәжірибе нәтижесінде натрий гидрокарбонатының оңтайлы концентрациясын анықтадық (2% NaHCO_3)

Зерттеу нәтижелері бойынша жеткілікті биомасса алу үшін бикарбонат тұзының оңтайлы концентрациясы анықталынды және азоттың 2 есе төмендеуі мен фосфор концентрациясының 2 есе өсуі арасында өсіру липидтердің жоғары шығымына әкелді. Биомасса шығымынан зерттелетін май қышқылы штаммының липидті құрамы мен құрамын биодизель өндірісі үшін өндіруші ретінде пайдалануға болады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Н.У. Hu, X.Li, Y.Yu, Y.H. Wu, M. Sagehashi, and A. Sakoda, “Domestic wastewater reclamation coupled with biofuel/biomass production based on microalgae: a novel wastewater treatment process in the future,” *Journal of Water and Environment Technology*, vol. 9, pp. 199–207, 2011.
- 2 India Biofuel Annals, 2013, <http://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Biofuels%20Annual%20New%20Delhi%20India%208-13-2013.pdf>.
- 3US DOE, International Energy Outlook. Energy Information Administration, U. S. Department of Energy, Washington, DC, USA, 2010.
- 4BP Statistical Review of World Energy, 2011, [http://www.bp.com/statistical review](http://www.bp.com/statistical-review).
- 5Громов Б.В. Цианобактерии в биосфере. Энциклопедия «Современное естествознание» - М.: Изд-во МАГИСТР-ПРЕСС, 2000. - Т.2.- С. 307-313.
- 6Li Y., Horsman M., Wu N., Lan C.Q., Dubois-Calero N. Biofuels from microalgae // *Biotechnol. Prog.* -2008. -Vol. 24.-P. 815-820.
- 7Burns, R., MacDonald, C. D., McGinn, P. J. & Campbell, D. A. 2005. Inorganic carbon depletion disrupts photosynthetic acclimation to low temperature in the cyanobacterium *Synechococcus elongatus*. *J. Phycol.* 41:322–34.
- 8Schopf J. W. Microfossils of the early Archean apex chert – new evidence of the antiquity of life // *Science.* -1993. -Vol. 260. -P. 640-646
- 9 Усербаева А.А., Сарсекеева Ф.К., Болатхан К., Заядан Б.К Морфолого-культуральные свойства выделенных штаммов цианобактерий из экстремальных природных условий // *Вестник КазНУ, серия биологическая.* - 2014 - №1-2 (60). - С.414-418.
- 10Aleksandra V. Drobac - Āik, Tamara I. Duliã, Dejan B. Stojanoviã, Zorica B. Svirãev. The importance of extremophile cyanobacteria in the production of biologically active compounds // *Faculty of Sciences.* – Serbia, 2007. – P. 57—66.
- 11 Alagesan S., Gaudana S.B., Krishnakumar S., Wangikar P.P. Model based optimization of high cell density cultivation of nitrogen-fixing cyanobacteria // *Bioresour Technol.* – 2013. – Vol. 148. – P. 228-233.
- 12 Заядан Б.К. Экологическая биотехнология фототрофных микроорганизмов. – Алматы: Изд
- 13 Bisby, F.A. Characterization of biodiversity. *Global Biodiversity Assessment.* - Cambridge, 1995.- P. 21-106.
- 14 Jiri Komarek Cyanobacterial taxonomy: current problems and prospects for the integration of Traditional and molecular approaches // *Algae.*-2006.-Vol.21(4).-P.349-375
- 15 Никитина В.Н. // *Мат. XI съезда Русс. ботан. общ-ва.* - Барнаул: Изд-во «АзБука», 2003. - Т. 3. С. 129.
- 16 Заварзин Г.А., Жилина Т.Н., Кевбрин В.В. Алкалофильное микробное сообщество и его функциональное разнообразие // *Микробиология.* – 1999. – Т.68. – С. 579 –599.

- 17 Герасименко Л.М., Ушатинская Г.Т. Бактериальная палеонтология. - М.: ПИН РАН, 2002. - С. 36.
- 18 Rai, A.N. *CRC Handbook of Symbiotic Cyanobacteria.*, - Boca Raton.: CRC Press, 1990. - 253 p.
- 19 Gons, H.J. On the light-limited growth of *Scenedesmus protuberans* // Fritsch. Thesis, University of Amsterdam. – 1977
- 20 Källqvist, T. Hydroecological field experiment 1981. Incubation of Natural Phytoplankton in Lake Gjersjøen. // Norwegian Institute for Water Research, F-80402, Oslo, 1981. - 21 p.
- 21 Robarts, R.D. and Zohary, T. Temperature effects on photosynthetic capacity, respiration, and growth rates of bloom-forming cyanobacteria. // *N.Z. J. Mar. Freshwat. Res.*, 1987. - 21, P. 391-399.
- 22 Brock T.D. Thermophilic microorganisms and life at high temperatures // N.Y.: Springer-Verlag. - 1978. – P. 465.
- 23 Ormerod, J.G. Physiology of the photosynthetic prokaryotes. *Photosynthetic Prokaryotes.* // Plenum Press, New York, 1992. – P. 93-120.
- 24 Chisti Y., Biodiesel from microalgae // *Biotechnol. Adv.* -2007. – Vol.25. - P. 306–394.
- 25 Carpenter, E.J., Capone, D.G. and Reuter, J.G. Marine Pelagic Cyanobacteria: Trichodesmium and other Diazotrophs.// NATO ASI Series C, Mathematical and Physical Sciences. - Dordrecht.: Kluwer Academic Publishers, 1992. - Vol. 362.
- 26 Paerl, H.W. Growth and reproductive strategies of freshwater blue-green algae. /Growth and Reproductive Strategies of Freshwater Phytoplankton. // Cambridge University Press, Cambridge, 1988. - P. 261-315 .
- 27 Misra, S. and Kaushik, B. D. (1999), Growth promoting substances of cyanobacteria. II. Detection of amino acids, sugars and auxins. *Proc. Indian Natn. Sci. Acad.*, B 55: 499 - 504.
- 28 Vargas et al., 1998; Subhashini et al., 2003; Maslova et al., 2004; Rosales et al., 2005). Toxins produced by some cyanobacteria. *N.Z. J. Mar. Freshwat. Res.*, 1987. - 21, P. 391-399.
- 29 Metting B., Pyne J.W. Biologically active compounds from microalgae // *Enzyme Microb Technol.* 1986. –Vol. 8.- P. 386—394.
- 30 Moore R.E. Cyclic peptides and depsipeptides from cyanobacteria: a review // *J Ind Microbiol*, 1996.-Vol. 16(2). - P. 134—43.
- 31 Svirăev Z. Mikroalge i cijanobakterije u biotehnologiji, Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad, 2005.- 105 p.
- 32 Venkataraman, L. V. and Becker, E. W. (1985), *Biotechnology and Utilization of Algae - The Indian Experience.* Dept. Sci. Technol. New Delhi, India and CFTRI, Mysore, India. 257 pp
- 33 Kannan, V. and Subramanian, D. (1992), Effect of removal of molybdenum in two cyanobacteria *Tolypothrix tenuis* (Kütz) Schmidt em. and *Mastigocladus laminosus* Cohn. *Indian J. Microbiol.*, 32:185 - 187.

34 Ленгелер Й., Древе Г., Шлегель Г. Современная микробиология: прокариоты: в 2 т.; пер. с англ. – М.: Мир, -2005. – 695 с.

35 Raquel S. Cordeiro, Izabela C.D., Sérgia M.S. Magalhães, Francisco A.R. Barbosa. Effects of nutritional conditions on lipid production by cyanobacteria An Acad Bras Cienc (2017) 89 (3 Suppl.) Anais da Academia Brasileira de Ciências (2017) 89(3 Suppl.): 2021-2031

36 Li y, Horsman M, Wang B., Wu N. and Lan C. Effects of nitrogen sources on cell growth and lipid accumulation of green alga *Neochloris oleoabundans*. 2008 Appl Microbiol Biotechnol 81(4): 629-636.

37 Dhup S., Dhawan V. Effect of nitrogen concentration on lipid productivity and fatty acid composition of *Monoraphidium* sp. Bioresource Technol, 2014- 152: 572-575.

38 Alonso D.L., Belarbi E.H., Fernández-Sevilla J.M., Rodríguez-Ruiz J., Grima E.M. Acyl lipid composition variation related to culture age and nitrogen concentration in continuous culture of the microalga *Phaeodactylum tricornutum*. Phytochemistry 2000- 54(5): 461-471.

39 Xin L., Hong-Ying H., Ke G., Ying-Xue S. Effects of different nitrogen and phosphorus concentrations on the growth, nutrient uptake, and lipid accumulation of a freshwater microalga *Scenedesmus* sp. Bioresour Technol 2010 - 101(14): 5494-5500.

40 Rodolfi, L., Zittelli, G.C., Bassi, N., Padovani, G., Biondi, N., Bonini, G., Tredici, M.R. Microalgae for oil: strain selection, induction of lipid synthesis and outdoor mass cultivation in a low-cost photobioreactor. Biotechnology and Bioengineering, 2009 - 102 (1), 100–112.

41 Goldberg, I.K., Cohen, Z.. The effect of phosphate starvation on the lipid and fatty acid composition of the fresh water eustigmatophyte *Monodus subterraneus*. Phytochemistry, 2006 - 67, 696–701.

42 Markou G., Angelidaki I, Georgakakis D. Microalgal carbohydrates: an overview of the factors influencing carbohydrates production, and of main bioconversion technologies for production of biofuels. Appl Microbiol Biot, 2012 - 96: 631-645.

43 Pancha I., Chokshi K., George B., Ghosh T., Paliwal C., Maurya R. Mishra S. Nitrogen stress triggered biochemical and morphological changes in the microalgae *Scenedesmus* sp. CCNM 1077. Bioresour Technol, 2014 - 156: 146-154.

44 George B., Pancha I., Desai C., Chokshi K., Paliwal C., Ghosh T., Mishra S. Effects of different media composition, light intensity and photoperiod on morphology and physiology of freshwater microalgae *Ankistrodesmus falcatus* – A potential strain for bio-fuel production. Bioresource Technol, 2014- 171: 367-374

45 Borowitzka M.A. Fats, oils and hydrocarbons // Micro-Algal biotechnology .-2000.- Cambridge University Press.- P. 257-287

46 Russell N.J. Alteration in fatty acid chain length in *Micrococcus cryophylus* grown at different temperatures // Biochim. Biophys. Acta 231.-2003.- P. 254-256

- 47 Russell N.J. Cold adaptation of microorganisms. *Philos. // Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci*-2009.- Vol.326.- P. 595-608.
- 48 Bhatti S. & Colman B. Evidence for the occurrence of photorespiration in synurophyte algae. *Photosynth Res.*, 2011 - 109:251–256.
- 49 Axelsson L., Larsson C., Ryberg H. Affinity, capacity and oxygen sensitivity of two different mechanisms for bicarbonate utilization in *Ulva lactuca* L. (Chlorophyta). *Plant Cell Environ.*, 1999 -22:969–978.
- 50 Badger, M. R. & Price, G. D.. CO₂ concentrating mechanisms in cyanobacteria: molecular components, their diversity and evolution. *J. Exp. Bot.*, 2003 - 54:609–22.
- 51 Burkhardt, S., Amoroso, G., Riebesell, U. & Suñltmeyer, D. CO₂ and HCO₃ uptake in marine diatoms acclimated to different CO₂ concentrations. *Limnol. Oceanogr.*, 2001 - 46:1378–91.
- 52 Aizawa K, Miyachi S., Carbonic anhydrase and CO₂ concentrating mechanisms in microalgae and cyanobacteria. *FEMS Microbiol Rev.*, 1986 - 39: 215-233
- 53 Tsuzuki M, Gantar M, Aizawa K, Miyachi S., Ultrastructure of *Dunaliella tertiolecta* cells grown under low and high CO₂ concentrations. *Plant Cell Physiol*, 1986 - 27: 737-739
- 54 Turpin D.H., Miller A.G., Calvin D., Carboxysome content of *Synechococcus leopoliensis* (Cyanophyta) in response to inorganic carbon. *J Phycol.*, 1984 - 20: 249-25
- 55 Dickson L.G., Galloway R.A., Patterson G.W., Environmentally-induced changes in the fatty acids of *Chlorella*. *Plant Physiol.*, 1969 - 44: 1413-1416
- 56 Chi Z., O'Fallon J. V., Chen S., Bicarbonate produced from carbon capture for algae culture. *Trends in Biotechnology*, 2011 – 29(11), 537–541.
- 57 Markou G., Vandamme D., Muylaert K., Microalgal and cyanobacterial cultivation: the supply of nutrients. *Water Research*, 2014 - 65, 186–202.
- 58 Kamennaya N.A., Ahn S., Park H., Bartal R., Sasoki K.A., Holman H., Jansson C., Installing extra bicarbonate transporters in the cyanobacterium *Synechocystis* sp. PCC 6803 enhances biomass production. *Metabolic Engineering*, 2015 - 29, 79–85.
- 59 Carlos Eduardo de Farias Silva, Barbara Gris, Eleonora Sforza, Nicoletta La Rocca, Alberto Bertucco, Effects of Sodium Bicarbonate on Biomass and Carbohydrate Production in *Synechococcus* PCC 7002. *Chemical engineering transactions*, 2016 - vol. 49, 241-246.
- 60 Gardner, R.D., Cooksey, K.E., Mus, F., Macur, R., Moll, K., Eustance, E., Carlson, R.P., Gerlach, R., Fields, M.W., Peyton, B.M., Use of sodium bicarbonate to stimulate triacylglycerol accumulation in the chlorophyte *Scenedesmus* sp. and the diatom *Phaeodactylum tricornutum*. *J. Appl. Phycol.*, 2012 - 24, 1311–1320

- 61 White, D.A., Pagarette, A., Rooks, P., Ali, S.T.,.The effect of sodium bicarbonate supplementation on growth and biochemical composition of marine microalgae cultures. *J. Appl. Phycol.*, 2013 - 25, 153–165
- 62 Bywaters, K.F., Fritsen, C.H., Biomass and neutral lipid production in geothermal microalgal consortia. *Front. Bioeng. Biotechnol.*, 2015 2, 1–11.
- 63 Knothe, G.,“Designer” biodiesel: optimizing fatty ester composition to improve fuel properties. *Energy Fuel*, 2008 - 22, 1358–1364.
- 64 Fay, P. and Van Baalen, C. *The Cyanobacteria*. - Elsevier, Amsterdam, 1987. - 534 p.
- 65 Намсараев Б.Б., Абидуева Е.Ю., Лаврентьева Е.В. и др. ЭКОЛОГИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ВОДНЫХ СИСТЕМ: учеб. Пособие.– Улан-Удэ: Изд-во: Бурятского госуниверситета, 2008. – 94 с.
- 66 Mayer, A. M., Hamann, M.T., Marine pharmacology in 2000: marine compounds with antibacterial, anticoagulant, antifungal, anti-inflammatory, antimalarial, antiplatelet, antituberculosis, and antiviral activities; affecting the cardiovascular, immune, and nervous system and other miscellaneous mechanisms of action. *Mar. Biotechnol.*, 2004 - 6: 37–52.
- 67 Dos Santos, M. D.; Guaratini, T.; Lopes, J. L. C.; Colepicolo, P. and Lopes, N. P. Plant cell and microalgae culture. In: *Modern Biotechnology in Medicinal Chemistry and Industry*. 2008 Research Signpost, Kerala, India.
- 68 Ormerod, J.G. Physiology of the photosynthetic prokaryotes. *Photosynthetic Prokaryotes*. // Plenum Press, New York, 1992. – P. 93-120.
- 69 Subhashini, R.; Kumar, K. and Kannaiyan, S., Intrinsic antibiotic resistance and biochemical characteristics of *Anabaena azollae* isolated from *Azolla* - cultures. *Indian J. Microbiol.*, 2003 - **43**; 165 -169
- 70 COM 34 final. An EU strategy for biofuels. Commission of the European Communities, Brussels, 2006- 8.2.2006.
- 71 Scarlat N., Dallemand J.F., Pinilla F.G. Impact on agricultural land resources of biofuels production and use in the European Union. In: *Bioenergy: challenges and opportunities*. International conference and exhibition on bioenergy; 2008.
- 72 Baruch, J.J. Combating global warming while enhancing the future. *Technol. Soc.* 2008 - 30,111–121.
- 73 Sheehan, J.; Cambreco, J.; Graboski, M.; Shapouri, H. An overview of biodiesel and petroleum diesel life cycles. US Department of agriculture and Energy Report, p. 1–35.
- 74 Ma, F.; Hanna, M. A. Biodiesel production: a review. *Bioresour Technol.*, 1999 - 70: 1–15.
- 75 Antolin, G.; Tinaut, F. V.; Briceno, Y. Optimisation of biodiesel production by sunflower oil transesterification. *Bioresour Technol.* , 2002 - 83:111–4.
- 76 Radich, A. (2006). Biodiesel performance, costs, and use. US Energy Information Administration.

- 77 Sarsekeyeva F., Zayadan B.K., Ussebaeva A., Bedbenov V.S., Sinetova M.A., Los D.A. Cyanofuels – biofuels from cyanobacteria: reality and perspectives // *Photosynth. Res.* -2015. –Vol. 125.- P. 329-340.
- 78 Knothe G. Improving biodiesel fuel properties by modifying fatty ester composition // *Energy Environ. Sci.* - 2009. - Vol.2. - P. 759-766
- 79 Karatay S.E., Dönmez G. Microbial oil production from thermophile cyanobacteria for biodiesel production // *Appl. Ener.* -2011. -Vol. 88. -P. 3632-3635.
- 80 Лось Д.А. Десатуразы жирных кислот. М: Изд: Научный мир.-2014.- 370 с.
- 81 Kenyon C.N., Stanier R.Y. Possible evolutionary significance of polyunsaturated fatty acids in blue-green algae// *Nature.*-1970.- Vol. 227.- P. 1164-1166.
- 82 Los, D.A.; Mironov, K.S.; Allakhverdiev, S.I. Regulatory role of membrane fluidity in gene expression and physiological functions. *Photosynth. Res.* 2013, 116, 489–509
- 83 Murata, N.; Wada, H.; Gombos, Z. Modes of fatty-acid desaturation in cyanobacteria. *Plant Cell Physiol.*1992, 33, 933–941.
- 84 Mironov, K.S.; Sidorov, R.A.; Trofimova, M.S.; Bedbenov, V.S.; Tsydendambaev, V.D.; Allakhverdiev, S.I.; Los, D.A. Light-dependent cold-induced fatty acid unsaturation, changes in membrane fluidity, and alterations in gene expression in *Synechocystis* *Biochim. Biophys. Acta* 2012, 1817, 1352–1359
- 85 Lapage G, and Roy C.C., Improved recovery of fatty acid through direct transesterification without prior extraction of purification. *J Lipid Res* 1984 - 25, 1391–6.
- 86 Karkos P.D., Leong S.C., Karkos C.D., Sivaji N. and Assimakopoulos D.A. *Spirulina in Clinical Practice: Evidence-Based Human Applications (EN) // Evid Based Complement Alternat Med : Published online. — 2010. — T. vol.2011. — DOI:10.1093/ecam/nen058 — PMID PMC3136577*
- 87 Lem N. W., Stumpf P.K. In vitro fatty acid synthesis and complete lipid metabolism in the cyanobacterium *Anabaena variabilis*. I. Some characteristics of fatty acid synthesis // *Plant physiology* .-1984.- Vol. 74.- P. 134-138.
- 88 Топачевский А.В. Вопросы цитологии, морфологии, биологии и физиологии водорослей. – Киев: Изд-во АН УССР. - 1962. – 256 с.
- 89 Suresh C. Singh, Rajeshwar P.Sinha, Donat P.Hader. Role of Lipids and Fatty Acids in Stress Tolerance in Cyanobacteria // *Acta Protozool.* 2002, Vol. 41.-P. 297-308.