

ISSN 1563-0218; eISSN 2617-7498

ӘЛ-ФАРАБИ атындағы ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ

ХАБАРШЫ

Биология сериясы

КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени АЛЬ-ФАРАБИ

ВЕСТНИК

Серия биологическая

AL-FARABI KAZAKH NATIONAL UNIVERSITY

EXPERIMENTAL BIOLOGY

№4 (105)

Алматы
“Қазақ университеті”
2025



ISSN 1563-0218; eISSN 2617-7498

ХАБАРШЫ

БИОЛОГИЯ СЕРИЯСЫ №4 (105) желтоқсан



04.05.2017 ж. Қазақстан Республикасының Ақпарат және коммуникация министрлігінде тіркелген

Қуәлік № 16494-Ж

*Журнал жылына 4 рет жарыққа шығады
(наурыз, маусым, қыркүйек, желтоқсан)*

ЖАУАПТЫ РЕДАКТОР

Шокагаева Д.Х., PhD (Қазақстан)
e-mail: bb.kaznu.kz@gmail.com

РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ:

Төлеуханов С.Т., б.ғ.д., профессор (бас редактор)
(Қазақстан)
Бекманов Б.О., б.ғ.к., доцент (бас редактордың орынбасары)
(Қазақстан)
Бисенбаев А.Қ., б.ғ.д., ҚР ҰҒА академигі (Қазақстан)
Савицкая И.С., б.ғ.д., профессор (Қазақстан)
Кистаубаева А.С., б.ғ.к., доцент (Қазақстан)
Конуспаева Г.С., PhD, профессор (Қазақстан)
Мухитдинов Н.М., б.ғ.д., профессор (Қазақстан)
Нуртазин С.Т., б.ғ.д., профессор (Қазақстан)
Турусбеков Е.Қ., б.ғ.к., профессор (Қазақстан)
Берсимбаев Р.И., б.ғ.д., профессор (Қазақстан)
Искаков Б.Қ., б.ғ.д., профессор (Қазақстан)

Сарбасов Д., PhD, профессор (АҚШ)
Орынбаева З., PhD, профессор (АҚШ)
Қурмашева Р.Т., PhD (АҚШ)
Сапарбаев М., PhD, профессор (Франция)
Ищенко А., PhD (Франция)
Лось Д., б.ғ.д., профессор (Ресей)
Ташев А.Н., профессор (Болгария)
Құрманғалиев Е., PhD (США)
Ерохин М.М., б.ғ.д. (Ресей)
Төктербай Ж., PhD (Қазақстан)
Тастамбек Қ.Т., PhD (Қазақстан)

ТЕХНИКАЛЫҚ РЕДАКТОР

Смекенов Изат, PhD (Қазақстан)

Журнал материалдарында ауқымды биологиялық мәселелері – ғылыми шолу, теориялық және эксперименталдық зерттеулердің нәтижелері қарастырылады.

Мақалалар биологияның келесі бөлімдері бойынша жарияланады: ботаника, биотехнология, биохимия, өсімдіктер физиологиясы, генетика және молекулалық биология, клеткалық биология, биофизика, адам және жануарлар физиологиясы, зоология және ихтиология, цитология және гистология, микробиология және вирусология.



Жоба менеджері

Гүлмира Шахкозова
Телефон: +7 701 724 2911
E-mail: Gulmira.Shakhkzova@kaznu.kz

ИБ № 17017

Пішімі 60x84/16. Көлемі 18,5 б.т. Тапсырыс № 3229.
Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің
“Қазақ университеті” баспа үйі.
050040, Алматы қаласы, әл-Фараби даңғылы, 71.

Баспа журналдың ішкі мазмұнына жауап бермейді.

© Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, 2025

1-бөлім
БОТАНИКА

Section 1
BOTANY

Раздел 1
БОТАНИКА

А. Ахмет^{1*} , **А.У. Исаева^{1,3}** ,
Т.У. Байдуйсенова² , **А.К. Косауова²** 

¹М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті,
 «Өндірістік биотехнология» F33, Шымкент, Қазақстан

²Ө. Жәнібеков атындағы Оңтүстік Қазақстан педагогикалық университеті, Шымкент, Қазақстан

³Шымкент университеті, Шымкент, Қазақстан

*e-mail: aina_756@mail.ru

ШЫМКЕНТ ҚАЛАСЫ ФЛОРАСЫНДАҒЫ ҚЫНАЛАР МЕН МҮКТЕРДІҢ ТАРАЛУЫ МЕН ЭКОЛОГИЯСЫ

Шымкент қаласында жүргізілген флористикалық зерттеулер нәтижесінде, қыналар мен мүктердің түрлік құрамы ылғалды аймақтармен салыстырғанда әлдеқайда шектеулі екені анықталды. Бұл жағдай жергілікті климаттың құрғақтылығы және урбанизацияның артуымен тығыз байланысты. Қыналар мен мүктердің нақты түрлерін анықтап, олардың таралу ерекшеліктерін зерттеу үшін арнайы ботаникалық зерттеулер жүргізу қатжет. Аталған зерттеулер қыналар мен мүктердің таралу картасын жасауға және олардың экологиялық маңызын бағалауға мүмкіндіктер береді. Қаладағы урбанизация мен климаттың өзгеруі бұл өсімдіктердің популяциясына кері әсер етуде. Қыналардың таралуы сирек, көбінесе *Candelaria*, *Xanthoria*, *Physcia*, *Parmelia*, *Polycauliona* және *Vulpicida* туыстарына жататын түрлер кездеседі. Бұл қыналардың экологиялық шектеулерге өте сезімтал екендігін көрсетеді. Мүктер арасында кең таралған түрлерге *Tortula muralis*, *Bryum argenteum*, *Sphagnum palustre*, *Sphagnum fuscum*, *Polytrichum commune*, *Funaria hygrometrica* жатады. Ал су айдындарында *Riccia fluitans*, *Fontinalis antipyretica* кездеседі. Сонымен қатар бұл зерттеулер экожүйенің жалпы тұрақтылығын түсінуге және қоршаған ортаны қорғау шараларын жетілдіруге ықпал етеді. Қазақстанның оңтүстігінде қыналар мен мүктерді зерттеу тек биологиялық әртүрлілікті тереңірек түсінуге емес, сонымен қатар экологиялық тепе-теңдікті сақтау және табиғи ресурстарды тиімді басқару үшін маңызды және қажетті деректер береді.

Түйін сөздер: флористика, биоиндикация, *Candelaria*, *Xanthoria*, *Physcia*, *Parmelia*, *Polycauliona*, *Vulpicida*, *Tortula muralis*, *Bryum argenteum*.

A. Akhmet^{1*}, A.U. Issayeva^{1,3}, T. Baiduisenova², A. Kossauova²

¹Auezov University, Research Laboratory «Industrial Biotechnology», Shymkent, Kazakhstan

²Janibekov South Kazakhstan Pedagogical university, Shymkent, Kazakhstan

³Shymkent University, Shymkent, Kazakhstan

*e-mail: aina_756@mail.ru

Distribution and ecology of lichens and mosses in the flora of Shymkent city

As a result of floristic studies conducted in Shymkent city, it was found that the species diversity of lichens and mosses is significantly limited compared to humid regions. This situation is closely related to the arid (dry) climate of the region and increasing urbanization. Special botanical studies are needed to accurately identify lichen and moss species and to study their distribution patterns. These studies provide opportunities to map the distribution of lichens and mosses and to assess their ecological significance. Urbanization of cities and climate change have a negative impact on the populations of these plants. The distribution of lichens is sparse, with species belonging to the genera *Candelaria*, *Xanthoria*, *Physcia*, *Parmelia*, *Polycauliona* and *Vulpicida* being more common. This indicates the high sensitivity of lichens to environmental constraints. Among mosses, species of *Tortula muralis*, *Bryum argenteum*, *Sphagnum palustre*, *Sphagnum fuscum*, *Polytrichum commune*, *Funaria hygrometrica* are widespread. *Riccia fluitans* and *Fontinalis antipyretica* are found in water bodies. In addition, these studies contribute to a better understanding of overall ecosystem sustainability and improve environmental protection measures. The study of lichens and mosses in southern Kazakhstan is important not only for a better understanding of biodiversity, but also for the preservation of ecological balance and effective management of natural resources.

Keywords: floristics, bioindication, *Candelaria*, *Xanthoria*, *Physcia*, *Parmelia*, *Polycauliona*, *Vulpi-*

А. Ахмет¹, А.У. Исаева^{1,3}, Т.У. Байдуйсенова², А.К. Косауова²

¹НАО «Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова»,
НИЛ «Промышленная биотехнология», Шымкент, Казахстан

²Южно-Казахстанский педагогический университет имени У. Жанибекова, Шымкент, Казахстан

³Шымкентский университет, Шымкент, Казахстан

*e-mail: aina_756@mail.ru

Распространение и экология лишайников и мхов во флоре города Шымкент

В результате флористических исследований, проведенных в городе Шымкент, было установлено, что видовое разнообразие лишайников и мхов значительно ограничено по сравнению с влажными регионами. Эта ситуация тесно связана с засушливым климатом региона и ростом урбанизации. Для точного определения видов лишайников и мхов, а также изучения особенностей их распространения необходимо проведение специальных ботанических исследований. Указанные исследования предоставляют возможности для составления карт распространения лишайников и мхов, а также для оценки их экологической значимости. Урбанизация города и изменение климата оказывают негативное воздействие на популяции этих растений. Распространение лишайников редкое, чаще встречаются виды, относящиеся к родам *Candelaria*, *Xanthoria*, *Physcia*, *Parmelia*, *Polyscauliona* и *Vulpicida*. Это свидетельствует о высокой чувствительности лишайников к экологическим ограничениям. Среди мхов широко распространены виды *Tortula muralis*, *Bryum argenteum*, *Sphagnum palustre*, *Sphagnum fuscum*, *Polytrichum commune*, *Funaria hygrometrica*. В водоемах встречаются *Riccia fluitans* и *Fontinalis antipyretica*. Кроме того, данные исследования способствуют лучшему пониманию общей устойчивости экосистемы и совершенствованию мер по охране окружающей среды. Исследование лишайников и мхов в южной части Казахстана имеет важное значение не только для более глубокого понимания биологического разнообразия, но и для сохранения экологического баланса и эффективного управления природными ресурсами.

Ключевые слова: флористика, биоиндикация, *Candelaria*, *Xanthoria*, *Physcia*, *Parmelia*, *Polyscauliona*, *Vulpicida*, *Tortula muralis*, *Bryum argenteum*.

Кіріспе

Флористикадағы мүктер мен қыналардың таралуын зерттеу экологиялық, ботаникалық және геоботаникалық зерттеулердің маңызды аспектісі болып табылады, өйткені бұл организмдер экожүйелерде негізгі рөл атқарады. Мүк пен қына түрлерінің алуандылығы мен таралуын әртүрлі өңірлерде бағалау, бұл биологиялық әртүрлілікті сақтауға ықпал етеді. Ауа, топырақ және су сапасының мониторингі үшін экологиялық жай-күйінің индикаторлары ретінде мүктер мен қыналарды пайдалануға болады. Қыналарды зерттеу арқылы қоршаған ортаның биоиндикациясы мен мониторингін бағалауға болады. Мүктер мен қыналарды пайдалы микроағзалармен бірге қолдану биотикалық қауымдастықтың биомассасын арттырып, топырақ құрылымы мен қоректік заттардың айналымын жақсартады, топырақтың қайта қалыптасуына ықпал етеді. Kejun, Liao et al. кен өндірісінің қалдық қоймаларын экологиялық қалпына келтіруде, топырақ биоремидациясында қыналарды қолдану топырақ ылғалдылығын, суды ұстап тұру қабілетін, катионды-алмасу белсенділігін күшейткен, фосфотазаның, сахарозаның, мочевианың концентрациясын артқаны байқалған

қалдық қоймаларындағы топырақтың қайта қалыптасуына ықпал етеді [1]. Қыналар мен мүктер түрлі химиялық заттарды сіңіре алатын қасиетке ие екендігін зерттеулер көрсеткен, ауыр металдар мен токсиндер сияқты ластаушы заттарды топырақтан, судан жақсы тазарта алу қабілеттері жоғары. Сонымен қатар, қыналардың құрамында түрлі биологиялық белсенді заттар бар, олар антимикробтық, антиоксиданттық, қабынуға қарсы және басқа да түрлі пайдалы қасиеттері бар. Srivastava P. еңбектерінде қыналардың биологиялық және дәрілік құндылықтарын зерттеуге бағытталған жаңа әдістер мен бағыттарға назар аударылған. Қыналардың антимикробтық, онко жасушаларға қарсы, антиоксиданттық және нейтропротекторлық қасиеттері, қыналарды медицинада терапевтік мақсаттарда қолданудың маңызды әлеуетін, қазіргі заманғы ғылымның болашағын көрсетеді [2-9]. Сондықтан қыналарды фармацевтика мен косметология саласындағы өндірісінде қолдануға да тиімді, әсіресе халық медицинасында *Pseudocyphellaria aurata*, *Usnea bismolliuscula*, *Usnea longissimi*, *Xanthoparmelia conspersa*, *Sulcaria sulcata*, *Solorina crocea* түрлі мақсаттарда қолданылған. Қыналар мен мүктерді биотехнологияда қолдандудың артықшылығы, әсіресе экологиялық зерт-

теулер мен биоөндірістік процестерде маңызды рөл атқарады [10-19].

Түркістан облысының оңтүстік өңірінде, Шымкент қаласында жергілікті климаттық жағдайларға және экожүйелерге бейімделген қыналар мен мүктердің түрлерінің әртүрлілігі байқалады. Мүк пен қыналар әртүрлі организмдер үшін азық көзі, қоректік заттардың айналымына қатысады және экологиялық жай-күйдің индикаторлары ретінде экожүйелерде маңызды рөл атқарады. Осыған орай зерттеудің негізгі мақсаты – Қазақстанның оңтүстік өңірінің Шымкент қаласының флористикасындағы мүк пен қыналардың алуан түрлілігін, олардың таралуы және морфологиялық сипаттамаларын зерттеу, сондай-ақ олардың өсуінің экологиялық жағдайларын анықтау болды. Зерттеу мақсатына сәйкес келесі зерттеу міндеттері қойылды: қыналармен мүктердің таралуын, түрлерін, морфологиялық сипаттамасын жасау.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Зерттеу жұмысының нысаны ретінде Шымкент флорасында кездесетін қыналармен мүктердің түрлері, таралуы зерттелді. Қала аумағының 6 орынан өсімдіктерді жинау жүргізілді. Зерттеулер барысында дәстүрлі маршруттық әдіс қолданылды, барлық ықтимал мекендеу орындары мен субстраттар зерттелді. Барлығы 2 дала маусымында 20 түрлі мүк, 15 түрлі қына үлгілері жиналды.

Экскурсиялық – барлау бағыттық зерттеулер. Әртүрлі экожүйелердегі (далалық, шалғындық, таулы) мүктер мен қыналардың үлгілері жиналды. Жиналған өсімдік үлгілерінің туысын, түрлерін анықтау үшін геоботаникалық түсірілімдер жүргізілді.

Экологиялық зерттеулер. Өсімдік тіршілік ортасының параметрлерін өлшеулер ылғалдылық, температура, топырақтың рН. Экожүйелердегі түрлердің өзара іс-қимылын талдау.

Зертханалық әдістер. Микроскопиялық зерттеулер жүргізілді, жиналған үлгілердің анатомиялық-морфологиялық қасиеттеріне сипаттамалар жасалды. Жиналған өсімдік үлгілерінің түрлік идентификациясы арнайы анықтағыш әдістемелерге сүйене ортырып таксономиялық зерттеулер жасалды. Түрлерін анықтау үшін сәйкестендіру кілттері пайдаланылды [20-24].

Зерттеу нәтижелері және оларды талдау

Түркістан облысының оңтүстігі, әсіресе Шымкент қаласы және оның айналасындағы ай-

мақтар, құрғақ субтропиктік климатпен сипатталады. Мұндай климатта қыналар мен мүктердің түрлерінің әртүрлілігі шектеулі болады, бірақ белгілі бір экожүйелерге, мысалы тау бөктерлеріндегі ылғалды жерлер, өзен жағалауларына бейімделген түрлері жиі кездеседі. Қыналар мен мүктердің таралуы климаттық жағдайлар мен экожүйелердің әртүрлілігіне байланысты таралған. Аймақ климаты құрғақ әрі ыстық болғандықтан, қыналар мен мүктердің таралуы шектеулі. Олар негізінен ылғалдылығы жоғары жерлерде, тау бөктерлеріндегі: ылғалдылықты сақтайтын жартастарда, көлеңкелі жерлерде, өзен жағалауларында, ылғалды топырақта, өсімдіктердің арасында өседі, көлеңкелі ормандарда, ағаш діндерінде, тастарда жиі кездеседі.

Шымкент қаласының флористикалық зерттеулерінің нәтижесінде, қыналар мен мүктердің түрлік құрамы басқа, ылғалды аймақтармен салыстырғанда әлдеқайда аз. Нақты түрлерді анықтау үшін арнайы ботаникалық зерттеулер жүргізу қажет. Бұл зерттеулер қыналар мен мүктердің таралу картасын жасауға және олардың экологиялық рөлін анықтауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, қаланың урбанизациялануы да осы өсімдіктердің таралуына теріс әсер етеді.

Зерттеу жұмыстарын жүргізуде жиналған қыналармен мүктердің түрлерін анықтау үшін микроскопиялық талдаулар жүргізілді, нәтижесінде мүктер мен қыналардың түрлік құрамын анықталды.

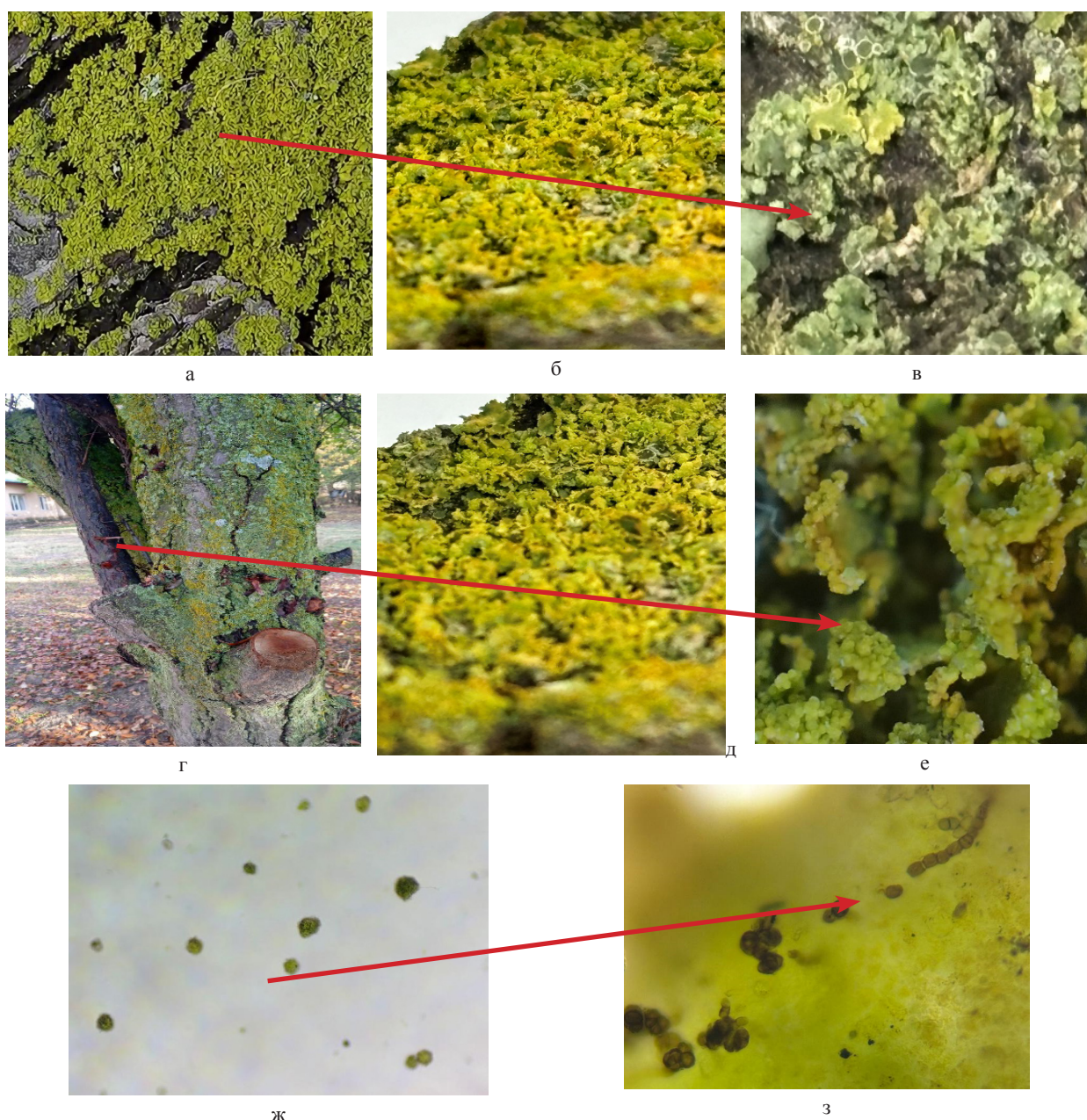
Қыналардың түрлері мен таралуы, морфологиялық сипаттамасы:

Candelaria pacifica өзінің сары түсті болуымен ерекшеленетін қынаның бір түрі. Сары түс оның құрамындағы пигменттерден пайда болады, жіңішке қабаттары бар, олар жастық тәрізді формацияларды қалыптастыра алады (1-сурет, а-е). *C. pacifica* қынасының жасушасында бір жасушалы балдырдың да жасушасын және саңырауқұлақтың жіпшелері байқауға болады (1-сурет, ж,з). Талломдары кішкентай, жапырақша тәрізді, ені 1 см. Бөліктері 0,1-0,6 мм дейін. Үстіңгі қабаты сары түсті, лимон, сарғыш, беті тегіс, қалыңдығы 45 мкм. Ортаңғы қабаты (медулла) ақ түсті, жұқа, ал төменгі қабық мүлде жоқ. Ризоидтары болмайды. Аппотецийлері жиі кездеседі, асколарында 8 спора кездеседі. Аскоспоралары түссіз, эллипс пішінде болады. Пикнидийлері беткі жағында сарғыш түсті бүртіктер түрінде пайда болады. Күн сәулесі жақсы түсетін ашық жерлерде, ағаш қабаттарында өседі. *Candelaria pacifica* экожүйелерде маңыздыққа ие ағзалардың бірі, ол тастарды

бұзып, топырақ түзілуіне ықпал етеді, сондай-ақ ауа сапасының көрсеткіші ретінде қызмет етеді. Классификациясы: *Ascomycota* бөлімі, *Lecanoromycetes* класы, *Candelariales* қатары, *Candelariaceae* тұқымдасы, *Candelaria* туысы, *Candelaria pacifica*.

Candelaria concolor -дене қабықтары майда, талломы жапырақты қына, талломдарының ені 0,2-3мм, 0,1-0,5 мм дейін болады, пішіндері домалақ -сызықтыға дейінгі пішінде болады, түстері сары, сары-жасыл. Талломдары бір-бірінің

үстіне қабаттаса орналасады, шеті (кейде бүкіл беті) дәнді изидийлермен жабылған. Астыңғы ақшыл бетінде ақшыл келген резиндер байқалады. Апотецийлері сирек кездеседі, ені 0,2-0,8 мм талломмен бірдей немесе одан да қою түсті. Басы ішке батқаннан кейін тегіс болып келеді.. Пикнийдилер әжімделген, батпақты, сары немесе қызыл-сары түсті. Классификациясы: *Ascomycota* бөлімі, *Lecanoromycetes* класы, *Candelariales* қатары, *Candelariaceae* тұқымдасы, *Candelaria* туысы, *Candelaria concolor* түрі.



1-сурет – *Candelaria* қынасы (а-е: *Candelaria* қынасының сыртқы морфологиясы, ж: балдыр жасушасы, з: микроскопиялық саңырауқұлақ гифтері)

Polycauliona – ағаш қабықтарында өседі. Таллом пішіні жинақы, тармақталған, тегіс беті бар, қабаттары жастықша пішінде, ұсақ, ризиналары болмайды. Классификациясы: *Ascomycota* бөлімі, *Lecanoromycetes* класы, *Teloschistales* қатары, *Teloschistaceae* тұқымдасы, *Polycauliona* туысы, *Polycauliona candelaria*.

Xanthoria – ашық сары немесе қызғылт сарғыш қалақ қабаттары бар (2-сурет). Дене қабаты жапырақты, үстінгі беті сарғыш немесе қызғылт түсті сәл көтеріңкі қабыршақтардан немесе тығыз жабысқан жапырақшалардан тұрады. Төменгі жағы ашық қоңыр келген немесе ақшыл түсті қысқа ризоидтармен жабылған. Фотосинтетикалық құрылымы, ашық жасыл хлорофилді жасушалардан тұрады, сонымен қатар, оған кейде – жасыл пигменттер де қосылады. Ксанторияның алтын түсте болуы оның құрамында өндірілетін париетин кристалдарының арқасында пайда болады. Жарық сәулесі жақсы түсетін жерлерде жақсы өседі, көлеңкелі жерлерде оның түсі кір жасыл, боз-сары, немесе күңгірт-жасыл түсте болуы мүмкін, себебі париетин аз мөлшерде түзіледі. Денесінің беткі қабатында тостаған тәрізді ұсақ табақшалармен көмкерілген, олар апотецийлері, оның ішінде споралары жетіліп, олардан жаңа қыналар жетіледі, споралары жел арқылы таралады. Ксантория қыналарының басты ерекшелігі өзінің ішкі ресурстары арқылы өзіне азық өндіретін ағза. Әлемнің әртүрлі аймақтарында кездеседі. Шымкенттің және оның аймағындағы территориялардың жарығы жеткілікті жерлерінде кең таралған қыналардың түрі болып табылады. Классификациясы: *Ascomycota* бөлімі, *Lecanoromycetes* класы, *Teloschistales* қатары, *Teloschistaceae* тұқымдасы, *Xanthoria* туысы, өкілдері *Xanthoria ulophyllodes*.

Physcia жапырақты қыналардың бір түрі, Түстері сұрғылт- жасыл түстен, бозғыл сұр түске дейін өзгермелі. Жапырақтарының беті тегіс, мицелийлері әсерінен қатпарлы ойысты, шұңқырлар түзіледі. Жапырақ жиектері талшықты, кейде жіңішке болуы мүмкін. Дене қабаттары майда, ені 3-5 см, денесінің қалақ тәрізді бөліктері 2 мм дейін. Қалақ тәрізді бөліктерінің жиегінде соредийлері дамиды, вегетативты көбейеді. Таралуы тастарда жақсы өседі, ағаш қабықтарында, тастар мен бетон тәрізді субстраттарда жиі кездеседі. Ылғалды, жарық көп түсетін жерлерде кең таралған, көбінесе ылғалы көп жерлерде, сау ағаш бұталарында жиі өседі, сонымен қатар қабырғаларда, тастарда да өсе алады. Экологиялық жағдайларға, ауа сапасына

төзімділігі жоғары ағзалардың бірі, ластануға сезімтал. Классификациясы: *Ascomycota* бөлімі, *Lecanoromycetes* класы, *Caliciales* қатары, *Physciaceae* тұқымдасы, *Physcia* туысы, түрлерінен *Physcia millegrana* кең таралған.

Vulpicida: ағаштардың қабығында жиі кездеседі, жарқын, ірі жастықтар жасайды, сирек кездеседі. Талломы жапырақты, дене қабаттары ірі, жапырақтарының (қалақтарының) ені 3 мм, жиектері радиалды, тік, жоғары көтерілген. Денесінің төменгі беті ашық түсті, қысқа ризоидтармен көмкерілген. Классификациясы: *Ascomycota* бөлімі, *Lecanoromycetes* класы, *Lecanorales* қатары, *Parmeliaceae* тұқымдасы, *Vulpicida*: туысы, кездесетін өкілдері *V. pinastri*, *V. viridis*, өте сирек *V. juniperinus*.

Мүктердің таралу ареалы, экологиясы, морфологиялық ерекшеліктері. *Tortula muralis* – қабырғалар мен тастарда таралған, өзіне тән ұсақ, жазық, ашық жасыл жапырақтары бар, мүктердің бір түрі, ол ірі мүктер тобына жатады. Бұл мүктің морфологиялық сипаттамасы, сыртқы түрі: *T. muralis* мүгі кішкентай, тығыз, тік өсетін, кейде ілме тәрізді болып келеді. Олар 5-15 см биіктікке дейін өседі. Жапырақтары сабақтарға тығыз орналасқан, ұзын, тар, жіңішке және кішкентай. Жапырақтарында жиі және өте жіңішке жиегі бар. Сабағы жіңішке және сұр-көкшіл реңкте, тығыз, ылғалды кезде жасыл түске айналады. Спорофиттер (споралар таситын бөлімдері) ұзын және жұқа, олардың үстінде капсула орналасады, ол спораларды тарату үшін ашылады. Бүкіл әлем бойынша, әсіресе, қоңыржай климаттарда кең таралған. Ол көбінесе тастардың, қабырғалардың, және топырақтың бетінде өседі. Қала ішіндегі қабырғаларда, ағаштарда, сулы орталарда, тастарда жиі кездеседі, әсіресе ылғалды және жартылай ылғалды жерлерде. *T. muralis* мүгінің экологиялық маңызы топырақтың эрозиясын болдырмауға көмектеседі, ылғалды сақтайды және жер бетіндегі экологиялық балансқа ықпал етеді. Бұл мүк түрін ландшафтық жобаларда, бақшаларда және парктерде декоративті элемент ретінде қолдануға болады. Экологиялық зерттеулерде индикатор ретінде пайдаланылады, бұл қоршаған орта жағдайының өзгеруін бақылауға көмектеседі *T. muralis* мүгі табиғаттағы маңызды элемент болып табылады, экологиялық жүйенің тұрақтылығын сақтауға көмектеседі (3-сурет). Классификация: *Bryophyta* бөлімі, *Bryopsida* класы, *Dicranidae* клас асты, *Pottiales* қатары, *Pottiaceae* тұқымдасы, *Tortula* туысы, *T. muralis*



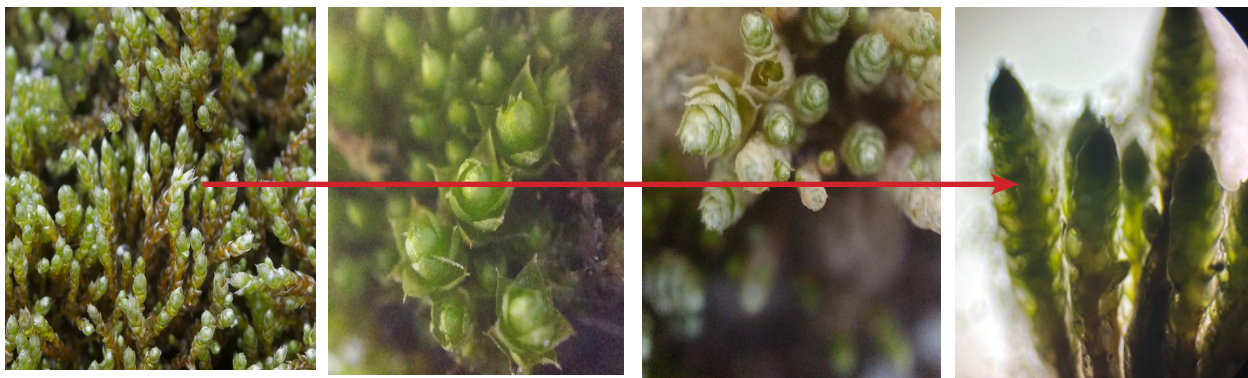
2-сурет – Шымкент қаласының өңірінде кездесетін қыналар



3-сурет – *Tortula muralis*

Bryum argenteum: ашық жерлерде кездеседі, күміс реңкті және қалың жабынмен ерекшеленеді (4-сурет).

Классификациясы: *Bryophyta* бөлімі, *Bryopsida* класы, *Bryidae* клас асты, *Bryales* қатары, *Bryaceae* тұқымдасы, *Bryum* туысы, *Bryum argenteum*



4-сурет – *Bryum argenteum*

Шымкент қаласындағы мүк пен қыналардың әртүрлілігіне климат, топырақ және жарық сияқты экологиялық факторлар тікелей әсер етеді. Көптеген түрлер ылғалдылығы жоғары тасты немесе топырақты субстраттарды жақсы көреді, ал басқалары құрғақ жағдайларға бейімделе алады. Осыған орай, қала құрғақ және ыстық климатымен ерекшеленетін аймақ, сондықтан бұл мүктер мен қыналар үшін шектеуші фактор бола алады, себебі олар көбісі ылғалды жақсы көреді. Ал кейбір қыналар құрғақшылыққа төзімді, жауын-шашын кезінде белсенді күйге көшеді. Сондықтан мұнда ксерофитті түрлері басым келеді. Топырақтың сілтілік және қышқылдық реакциясында мүктердің, қыналардың таралымына әсер беретін фактор бола алады. Күн сәулесі мен көлеңке, жартылай көлеңке қыналардың көп түрі үшін қолайлы жер, мысалы ағаш қабықтары, тастардың көлеңке беттері, сонымен қатар, күннің тікелей түсуіне төзімділіктері де байқалады. Ал биік жерлер мен шатқалдарда өсуі жарықтың әртүрлі түсуіне байланысты микроклимат қалыптасады, бұл да мүктер мен қыналардың қауымдастығына жағдай жасайтын фактор.

Қорытынды

Қыналардың, мүктердің таралуы сирек, әсіресе қыналардан *Candelaria*, *Xanthoria*, *Physcia*, *Parmelia*, *Polycauliona*, *Vulpicida* туыстарының түрлері кездеседі. Шымкент қаласының төңірегінде қыналар популяциясының азаю салдары климаттық өзгерістердің, жеткіліксіз ауа-ылғал-

дылығы, ыстық климат әсер етеді, олардың таралуын шектейтін факторлар екені анықталды.

Мүктерден *Tortula muralis*, *Bryum argenteum*, *Sphagnum* мүгінің *Sphagnum palustre*, *Sphagnum fuscum* түрлері, *Polytrichum* туысының түрлерінен *Polytrichum commune*, *Funaria* туысынан *Funaria hygrometrica* кең таралған, су көздерінде *Riccia fluitans*, *Fontinalis antipyretica* кездеседі.

Қазақстанның оңтүстігінде мүк пен қыналарды зерттеу өңірдің биологиялық әртүрлілігін түсінуді тереңдетіп қана қоймай, сонымен бірге маңызды экологиялық өзара байланыстарды анықтауға мүмкіндік береді. Нәтижелер табиғатты қорғау және табиғи ресурстарды орнықты басқару үшін пайдалы болуы мүмкін.

Қыналар мен мүктердің экологиядағы рөлі үлкен. Олар табиғи индикаторлар ретінде қызмет атқарады, экологиялық биоиндикаторлар ретінде қыналар экожүйенің жағдайын көрсетеді, әсіресе ауа сапасының нашарлауын білдіреді.

Мүктермен мен қыналар топырақ құнарлылығын арттырып, топырақта биологиялық белсенділік пен қоректік заттардың цикліне қатысады. Қыналардың түрлері мен морфологиясын, биондикациялық маңызын зерттеу экологиялық теңгерімді сақтауда, биоалуантүрлілікті қорғауда және экожүйені бақылауда маңызды. Олар климаттық өзгерістер мен адам әрекеттерінің әсерін бағалауда да қажетті құрал болып табылады. Сондықтан бұл бағытта ғылыми зерттеулерді жандандыру, экологиялық мониторинг жүргізу және білім беру жұмыстарын дамыту аса маңызды.

Әдебиеттер

1. Kejun, Liao, Yue, Tao, Yuyang, Zeng, Jiawei, Tu, Sijia, She, Yaojia, Fu, Lianghui, Hou, Lanzhou, Che. A feasible method of induced biological soil crust propagation through the inoculation of moss and addition of soil amendments in a Pb-Zn tailing pond // *Science of The Total Environment*. -2024. -Vol.910. -P. 168569. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168569>
2. Srivastava P., Partha Sarethy I. Biotechnology-based Profiling of Lichens and Their Metabolites for Therapeutic Applications // *Current Applied Science and Technology*. -2024. -Vol.24 (2).-P.1-14.. <https://doi.org/10.55003/cast.2023.256497>
3. Tan Ke, Huan Wang, Shaofeng Li, Yurui Zhang, Panpan Wang, Chaoqi Chen, Lu Lu, Lanzhou Chen. Belowground facilitation of plant mixtures on rhizosphere soil of *Commelina communis* grown on extremely Cu- and Cd-contaminated mine: From soil quality to bacterial community // *Applied Soil Ecology*. -2023. -Vol.190, 104989. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.104989>
4. Miralles, Raúl Ortega, Maria del Carmen Montero-Calasanz. Functional and biotechnological potential of microbiome associated with soils colonised by cyanobacteria in drylands // *Applied Soil Ecology*, -2023. -Vol. 192. -P.105076. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.105076>.
5. Danhua Wang, Shengjun Xu, Sining Zhou, Shuseng Wang, Cancan Jiang, Bo Sun, Xu Wang, Dongmin Yang, Jialiang Zuo, Huacai Wang, Xuliang Zhuang. Partial nitrification in free nitrous acid-treated sediment planting *Myriophyllum aquaticum* constructed wetland strengthens the treatment of black-odor water // *Science of The Total Environment*. -2022. -Vol. 845. -P.157287. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157287>
6. Liao, K., Chen, C., Ye, W., Zhu, J., Li, Y., She, S., Chen, L. The adaptability, distribution, ecological function and restoration application of biological soil crusts on metal tailings: A critical review // *Science of The Total Environment*, -2024.-P. 172169.
7. Dangar, B. V., Chavada, P., Bhatt, P. J., Raviya, R. Reviewing bryophyte-microorganism association: insights into environmental optimization // *Frontiers in Microbiology*. -2024. -Vol 15. -P.1407391.
8. Liao, K., Tao, Y., Tu, J., Zeng, Y., Li, Y., Wang, P., Chen, L. Induced and natural moss soil crusts accelerate the C, N, and P cycles of Pb Zn tailings // *Science of The Total Environment*. -2024. -Vol 909, -P.168657.
9. Tulay, E. Z. E. R. Bryophytes in biotechnology. *Biotechnology in Action: Unveiling Nature's Potential*. - 2024. 2, 347.
10. Anglana, C., Barozzi, F., Capaci, P., Migoni, D., Rojas, M., Fanizzi, F. P., Di Sansebastiano, G. P. (2024). Characterization of three species of aquatic mosses in axenic culture for biomonitoring and biotechnological applications // *Aquatic Botany*. -2024. -Vol. 193. -P. 103762.
11. Shah, A. A., Badshah, L., Muhammad, M., Basit, A., Ullah, I., Mohamed, H. I., Khan, A. Secondary metabolites of lichens and their application // *In Fungal Secondary Metabolites*. Elsevier. -2024. -P. 91-115.
12. Chaligava O. et al. Major and Trace Airborne Elements and Ecological Risk Assessment: Georgia Moss Survey 2019–2023 // *Plants*. – 2024. – T. 13. – №. 23. – C. 3298.
13. Krishnan, R., Greeshma, G. M., Lawrence, B., Murugan, K. Insight of Bioresources from Lower Plant Groups: Reconciling the Possibilities and Responsibilities // *In Conservation and Sustainable Utilization of Bioresources*. -2023. -Vol.1. -P.59-77. Singapore: Springer Nature Singapore.
14. Cozzolino, A., Adamo, P., Bonanomi, G., Motti, R. The role of lichens, mosses, and vascular plants in the biodeterioration of historic buildings: A review // *Plants*. -2022. -Vol.11. No 24. -P. 3429.
15. Cooke, B. P. Testing Fog Cultivation and Soil Remediation Using Biological Soil Crust (Master's thesis, Northern Arizona University). -2024.
16. Grifoni, L., Jafarova, M., La Colla, N. S., Aherne, J., Rauli, A., Loppi, S. Comparison of Lichen and Moss Transplants for Monitoring the Deposition of Airborne Microfibers // *Sustainability*. -2025. -Vol. 17, No 2. -P. 537.
17. Kumar, A., Thangjam, N. M., Laldingiani, T. B. C., Singh, C. B. Lichens in the Himalayan Region: Present and Future Perspectives. In *High-Value Plants*. Apple Academic Press. -2025. -P. 243-262.
18. Bowker, M. A., Anenberg, J., Antoninka, A., Ramsey, P. W., Durham, R. A. Moss-covered biodegradable weed barriers promote biocrust establishment but fail to suppress exotic plants // *Restoration Ecology*. -2025. -P.14372.
19. Chen, X., Feng, J., Yu, L., Zhang, T. Diversity of lichen mycobionts and photobionts and their relationships in the Ny-Ålesund region (Svalbard, High Arctic) // *Extremophiles*. -2024. -Vol. 28. No 3. -P. 40.
20. Watson, W. The classification of lichens // *New Phytologist*. -1929. -Vol.28. No 1. -P. 1-36.
21. Huttunen, S., Bell, N., Hedenäs, L. The evolutionary diversity of mosses—taxonomic heterogeneity and its ecological drivers // *Critical reviews in plant sciences*. -2018. -Vol. 37. No (2-3). -P. 128-174.
22. Lücking, R., Hodkinson, B. P., Leavitt, S. D. The 2016 classification of lichenized fungi in the Ascomycota and Basidiomycota—Approaching one thousand genera. *The Bryologist*. -2017. -Vol.119. No 4. -P. 361-416.
23. Mosses and lichens: a popular guide to the identification and study of our commoner mosses and lichens, their uses, and methods of preserving. by Marshall, Nina L. (Nina Lovering). Publisher: New York: Doubleday, Page company. 1907. 327 p.
24. Цуриков А. Г. Листоватые и кустистые городские лишайники: атлас-определитель: учебное пособие для студентов биологических специальностей. А. Г. Цуриков, О. М. Храмченкова; М-во образования РБ, Гомельский гос. ун-т. им. Ф. Скорины – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2009 – 123 с.

References

1. Anglana, C., Barozzi, F., Capaci, P., Migoni, D., Rojas, M., Fanizzi, F. P., Di Sansebastiano, G. P. (2024). Characterization of three species of aquatic mosses in axenic culture for biomonitoring and biotechnological applications. *Aquatic Botany*, vol.193, pp.103762.
2. Bowker, M. A., Anenberg, J., Antoninka, A., Ramsey, P. W., & Durham, R. A. (2025). Moss-covered biodegradable weed barriers promote biocrust establishment but fail to suppress exotic plants. *Restoration Ecology*, e14372.
3. Chaligava, O., Zinikovskaia, I., Peshkova, A., Yushin, N., Frontasyeva, M., Vergel, K., Cepoi, L. (2024). Major and Trace Airborne Elements and Ecological Risk Assessment: Georgia Moss Survey 2019–2023. *Plants*, vol.13, no 23, pp. 3298.
4. Chen, X., Feng, J., Yu, L., Zhang, T. (2024). Diversity of lichen mycobionts and photobionts and their relationships in the Ny-Ålesund region (Svalbard, High Arctic). *Extremophiles*, vol.28, No 3, pp.40.
5. Cozzolino, A., Adamo, P., Bonanomi, G., Motti, R. (2022). The role of lichens, mosses, and vascular plants in the biodeterioration of historic buildings: A review. *Plants*, 11(24), 3429.
6. Cooke, B. P. (2024). Testing Fog Cultivation and Soil Remediation Using Biological Soil Crust (Master's thesis, Northern Arizona University).
7. Curikov A. G. (2009). Listovatyie i kustistyie gorodskie lishajniki: atlas-opredelitel': uchebnoe posobie dlya studentov biologicheskikh special'nostej [Leafy and bushy urban lichens: atlas-determinant: textbook for students of biological specialties]. A. G. Curikov, O. M. Hramchenkova; M-vo obrazovaniya RB, Gomel'skij gos. un-t. im. F. Skoriny – Gomel': GGU im. F. Skoriny, – 123 s.
8. Danhua Wang, Shengjun Xu, Sining Zhou, Shuseng Wang, Cancan Jiang, Bo Sun, Xu Wang, Dongmin Yang, Jialiang Zuo, Huacai Wang, Xuliang Zhuang. (2022). Partial nitrification in free nitrous acid-treated sediment planting *Myriophyllum aquaticum* constructed wetland strengthens the treatment of black-odor water, vol. 845, pp.157287. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157287>
9. Dangar, B. V., Chavada, P., Bhatt, P. J., Raviya, R. (2024). Reviewing bryophyte-microorganism association: insights into environmental optimization. *Frontiers in Microbiology*, vol 15, pp. 1407391.
10. Grifoni, L., Jafarova, M., La Colla, N. S., Aherne, J., Rauli, A., Loppi, S. (2025). Comparison of Lichen and Moss Transplants for Monitoring the Deposition of Airborne Microfibers. *Sustainability*, vol. 17, no.2, pp. 537.
11. Huttunen, S., Bell, N., Hedenäs, L. (2018). The evolutionary diversity of mosses—taxonomic heterogeneity and its ecological drivers. *Critical reviews in plant sciences*, vol. 37 no 2-3, pp.128-174.
12. Krishnan, R., Greeshma, G. M., Lawrence, B., Murugan, K. (2023). Insight of Bioresources from Lower Plant Groups: Reconciling the Possibilities and Responsibilities. In *Conservation and Sustainable Utilization of Bioresources* (pp. 59-77). Singapore: Springer Nature Singapore.
13. Kumar, A., Thangjam, N. M., Laldingliani, T. B. C., Singh, C. B. (2025). Lichens in the Himalayan Region: Present and Future Perspectives. In *High-Value Plants*. Apple Academic Press. (pp. 243-262).
14. Kejun, Liao, Yue, Tao, Yuyang, Zeng, Jiawei, Tu, Sijia, She, Yaojia, Fu, Lianghui, Hou, Lanzhou, Che. (2024). A feasible method of induced biological soil crust propagation through the inoculation of moss and addition of soil amendments in a Pb-Zn tailing pond. *Science of The Total Environment*. vol.910, pp. 168569. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168569>
15. Liao, K., Chen, C., Ye, W., Zhu, J., Li, Y., She, S., Chen, L. (2024). The adaptability, distribution, ecological function and restoration application of biological soil crusts on metal tailings: A critical review. *Science of The Total Environment*, pp.172169.
16. Liao, K., Tao, Y., Tu, J., Zeng, Y., Li, Y., Wang, P., Chen, L. (2024). Induced and natural moss soil crusts accelerate the C, N, and P cycles of Pb Zn tailings. *Science of The Total Environment*, vol. 909, pp.168657.
17. Lücking, R., Hodkinson, B. P., Leavitt, S. D. (2017). The 2016 classification of lichenized fungi in the Ascomycota and Basidiomycota—Approaching one thousand genera. *The Bryologist*, vol. 119, no 4, pp.361-416.
18. Srivastava P., Partha Sarethy I. (2024). Biotechnology-based Profiling of Lichens and Their Metabolites for Therapeutic Applications. *Current Applied Science and Technology*, vol.24, No 2, pp.1-14. <https://doi.org/10.55003/cast.2023.256497>
19. Tan Ke, Huan Wang, Shaofeng Li, Yurui Zhang, Panpan Wang, Chaoqi Chen, Lu Lu, Lanzhou Chen. (2023). Belowground facilitation of plant mixtures on rhizosphere soil of *Commelina communis* grown on extremely Cu- and Cd-contaminated mine: From soil quality to bacterial community. *Applied Soil Ecology*, vol.190, pp. 104989. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.104989>
20. Miralles, Raúl Ortega, Maria del Carmen Montero-Calasanz. (2023). Functional and biotechnological potential of microbiome associated with soils colonised by cyanobacteria in drylands. *Applied Soil Ecology*, vol. 192, pp. 105076. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.105076>
21. Mosses and lichens: a popular guide to the identification and study of our commoner mosses and lichens, their uses, and methods of preserving. by Marshall, Nina L. (Nina Lovering). Publisher: New York: Doubleday, Page company. 1907. 327 p.
22. Tulay, E. Z. E. R. (2024). Bryophytes in biotechnology. *Biotechnology in Action: Unveiling Nature's Potential*, vol. 2, pp.347.
23. Shah, A. A., Badshah, L., Muhammad, M., Basit, A., Ullah, I., Mohamed, H. I., Khan, A. (2024). Secondary metabolites of lichens and their application. In *Fungal Secondary Metabolites* Elsevier, pp. 91-115.
24. Watson, W. (1929). The classification of lichens. *New Phytologist*, vol.28, no1, pp.1-36.

Авторлар туралы мәлімет:

Ахмет Айнагүл – PhD доктор, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университетінің «Өндірістік биотехнология» ғылыми-зерттеу зертханасының жетекші ғылыми қызметкері (e-mail: aina_756@mail.ru).

Исаева Акмарал Умирбековна – биология ғылымдарының докторы, профессор, Шымкент университетінің ғылым жөніндегі проректоры, «Биология және экология» Ғылыми-зерттеу институтының директоры, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университетінің «Биотехнология» кафедрасының профессоры (e-mail: akmaral.issayeva@bk.ru).

Байдүйсенова Тогжан Улдарбековна – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, Ө.Жәнібеков атындағы Оңтүстік Қазақстан педагогикалық университетінің аға оқытушысы (e-mail: togzhan_0301@mail.ru).

Косауова Акерке Колдасыновна – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, Ө. Жәнібеков атындағы Оңтүстік Қазақстан педагогикалық университетінің аға оқытушысы (e-mail: kosauova.akerke@mail.ru).

Information about the authors:

Akhmet Ainagul – PhD, leading researcher at the Industrial Biotechnology Research Laboratory of M. Auezov South Kazakhstan University (e-mail: aina_756@mail.ru).

Issayeva Akmaral – Doctor of Biological Sciences, Professor, Vice-Rector for Science of Shymkent University, Director of the Biology and Ecology Research Institute, Professor of the Biotechnology Department of M. Auezov South Kazakhstan University (e-mail: akmaral.issayeva@bk.ru).

Baiduisenova Togzhan – Candidate of agricultural sciences, senior lecturer Department of “Biology”, Janibekov South Kazakhstan Pedagogical university, Shymkent, Kazakhstan (e-mail: togzhan_0301@mail.ru).

Kossauova Akerke – Candidate of Agricultural Sciences, Senior Lecturer at U. Zhanibekov South Kazakhstan Pedagogical University (e-mail: kosauova.akerke@mail.ru).

Сведения об авторах:

Ахмет Айнагүл – PhD, ведущий научный сотрудник НИЛ «Промышленная биотехнология» Южно-Казахстанского университета имени М. Ауэзова (e-mail: aina_756@mail.ru).

Исаева Акмарал Умирбековна – д. б. н., профессор, проректор по науке Шымкентского университета, директор НИИ «Биология и экология», профессор кафедры биотехнологии Южно-Казахстанского университета имени М. Ауэзова (e-mail: akmaral.issayeva@bk.ru).

Байдүйсенова Тогжан Улдарбековна – к. с.-х. н., старший преподаватель Южно-Казахстанского педагогического университета имени У. Жанибекова (e-mail: togzhan_0301@mail.ru).

Косауова Акерке Колдасыновна – к. с.-х. н., старший преподаватель Южно-Казахстанского педагогического университета имени У. Жанибекова (e-mail: kosauova.akerke@mail.ru).

Келін түсті: 19 маусым 2025 жыл

Қабылданды: 20 қараша 2025 жыл

Ғ.И. Исаев¹, Б.Қ. Маулен¹, Н.Н. Салыбекова¹, И.Ф. Икрамов²,
А.И. Әзімбай¹, Е.Н. Балтабай¹, Қ.Қ. Құлымбет^{3*}

¹Қ.А. Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан, Қазақстан

²Аймақтық инновациялық университеті, Шымкент, Қазақстан

³Ө.О. Оспанов атындағы қазақ топырақтану және агрохимия ғылыми-зерттеу институты,
Алматы, Қазақстан

*e-mail: qulymbet.qanat@gmail.com

ХҚТУ БОТАНИКАЛЫҚ БАҒЫНДАҒЫ *JUGLANS NIGRA* L. ТҮРІНІҢ ЖЕРСІНДІРІЛУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ ЖӘНЕ МОРФО-АНАТОМИЯЛЫҚ, ФИЗИОЛОГИЯЛЫҚ ДАМУЫ

Мақалада Оңтүстік Қазақстан жағдайында *Juglans nigra* L. өсімдігінің морфологиялық дамуы мен бейімделу ерекшеліктері зерттелді. Зерттеудің мақсаты – *J. nigra* морфологиялық, физиологиялық және анатомиялық сипаттамаларын анықтап, оның дамуына топырақ-климаттық факторлардың әсерін бағалау. Зерттеу міндеттеріне фенологиялық фазаларды бақылау, биометриялық өлшеулер жүргізу, ұлпа құрылымын талдау және топырақтың өсімдік өсуіне әсер ететін қасиеттерін анықтау кірді. Зерттеу Халықаралық қазақ-түрік университетінің ботаникалық бағында жүргізілді. Алынған нәтижелер бойынша *J. nigra* аймақтың климаттық жағдайларына жоғары бейімделгіштік танытты. Вегетациялық кезең тұрақты өсу қарқынымен, қуатты тамыр жүйесінің қалыптасуымен және өсімдіктердің жоғары өміршеңдігімен сипатталды. Топырақтың құрамы мен ылғалдылық деңгейі көшеттердің даму қарқындылығына айтарлықтай әсер ететіні анықталды. Физиологиялық зерттеулер өсімдіктерде су балансын сақтауға және құрғақшылыққа төзімділікті қамтамасыз ететін бейімделу механизмдерінің бар екенін көрсетті. Анатомиялық зерттеулер ұлпалардың беріктігін арттырып, ылғал жоғалуын азайтатын қорғаныс құрылымдарының қалыптасқанын дәлелдеді. Топырақ талдаулары өсімдіктің сәтті өсуіне қажетті қоректік элементтердің жеткілікті екенін көрсетті. Зерттеу нәтижелері *J. nigra* құрғақ аймақтарда жерсіндіру және өсіру ісінде, сондай-ақ оның тұрақтылығы мен өнімділігін арттыруға бағытталған агротехникалық әдістерді оңтайландыруда пайдалануға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: *Juglans nigra* L., фенологиялық бақылау, топырақ құрамы, анатомиялық ерекшеліктер, құрғақшылыққа төзімділік.

G.I. Issayev¹, B.K. Maulen¹, N.N. Salibekova¹, I.G. Ikramov²,
A.I. Azimbay¹, E.N. Baltabay¹, K.K. Kulymbet^{3*}

¹Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan

²Regional Innovation University, Shymkent, Kazakhstan

³U.U. Uspanov Kazakh Research Institute of Soil Science and Agrochemistry, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: qulymbet.qanat@gmail.com

Adaptation features of *Juglans nigra* L. in the botanical garden of IKTU and morphological, anatomical and physiological development

This article examines the growth and adaptation characteristics of *Juglans nigra* under the conditions of Southern Kazakhstan. The aim of the study is to investigate the morphological, physiological, and anatomical characteristics of *J. nigra*, as well as to assess the influence of soil and climatic factors on its development. The research objectives included the analysis of phenological phases, biometric measurements, tissue structure studies, and the determination of soil characteristics affecting plant growth. The study was conducted on the territory of the Botanical Garden of the International Kazakh-Turkish University. The obtained results showed that *J. nigra* demonstrates high adaptability to the climatic conditions of the region. The vegetation period is characterized by stable growth rates, the formation of a strong root system, and high plant viability. It was established that soil composition and moisture levels have a significant impact on seedling growth intensity. Physiological studies confirmed the presence of adaptive mechanisms that help maintain water balance and resistance to arid conditions. Anatomical studies revealed protective structures that reduce water loss and increase tissue strength. Soil analysis indicated a sufficient level of nutrients necessary for the successful growth of the plants. The obtained data

can be used for the introduction and cultivation of *J. nigra* in arid regions, as well as for the optimization of agrotechnical practices aimed at increasing the plant's resilience and productivity.

Keywords: *Juglans nigra* L., phenological observation, soil composition, anatomical features, drought resistance.

Ғ.И. Исаев¹, Б.К. Маулен¹, Н.Н. Салыбекова¹, И.Ғ. Икрамов²,
А.И. Азимбай¹, Е.Н. Балтабай¹, Қ.Қ. Құлымбет^{3*}

¹Международный казахско-турецкий университет им. Х.А. Ясави, Туркестан, Казахстан

²Региональный инновационный университет, Шымкент, Казахстан

³Казахский научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии
имени У.У. Успанова, Алматы, Казахстан

*e-mail: qulymbet.qanat@gmail.com

Особенности адаптации *Juglans nigra* L. в условиях ботанического сада МКТУ и его морфо-анатомического, физиологического развития

В статье рассматриваются особенности роста и адаптации *Juglans nigra* в условиях Южного Казахстана. Целью исследования является изучение морфологических, физиологических и анатомических характеристик *J. nigra*, а также оценка влияния почвенно-климатических факторов на его развитие. В задачи исследования входили анализ фенологических фаз, биометрические измерения, исследование структуры тканей и определение почвенных характеристик, влияющих на рост растений. Исследование проводилось на территории ботанического сада Международного казахско-турецкого университета. Полученные результаты показали, что *J. nigra* демонстрирует высокую адаптивность к климатическим условиям региона. Вегетационный период характеризуется стабильными темпами роста, формированием мощной корневой системы и высокой жизнеспособностью растений. Установлено, что состав почвы и уровень влажности оказывают значительное влияние на интенсивность роста саженцев. Физиологические исследования подтвердили наличие адаптационных механизмов, позволяющих растениям сохранять водный баланс и устойчивость к засушливым условиям. Анатомические исследования показали наличие защитных структур, способствующих снижению потерь влаги и повышению прочности тканей. Почвенные исследования продемонстрировали достаточное содержание питательных элементов, необходимых для успешного роста растений. Полученные данные могут быть использованы для интродукции и выращивания *J. nigra* в засушливых регионах, а также для оптимизации агротехнических приемов, направленных на повышение устойчивости и продуктивности растения.

Ключевые слова: *Juglans nigra* L., фенологическое наблюдение, состав почвы, анатомические особенности, засухоустойчивость.

Кіріспе

Қара жаңғақ (*Juglans nigra* L.) – Солтүстік Америкада кең таралған, бірақ біртіндеп әлемнің басқа аймақтарында, соның ішінде Орталық Азияда зерттеушілер мен селекционерлердің назарын аударатын құнды ағаш түрі [1]. Климаттың өзгеруі мен жаһандық жылыну жағдайында жоғары бейімделгіштігі мен экономикалық құндылығы бар тұрақты ағаш түрлерін зерттеу қажеттілігі артып келеді. Бұл тұрғыда *J. nigra* өзінің пайдалы қасиеттеріне, жоғары экологиялық икемділігіне және орман шаруашылығында, ландшафттық көгалдандыруда және агроорман шаруашылығы жүйелерінде пайдалану перспективасына байланысты ерекше қызығушылық тудырады [2].

Бүгінгі күнге дейін *J. nigra* бағытталған зерттеулер оның морфологиялық ерекшеліктерін, биохимиялық қасиеттерін, өсудің экологиялық-физиологиялық аспектілерін және қоршаған ор-

таның қолайсыз факторларына төзімділігін қоса алғанда, көптеген мәселелерді қамтиды. Солтүстік Америкада бұл түр орман шаруашылығының маңыздылығына және агроорман-мелиорациялық жүйелерде қолданылуына байланысты жақсы зерттелген [3]. *J. nigra* көшеттерін жабық тамыр жүйесімен өсірудің технологиялық аспектілері қарастырылған. Авторлар бұл тәсіл көшеттердің тіршілікке бейімділігін арттырып, құрғақ климаттық жағдайларда олардың жақсы өсуін қамтамасыз ететінін анықтаған [4]. Грек жаңғағының (*J. regia* L.) көшеттерін қара жаңғақ (*J. nigra* L.) қорына телу арқылы өсіру перспективалары қарастырылған. Бұл әдіс көшеттердің төзімділігін арттырып, өнімділігін жоғарылататынын және әртүрлі климаттық жағдайларға бейімделу қабілетін күшейтетінін анықтаған [5]. Sitz және басқалар [6] *J. nigra* бейімделу қабілеті жоғары екенін және оны климаттың өзгеруіне төзімді орман екпелерін құру үшін пайдалануға болатындығын көрсетеді.

Қазақстанда *J. nigra* әлі де зерттеулерді талап етеді. Соңғы жылдары оның елдің әртүрлі аймақтарында бейімделуін зерттеуге арналған жеке жұмыстар пайда болды. Мысалы, Қазақ ұлттық аграрлық университетінің ғалымдары жүргізген зерттеулер [7] климаттық өзгерістер контекстінде *J. nigra* өсу ерекшеліктеріне тәуелділігін анықтады. Олар бұл түрдің Қазақстанның оңтүстік өңірлерінде, әсіресе тау бөктеріндегі аудандарда пайдалану үшін жоғары әлеуетке ие екенін атап өтті.

Егізбаева Т.К. және басқалардың зерттеуі [8] Қазақстан жағдайында *J. nigra* жерсіндіру топырақтың ылғалдылық деңгейін, температуралық амплитудасын және жергілікті фитопатогендердің әсерін қоса алғанда, бірқатар факторларды ескеруді талап ететінін көрсетеді. Дегенмен, бұл жұмыстар негізінен шолу сипатында және жасанды екпелердегі *J. nigra* дамуының морфологиялық ерекшеліктеріне қатысты егжей-тегжейлі зерттеулер іс жүзінде жоқ.

J. nigra табиғи ауқымындағы морфологиялық және физиологиялық ерекшеліктеріне арналған зерттеулердің айтарлықтай санына қарамастан, оның Орталық Азия жағдайында, оның ішінде Қазақстан аумағы жағдайында дамуы туралы мәліметтер фрагментті болып қала береді. Атап айтқанда, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық Қазақ-Түрік университетінің ботаникалық бағында жасанды жағдайда өсірілген *J. nigra* морфологиялық құрылымдарының өсуі мен қалыптасу процестері жеткілікті зерттелмеген. Бұл зерттеудің өзектілігі жергілікті климаттық жағдайлардың осы ағаш түрінің дамуына әсері туралы білімді кеңейту қажеттілігімен анықталады, бұл оның аймақтың орман және агротехникалық екпелеріндегі болашағын бағалау үшін маңызды.

J. nigra – биіктігі 30-40 м-ге дейін жететін, терең енетін тамыр жүйесі бар жапырақты ағаш [9]. Оның діңі қараңғы, терең жарылған қабығымен жабылған, ал тәжі тығыз және жайылған. Жапырақтары күрделі, пиннат тәрізді, ұзындығы 60 см-ге дейін, оған тән хош иісі бар 15-23 жапырақ кіреді [10]. Жапырақтарында биологиялық белсенді қосылыстар (фенолдар, флавоноидтар) кездеседі [11]. Гүлдер екі қабатты: аталықтары ұзын сырғалықтарға жиналған, аналықтары жалғыз немесе 2-3 топта орналасқан. Жемісі – қалың жасыл қабығы бар дөңгелек сүйек, оның ішінде жеуге жарамды ядросы бар қатты, мыжылған тұқым қабығы бар [12].

J. nigra құрылымы мен даму ерекшеліктері оны Қазақстанның орман екпелеріне енгізу үшін перспективалы етеді, алайда оны сәтті бейімдеу үшін жергілікті климаттық жағдайлардың өсімдіктің негізгі морфологиялық көрсеткіштеріне әсерін кешенді талдау қажет. Зерттеу ботаникалық бақ жағдайында *J. nigra* өсуі мен қалыптасуының негізгі факторларын анықтауға бағытталған, бұл оны одан әрі өсіру және аймақта ықтимал тарату бойынша ұсыныстар беруге мүмкіндік береді.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Зерттеу нысаны ХҚТУ ботаникалық бақта өсірілген *J. nigra* L. болды. Зерттеу орман шаруашылығы мен көгалдандыру үшін перспективалы ағаш түрлерін зерттеу бағдарламасы аясында аймаққа енгізілген өсімдіктерде жүргізілді.

Зерттеу Оңтүстік Қазақстанда орналасқан ХҚТУ ботаникалық бағында жүргізілді (1-сурет), онда климат жазы ыстық және қысы суық континенттік жағдайлармен сипатталады. Зерттелетін учаскенің топырағы қалыпты қарашірік мөлшері бар сероземалармен ұсынылған. Жылдық орташа температура +12,5°C, жылдық жауын-шашын мөлшері – 250-300 мм.



1-сурет – Отырғызуға дайындалған *J. nigra* өсімдігі

Фенологиялық бақылаулар екі вегетациялық маусымда жүргізілді. Фенологиялық фазаларды тіркеу бүршіктердің ашылуының басталу және аяқталу күнін, өскіннің белсенді өсуін, гүлденуін, жемістердің қалыптасуы мен пісуін қамтыды. Биометриялық өлшемдер өсімдік параметрлері ай сайын тіркелді, соның ішінде көшеттердің биіктігі; тамыр мойны деңгейіндегі магистральдың диаметрі; жапырақтардың ұзындығы мен ені; күрделі жапырақтағы жапырақтардың саны; жемістер мен тұқымдардың массасы (2-сурет).



2-сурет – *J. nigra* өсімдігінің биіктігін өлшеу кезеңі

Физиологиялық көрсеткіштер – гидростатикалық өлшеу және жапырақтардағы ылғалдың мөлшерін анықтау арқылы су режимінің көрсеткіштері зерттелді [13]. Ол үшін жапырақ үлгіле-

рі алдын-ала өлшеніп, содан кейін 105°C температурада тұрақты массаға дейін кептірілді.

Анатомиялық зерттеулер – өркендер мен жапырақтардың тіндерінің тілімдерін микроскопиялық талдау арқылы жүргізілді. Үлгілер формалин-сірке суы-спирт ерітіндісінде салынып, сусыздандырылып, парафинге құйылды. Бөлімдер сафранинмен және анилин көгімен боялып, содан кейін жарық микроскопымен талданды.

Топырақ сипаттамаларын талдау-стандартты әдістерге сәйкес гранулометриялық құрамды, қышқылдықты (рН), гумустың құрамын, азоттың, фосфордың және калийдің жылжымалы формаларын зерттеуді қамтыды. Топырақ сынамаларын алу 0-40 см тереңдікте жүргізілді. Өсу қарқыны мен өнімділігін анықтау – бір ағашқа жылдық өсінділердің өсуін және жеміс санын өлшеу арқылы жүргізілді.

Статистикалық деректерді өңдеу-деректерді талдау MS Excel және statistica бағдарламаларын қолдану арқылы жүргізілді. Айырмашылықтардың дұрыстығын бағалау үшін $p < 0.05$ маңыздылық деңгейінде дисперсиялық талдау (ANOVA) әдісі қолданылды [14].

Зерттеу нәтижелері және оларды талдау

Зерттеу барысында ХҚТУ ботаникалық бағы жағдайында *J. nigra* өсуінің морфологиялық және физиологиялық ерекшеліктері туралы мәліметтер алынды. Фенологиялық бақылауларды талдау көрсеткендей, бүршіктердің орташа ашылу мерзімі 18-20 сәуір, өскіннің белсенді өсуі тамызға дейін жалғасып, жемістердің қалыптасуы қыркүйек айының соңында аяқталды. Вегетациялық кезеңнің ұзақтығы 153-160 күн аралығында өзгерді.

J. nigra биометриялық көрсеткіштерін өлшеу нәтижелері 1-кестеде көрсетілген:

1-кесте – *J. nigra* биометриялық көрсеткіштері

Көрсеткіш	Минималды мән	Максималды мән
Көшеттердің орташа биіктігі (м)	1.0	2.1
Магистраль диаметрі (см)	2.2	3.2
Өскіндердің максималды өсуі (см)	34	40
Жапырақ тақталарының ұзындығы (см)	13	19
Жапырақтар саны	12	17

1-кестеде көрсетілген *J. nigra* биометриялық көрсеткіштерінің негізінде әр түрлі жағдайда осы өсімдіктің өсуі мен морфологиялық сипаттамаларына егжей-тегжейлі талдау жасауға болады.

Көшеттердің орташа биіктігі 1,0-ден 2,1 метрге дейін өзгереді, бұл оның дамуының бастапқы кезеңдерінде *J. nigra* салыстырмалы түрде тез өсуін көрсетеді. Бұл параметрлер топырақ жағдайлары, климат, жарық деңгейі және агро-техникалық күтім ерекшеліктері [15,16] сияқты көптеген факторларға байланысты болуы мүмкін екенін ескеру маңызды. 2,1 м-ге жақын жоғары мәндер құнарлы топырақ және жеткілікті ылғалдылық сияқты оңтайлы өсу жағдайларына тән [17] болуы мүмкін, ал минималды өсу қарқыны (1,0 м) ылғалдың жетіспеушілігі немесе топырақтың жеткіліксіз қоректенуі жағдайында [18] байқалуы мүмкін.

Магистральдың диаметрі 2,2-ден 3,2 см-ге дейін өсімдіктің жақсы дамуын көрсетеді, өйткені магистральдың қалыңдауы оның өміршеңдігі мен одан әрі өсу қабілетінің маңызды көрсеткіші болып табылады. Қолайлы климаттық параметрлері және күн сәулесінің оңтайлы деңгейі бар жағдайларда өсетін көшеттерде диаметрдің жоғары мәндерін [19-21] байқауға болады. Бұл көрсеткіш өсімдіктің одан әрі өсу перспективасын бағалауда маңызды рөл атқарады, өйткені магистральдың диаметрі неғұрлым үлкен болса, соғұрлым қуатты тәждің сәтті қалыптасуы және жел мен қар жүктемесі сияқты механикалық жүктемелерге төзімділік ықтималдығы жоғары болады.

34-тен 40 см-ге дейінгі қашудың максималды өсуі вегетативті массаның жеткілікті белсенді өсуін көрсетеді. Бұл параметр қоршаған орта жағдайларына ғана емес, сонымен қатар *J. nigra* белгілі бір сортының генетикалық ерекшеліктеріне де байланысты болуы мүмкін. Өркендердің өсуіндегі айырмашылық тек 6 см құрайды, бұл зерттелген көшеттер популяциясындағы осы параметрдің тұрақтылығын көрсетеді. Қолайлы температуралық режим мен қоректік заттардың жеткілікті мөлшері жағдайында бұл көрсеткіш жоғарғы мәндерге жетуі мүмкін, бұл өз кезегінде жапырақ аппаратының тез қалыптасуына және өсімдіктің жалпы биомассасының өсуіне ықпал етеді.

Жапырақ тақталарының ұзындығы 13-дан 19 см-ге дейін, *J. nigra* жапырақ өлшемдерінің өзгергіштігін көрсетеді. Бұл өсу жағдайларының ерекшеліктеріне де, әр өсімдіктің жеке ерекшеліктеріне де байланысты болуы мүмкін.

Жапырақтары фотосинтез процесінде шешуші рөл атқарады, өсімдікті өсу мен дамуға қажетті энергиямен қамтамасыз етеді. Ұзын жапырақ тақталары фотосинтетикалық белсенді беттің көбірек аймағын қамтамасыз етеді, бұл органикалық заттардың қарқынды жиналуына және нәтижесінде ағаштың белсенді өсуіне ықпал етуі мүмкін. Жапырақ тақтасының ұзындығының ұлғаюы жақсы жарық жағдайлары мен ылғалдың жеткілікті деңгейіне байланысты болуы мүмкін екенін ескеру маңызды.

12-тен 17-ге дейінгі парақшалар саны жапырақ аппаратының дамуындағы айтарлықтай өзгергіштікті көрсетеді. Әдетте, көбірек жапырақтардың болуы күн энергиясының жақсы сіңуіне және фотосинтез процесінің тиімдірек болуына ықпал етуі мүмкін, бұл өз кезегінде өсімдіктің жалпы өсуіне оң әсер етеді. Дегенмен, бұл көрсеткіш көшеттің жас ерекшеліктеріне, оның қоршаған ортаға бейімделу дәрежесіне және құрғақшылық немесе механикалық зақымдану сияқты ықтимал стресс факторларына байланысты болуы мүмкін.

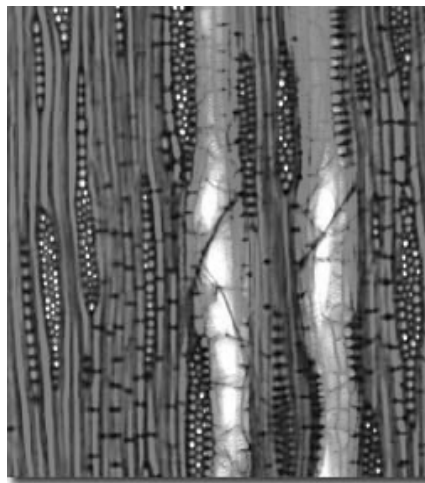
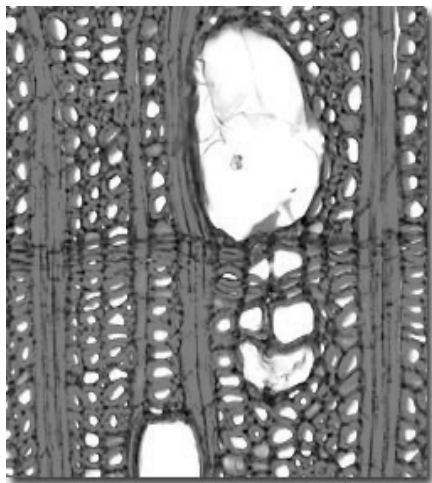
Жалпы, *J. nigra* биометриялық көрсеткіштерін талдау бұл түрдің жоғары өміршеңдігі мен жақсы өсу қарқыны бар екенін көрсетеді. Ылғалдың, қоректік заттардың және қолайлы температура режимінің жеткілікті мөлшерін қамтитын оңтайлы өсу жағдайлары барлық көрсеткіштер бойынша максималды мәндерге қол жеткізуге ықпал етеді. Дегенмен, деректердің бірнеше сантиметрге және әртүрлі парақшалар санына таралуының болуы, тіпті ұқсас жағдайларда да өсімдіктер генетикалық факторларға да, қоршаған ортаның әсеріне де байланысты жеке айырмашылықтарды көрсете алатынын көрсетеді. Әр түрлі топырақ-климаттық аймақтардағы *J. nigra* өсуі мен дамуын одан әрі зерттеу оның сәтті өсуіне және әртүрлі жағдайларға бейімделуіне ықпал ететін факторларды егжей-тегжейлі анықтауға мүмкіндік береді.

Физиологиялық зерттеулер ауа-райына байланысты жапырақтардың ылғалдылығы 60%-дан 75%-ға дейін өзгередінін көрсетті. Жоғары температура жағдайында ылғалдылық деңгейінің төмендеуі байқалды, бұл өсімдіктің жоғары транспирациялық белсенділігін көрсетеді.

Анатомиялық зерттеулер *J. nigra*-ның құрғақ жағдайларға бейімделуін қамтамасыз ететін жапырақ тақталарының құрылымдық ерекшеліктерін анықтады. Стоматальды аппарат негізінен жапырақтың төменгі жағында орналасқан паразиттік стоматалармен ұсынылған. Кутикуланың

қалыңдығы едәуір болды, бұл ылғалдың артық жоғалуына жол бермеді. Өркен тіндерінің бөлімдерін микроскопиялық талдау сыртқы әсерлерге төзімділікті қамтамасыз ететін дамыған механикалық тіндердің болуын анықтады. Кси-

лемада үлкен тамырлар байқалды (3-сурет), бұл судың жоғары өткізгіштігін көрсетеді. Деректер су ресурстарын тиімді пайдалануға бағытталған *Juglans nigra* L. бейімделу механизмдерін растайды.



3-сурет – Микроскопиялық талдау нәтижелері

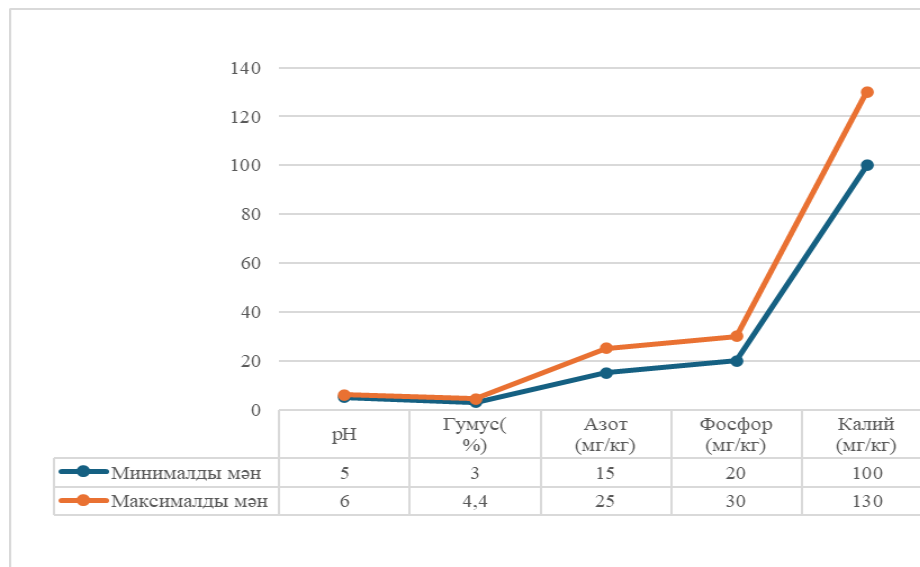
Топырақтың құнарлылығы агроэкожүйелердің өнімділігін анықтайтын негізгі факторлардың бірі. Бұл өсімдіктердің қоректік заттардың болуын анықтайтын топырақтың физикалық, химиялық және биологиялық қасиеттеріне байланысты. Құнарлылықты сандық бағалаудың бір әдісі – макронутриенттерді (азот, фосфор, калий), гумустың құрамын және топырақтың қышқылдығын (рН) талдау. Қарастырылып отырған көрсеткіштер өсімдіктердің өсуі мен олардың физиологиялық жағдайы үшін қолайлы ортаны қалыптастыруда негіз болып табылады.

4-суретте ұсынылған үлгіде рН диапазоны 5-тен 6-ға дейін өзгереді, бұл аздап қышқыл реакцияға сәйкес келеді. Топырақ қышқылдығы топырақ түзілу процестеріне, қоректік Заттардың ерігіштігіне және топырақ микрофлорасының биологиялық белсенділігіне айтарлықтай әсер етеді. рН 6,0-ден төмен болса, алюминий, марганец және темірді өсімдіктерге улы түрлерге жұмылдыру мүмкін, бұл тамыр жүйесіне теріс әсер етеді. Оңтайлы рН диапазоны (6,0–7,0) дақылдардың өсуіне қажетті макро және микроэлементтердің ең жақсы қолжетімділігін қамтамасыз етеді.

Гумус – оның физикалық-химиялық қасиеттеріне, ылғал сыйымдылығына және био-

логиялық белсенділігіне әсер ететін топырақ құнарлылығының негізі [22-24]. Бұл зерттеуде гумустың мөлшері 3–4,4% аралығында болады, бұл органикалық заттардың деңгейі жоғары топырақтарға сәйкес келеді. Жіктеуге сәйкес, қарашірік мөлшері 3%-дан асатын топырақтар орташа гумусталған және суды жақсы ұстайтын қасиеттерге ие. Гумус қышқылдықтың күрт өзгеруіне жол бермейтін және топырақ құрылымын жақсартатын [25,26] табиғи буфер рөлін атқарады.

Азоттың топырақтағы құрамы 15-25 мг/кг диапазонында ұсынылды, бұл қамтамасыз етудің орташа деңгейін көрсетеді. Азот аминқышқылдарының, ақуыздардың, нуклеин қышқылдарының және хлорофиллдің бөлігі болып табылады және оның жетіспеушілігі фотосинтетикалық белсенділіктің баяулауына және өсімдік өнімділігінің төмендеуіне әкеледі. Топырақтағы азоттың оңтайлы концентрациясы вегетативті өсуді жеделдетуге, жасыл массаның өсуіне және күшті тамыр жүйесінің қалыптасуына ықпал етеді. Алайда, бұл элементтің артық болуы өсімдіктерде нитраттардың артық жиналуына әкелуі мүмкін, бұл олардың тағамдық құндылығын төмендетеді.



4-сурет – Топырақ талдауының нәтижелері

Зерттелетін үлгілерде фосфордың мөлшері 20-дан 30 мг/кг-ға дейін өзгереді, бұл жеткілікті қауіпсіздік деңгейін көрсетеді. Фосфор аденозинтрифосфаттың (АТФ), нуклеин қышқылдарының және фосфолипидтердің құрамына кіретін энергия алмасу процестеріне қатысады. Бұл элементтің жетіспеушілігі өсудің баяулауынан, тамыр жүйесінің әлсіреуінен және өсімдіктердің стресс факторларына төзімділігінің төмендеуінен көрінеді. Фосфордың ассимиляциясы топырақтың рН деңгейіне байланысты екенін ескеру керек: 6,0–7,0 диапазонында ол өсімдіктер үшін ең қолжетімді түрде кездеседі.

Калий мөлшері 100-дан 130 мг/кг-ға дейін өзгереді, бұл осы элементпен қамтамасыз етудің жоғары деңгейін көрсетеді. Калий жасушалардың осморегуляциясында маңызды рөл атқарады, ферменттік жүйелерді белсендіреді, су балансын реттейді және өсімдіктердің құрғақшылыққа, ауруларға және төмен температураға төзімділігін арттырады. Сонымен қатар ол жеміс сапасын жақсартады, тамыр дақылдарындағы қантты арттырады және өсімдік тіндерінің механикалық беріктігіне әсер етеді. Калий жетіспейтін топырақтарда тургордың әлсіреуі, өсудің баяулауы және өнімділіктің төмендеуі байқалады.

Ұсынылған деректерді талдау топырақтың жоғары ықтимал құнарлылығына ие екенін көрсетеді, бірақ қоректік заттардың қолжетімділік динамикасы ауа-райына, микробиотаның кү-

рамына және тыңайтқыштарды пайдалану қарқындылығына байланысты өзгеруі мүмкін.

Келесі факторларды ескеру маңызды:

- 5-6 рН балансы қоректік заттардың оңтайлы қол жетімділігін қамтамасыз етеді.

- Гумустың жоғары деңгейі топырақ құрылымын жақсартуға және ылғал ұстау қабілетін арттыруға көмектеседі.

- Азоттың орташа деңгейі бақылауды қажет етеді, өйткені оның мөлшері ауа райына және органикалық заттардың минералдану процестеріне байланысты тез өзгереді.

- Фосфор мен калийдің жеткілікті мөлшері өсімдіктердің қалыпты дамуын және егіннің қалыптасуын қамтамасыз етеді.

Практикалық ұсыныстар:

- рН түзету: қышқылдықтың төмендеу үрдісімен (рН 6,0 және одан төмен) топырақ қышқылдығын бейтараптандыру үшін әк тыңайтқыштарын (доломит ұны, әктас) қолдануға болады.

- Органикалық тыңайтқыштар: гумус деңгейін ұстап тұру үшін топырақтың биологиялық белсенділігін арттыруға көмектесетін компост, гумус және жасыл көңді қолданған жөн.

- Азот тыңайтқыштары: азот мөлшері 15 мг/кг-нан төмен болған кезде, әсіресе өсімдіктердің белсенді өсуінің көктемгі кезеңінде аммиак селитрасын немесе мочевины қолдану ұсынылады.

- Фосфор тыңайтқыштары: фосфор тапшылығы жағдайында (20 мг/кг) суперфосфаттарды немесе фосфорит ұнын қолданған жөн.

- Калий тыңайтқыштары: калий 100 мг/кг-нан төмендеген кезде калий тұздарын немесе калий сульфатын қолдануға болады, әсіресе осы элементті қажет ететін дақылдар үшін.

Топырақ талдауы зерттелетін учаскенің макронутриенттермен, қолайлы қышқылдықпен және органикалық заттардың жақсы құрамымен жоғары қамтамасыз етілетіндігін көрсетті. Бұл тыңайтқыштарды ұтымды қолдану, агротехникалық шаралар және топырақтың химиялық құрамын бақылау арқылы сақтауға және жақсартуға болатын топырақтың ықтимал жоғары құнарлылығын көрсетеді. Қоректік заттардың мазмұнын үнемі бақылау ұрықтандыру стратегияларын түзетуге және өсірілген дақылдардың өнімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Деректердің растығын дәлелдеу дисперсиялық талдау (ANOVA) формуласына сүйене отырып, жүргізілді:

$$F = \frac{MS_{\text{топаралық}}}{MS_{\text{топішілік}}} = \frac{0.180}{0.010} = 18.00$$

мұнда:

$$MS_{\text{межгрупп}} = \frac{SS_{\text{топаралық}}}{df_{\text{топаралық}}} = \frac{0.180}{1} = 0.180$$

$$MS_{\text{внутригрупп}} = \frac{SS_{\text{топішілік}}}{df_{\text{топішілік}}} = \frac{0.040}{4} = 0.010$$

$SS_{\text{топарасындағы}} = 0.180$ – топтар арасындағы ауытқулардың қосындысы,

$SS_{\text{топішіндегі}} = 0.140$ – топтардың ішіндегі ауытқулардың қосындысы,

$df_{\text{топарасындағы}} = 1$ – топтар арасындағы еркіндік дәрежесі,

$df_{\text{топішіндегі}} = 1$ – топтардың ішіндегі еркіндік дәрежесі.

Пирсон корреляция коэффициенті:

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}} = 0.9956$$

x_i / y_i – зерттелген айнымалылар,

$x = 1.96$ – топырақтағы гумус деңгейінің орташа мәні,

$y = 3.88$ – көшеттердің биіктігінің орташа мәні.

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, топырақ сипаттамаларының (рН, гумус, макроэлементтер) *Juglans nigra*-ның биометриялық көрсеткіш-

теріне әсері статистикалық тұрғыда маңызды ($p < 0.05$). Гумус деңгейі мен өсімдіктің биіктігі арасындағы корреляция коэффициенті $r = 0.9956$ ($p = 0.00035$), бұл екі көрсеткіш арасындағы өте күшті оң байланыс бар екенін көрсетеді.

Дисперсиялық талдау нәтижесінде көшеттердің өсуіне топырақтағы ылғалдың мөлшері ең ықпалды фактор екені анықталды ($p = 0.00183$). Ылғал жеткілікті болған жағдайда өсімдіктердің орташа биіктігі 15-20%-ға жоғары болды. Статистикалық F-критерий мәні 18.00-ге тең болып, ылғалдылық деңгейлері арасындағы айырмашылықтың маңызды екенін көрсетті.

Жалпы, зерттеу нәтижелері *J. nigra* Оңтүстік Қазақстан аймағында қолайлы бейімделуін және топырақ-климаттық факторлардың оның өсуіне айтарлықтай әсер ететінін көрсетті. Бұл зерттеудің қорытындылары *J. nigra* жерсіндіру және орман шаруашылығында қолдану үшін ұсыныстар әзірлеуде пайдалы болуы мүмкін.

Қорытынды

Зерттеу барысында ХҚТУ ботаникалық бағы жағдайында *J. nigra* өсуінің морфологиялық және физиологиялық ерекшеліктері анықталды. Алынған деректер *J. nigra* Оңтүстік Қазақстанның климаттық жағдайларына жоғары бейімделу қабілетін көрсетеді. Фенологиялық бақылаулар орташа вегетациялық кезеңнің 153-160 күн екенін және қашудың белсенді өсуі тамызға дейін жалғасатынын көрсетті. Биометриялық өлшеулер көшеттердің биіктігі 1,0–2,1 м, магистральдың диаметрі 2,2 – 3,2 см, ал өскіннің максималды өсуі 40 см-ге жететіндігін анықтады. Жапырақ аппаратының морфологиялық көрсеткіштері (жапырақ такталарының ұзындығы 13-19 см, жапырақтардың саны 12-17) өсімдіктердің жоғары фотосинтетикалық белсенділігін көрсетеді.

Физиологиялық зерттеулер жапырақтардың ылғалдылық деңгейі 60% – дан 75% – ға дейін өзгеретінін көрсетті, бұл құрғақ климат жағдайында транспирацияның бейімделу механизмдерін көрсетеді. Анатомиялық талдау *J. nigra* дамыған механикалық ұлпасы, кутикуланың қалыңдығы және ксилемадағы үлкен тамырлары бар екенін анықтады, бұл судың тиімді қозғалысына және стресс факторларына төзімділіктің жоғарылауына ықпал етеді. Жапырақ құрылымының топографиялық талдауы астыңғы жағындағы стоматалардың басым орналасуын растады, бұл ылғалдың жоғалуын азайтады.

Топырақ сипаттамаларын талдау РН 5–6 диапазонында, қарашірік мөлшері – 3–4,4%, азот – 15–25 мг/кг, фосфор – 20–30 мг/кг, калий – 100–130 мг/кг екенін көрсетті. гумустың жоғары деңгейі және макронутриенттердің жеткілікті мөлшері *Juglans nigra* өсуінің оңтайлы жағдайларын қамтамасыз етеді, бірақ қол жетімділік динамикасы қоректік заттар қосымша бақылауды қажет етеді.

Статистикалық талдау топырақ-климаттық факторлардың *J. nigra* өсуі мен дамуына айтарлықтай әсерін растады. Гумустың құрамы мен өсімдіктердің биіктігі арасындағы корреляциялық коэффициент $r = 0.9956$ ($p = 0.00035$) болды, бұл күшті оң тәуелділікті көрсетеді. Дисперсиялық талдау (ANOVA) көшеттердің өсуіне әсер ететін негізгі фактор топырақтың ылғалдылық деңгейі ($p = 0.00183$) екенін анықтады, оңтайлы ылғалдылық жағдайында өсімдіктердің орташа биіктігі 15–20% жоғары болды. F-критерийінің мәні 18.00 болды, бұл топтар арасындағы статистикалық маңызды айырмашылықтарды растайды.

Алынған нәтижелерді алдыңғы зерттеулермен салыстыру Оңтүстік Қазақстан жағдайындағы *J. nigra* Солтүстік Америка мен Еуропадағы ұқсас зерттеулермен ұқсас өсу мен даму көрсеткіштерін көрсететінін көрсетеді. Алайда, механикалық тіндердің дамуының жоғарылауы және Парақ аппараттарының өзгерген параметрлері сияқты анықталған бейімделу механизмдері жаңа экологиялық жағдайларда түрдің жоғары икемділігін көрсетеді.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы Қазақстанда жасанды интродукция жағдайында *J. Nigra* морфологиялық, физиологиялық және анатомиялық параметрлерін кешенді талдаудан тұрады. Алғаш рет биометриялық көрсеткіштердің топырақ сипаттамаларымен корреляциясын бағалау жүргізілді, бұл белгілі бір аймақта түрді өсіру әлеуетін болжауға мүмкіндік береді.

Алынған нәтижелердің практикалық маңыздылығы Қазақстанның құрғақ өңірлерінде көгалдандыру және орманды қалпына келтіру іс-шаралары үшін *J. nigra* пайдалану мүмкіндігінде жатыр. Екпелердің өмір сүруін және өнімділігін арттыру үшін топырақ ылғалдылығын бақылауды және минералды қоректенуді оңтайландыруды қоса алғанда, қосымша агро-техникалық іс-шараларды жүргізу ұсынылады. Нәтижелер климаттың өзгеруі жағдайында жаңа ағаш түрлерін енгізу және бейімдеу бағдарламаларын әзірлеу кезінде пайдаланылуы мүмкін.

Қаржыландыру көзі

Бұл зерттеу Қазақстан Республикасының Жоғары білім және ғылым министрлігінің Ғылым комитеті (грант ЖТН BR24992814) қаржыландыруымен жүзеге асырылды.

Мүдделер қақтығысы

Барлық авторлар мақаланың мазмұнын оқып, танысты және мүдделер қақтығысы жоқ.

Әдебиеттер

1. Nicolescu V. N., Karoly R., Torsten V., Jean-Charles B., Brus R. A review of black walnut (*Juglans nigra* L.) ecology and management in Europe // *Trees*. – 2020. – Vol. 34. – P. 1087–1112. – DOI: 10.1007/s00468-020-01988-7.
2. Bishop B., Meier N., Coggeshall M., Lovell S., Revord R. A review to frame the utilization of Eastern black walnut (*Juglans nigra* L.) cultivars in alley cropping systems // *Agroforestry Systems*. – 2024. – Vol. 98, № 2. – P. 309–321. – DOI: 10.1007/s10457-023-00909-0.
3. Ma W., Wu Q., Xu Y., Kuca K. Exploring mycorrhizal fungi in walnut with a focus on physiological roles // *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. – 2021. – Vol. 49, № 2. – P. 12363–12363. – DOI: 10.15835/nbha49212363.
4. Sapronova D., Belyaev A., Khuzhakhmetova A. Technological aspects of growing *Juglans nigra* (L.) with closed root system for agroforestry in arid regions // *Research on Crops*. – 2023. – T. 24, № 4. – C. 784–788. – DOI: 10.31830/2348-7542.2023.ROC-1023.
5. Хохлов С. Ю., Корниенко П. С., Плугатарь Ю. В. Перспективы производства саженцев ореха грецкого (*Juglans regia* L.), привитых на сеянцах ореха черного (*Juglans nigra* L.) // *Бюллетень ГНБС*. – 2022. – Вып. 142. – С. 106. – ISSN: 0513-1634.
6. Sitz R. A., Luna E., Caballero J., Tisserat N., Cranshaw W., McKenna J., Stolz J., Stewart J. Eastern black walnut (*Juglans nigra* L.) originating from native range varies in their response to inoculation with *Geosmithia morbida* // *Frontiers in Forests and Global Change*. – 2021. – Vol. 4. – P. 627911. – DOI: 10.3389/ffgc.2021.627911.
7. Kairova G., Ismagulova E., Oleichenko S., Basim H., Tursunova A., Korabayeva S. Identification of the main diseases of walnut in the southern fruit-growing zone of Kazakhstan // *Izdenister Natigeler*. – 2024. – Vol 1 (101). – P. 91–102. – DOI: 10.37884/1-2024/10.

8. Yegizbayeva T. K., García S., Yausheva T., Kairova M., Apushev A., Oleichenko S., Licea-Moreno R. Unraveling factors affecting micropropagation of four Persian walnut varieties // *Agronomy*. – 2021. – Vol. 11, № 7. – P. 1417. – DOI: 10.3390/agronomy11071417.
9. Janković S., Stankovic J., Jankovic D., Milatovic D. Morphology and morphogenesis of female reproductive organs in some walnut (*Juglans regia* L.) genotypes // *Scientia Horticulturae*. – 2021. – Vol. 289. – P. 110471. – DOI: 10.1016/j.scienta.2021.110471.
10. Pozdnyakov D. I., Dayronas Zh., Zolotykh D., Geraschenko A., Shabanova N. Neuroprotective effects of a 40% ethanol extract of the black walnut bark (*Juglans nigra* L.) // *Research Results in Pharmacology*. – 2022. – Vol. 8, № 2. – P. 59–68. – DOI: 10.3897/rpharmacology.8.77172.
11. Куркин В. А., Зименкина Н. И. Исследование компонентного состава листьев видов рода орех (*Juglans* L.) методом ВЭЖХ // *Химия растительного сырья*. – 2022. – Т 4. – С. 231–239.
12. Osztie R., Czeglédi T., Ross S., Stipicz B., Kalydi E., Beni S., Boldizsar I., Riethmuller E., Bosze S., Alberti A. Comprehensive characterization of phytochemical composition, membrane permeability, and antiproliferative activity of *Juglans nigra* polyphenols // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2024. – Vol. 25, № 13. – P. 6930. – DOI: 10.3390/ijms25136930.
13. Pérez-López L., Argente L., Peruelas-Rubio O., Nunez J. Water regime variability during the flowering phenophase of white and yellow grain maize hybrids and the relation with grain yield // *Ciência e Agrotecnologia*. – 2024. – Vol. 48. – P. 5724. – DOI: 10.1590/1413-7054202448005724.
14. Cahyono St. Design and Analysis of Experiments // Montgomery, Douglas C. Design and analysis of experiments / Douglas C. Montgomery. – Eighth edition. – 2022. – P. 1-118.
15. Popovych V., Voloshchysyn A., Lysyi N., Petlovanyi M., Shuplat T. Natural phytomelioration processes on rock dumps of abandoned coal mines (Ukraine) // *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*. – 2024. – Vol. 39, № 5. – P. 63–73. – DOI: 10.17794/rgn.2024.5.4.
16. Magnier M. The effect of soil conditions on climate-growth correlations at two *Pinus nigra* sites // *Dendrobiology*. – 2025. – Vol. 93. – P. 60–68. – DOI: 10.12657/denbio.093.004.
17. García-Saucedo F., Morote F.A., Picazo M., Abellan M. Responses of enzymatic and microbiological soil properties to the site index and age gradients in Spanish black pine (*Pinus nigra* Arn. ssp. *salzmannii*) Mediterranean forests // *Forests*. – 2024. – Vol. 15, № 1. – P. 113. – DOI: 10.3390/f15010113. -P. 1-118.
18. Żolnowski A. C., Rolka E., Kalinowski L. Effects of Organic Amendments on the Morphology and Chemical Composition of Black Mustard (*Sinapis nigra* L.) Grown on Soil Contaminated with Copper // *Agronomy*. – 2024. – Vol. 14, № 5. – P. 995. – DOI: 10.3390/agronomy14050995.
19. Li H., Zhang X., Li Z., Tan X. A review of research on tree risk assessment methods // *Forests*. – 2022. – Vol. 13, № 10. – P. 1556. – DOI: 10.3390/f13101556.
20. Yu H., Zhang J., Zhang S., Han Z. Bionic structures and materials inspired by plant leaves: A comprehensive review for innovative problem-solving // *Progress in Materials Science*. – 2023. – Vol. 139. – P. 101181. – DOI: 10.1016/j.pmatsci.2023.101181.
21. Leister D. Enhancing the light reactions of photosynthesis: Strategies, controversies, and perspectives // *Molecular Plant*. – 2023. – Vol. 16, № 1. – P. 4–22. – DOI: 10.1016/j.molp.2022.08.005.
22. Tkachenko M., Zadubinna Y., Kondratiuk I., Tsiuk O., Tsiuk Y. Changes in physical and chemical properties and humus content of typical black soil in treatment and fertilizer systems // *AgroLife Scientific Journal*. – 2023. – Vol. 12, № 1. – P. 215–221. – DOI: 10.17930/AGL2023125.
23. Potdar R. P., Shirolkar M., Verma A., More P., Kulkarni A. Determination of soil nutrients (NPK) using optical methods: a mini review // *Journal of Plant Nutrition*. – 2021. – Vol. 44, № 12. – P. 1826–1839. – DOI: 10.1080/01904167.2021.1884702.
24. Nadeem F., Abbas S., Waseem F., Najeed A., Mahmood R., Bibi S., Wang L., Deng L., Yuan H., Wang R., Zhong Y., Li X., Li XX. Phosphorus (P) and Zinc (Zn) nutrition constraints: A perspective of linking soil application with plant regulations // *Environmental and Experimental Botany*. – 2024. – P. 105875. – DOI: 10.1016/j.envexpbot.2024.105875.
25. Hue N. Soil acidity: Development, impacts, and management // *Structure and functions of pedosphere*. – Singapore: Springer Nature Singapore, 2022. – C. 103–131. – DOI: 10.1007/978-981-16-8770-9_5.
26. Hasanuzzaman M., Bhuyan M., Nahar K., Hossain Md., Mahmud J., Hossen S., Masud A., Moumita M., Fujita M. Potassium: a vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses // *Agronomy*. – 2018. – Vol. 8, № 3. – P. 31. – DOI: 10.20944/preprints201801.0223.v1.

References

1. Nicolescu V. N., Karoly R., Torsten V., Jean-Charles B., Brus R. A review of black walnut (*Juglans nigra* L.) ecology and management in Europe // *Trees*. – 2020. – Vol. 34. – P. 1087–1112. – DOI: 10.1007/s00468-020-01988-7.
2. Bishop B., Meier N., Coggeshall M., Lovell S., Revord R. A review to frame the utilization of Eastern black walnut (*Juglans nigra* L.) cultivars in alley cropping systems // *Agroforestry Systems*. – 2024. – Vol. 98, № 2. – P. 309–321. – DOI: 10.1007/s10457-023-00909-0.
3. Ma W., Wu Q., Xu Y., Kuca K. Exploring mycorrhizal fungi in walnut with a focus on physiological roles // *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. – 2021. – Vol. 49, № 2. – P. 12363–12363. – DOI: 10.15835/nbha49212363.
4. Saprionova D., Belyaev A., Khuzhakhmetova A. Technological aspects of growing *Juglans nigra* (L.) with closed root system for agroforestry in arid regions // *Research on Crops*. – 2023. – Т. 24, № 4. – С. 784–788. – DOI: 10.31830/2348-7542.2023.ROC-1023.

5. Khokhlov S. Yu., Kornienko P. S., Plugatar' Yu. V. Perspektivy proizvodstva sazhentsev oreha greckogo (*Juglans regia* L.), privitykh na seyantsakh oreha chernogo (*Juglans nigra* L.) // *Byulleten' GNBS*. – 2022. – Issue 142. – P. 106. – ISSN: 0513-1634.
6. Sitz R. A., Luna E., Caballero J., Tisserat N., Cranshaw W., McKenna J., Stolz J., Stewart J. Eastern black walnut (*Juglans nigra* L.) originating from native range varies in their response to inoculation with *Geosmithia morbida* // *Frontiers in Forests and Global Change*. – 2021. – Vol. 4. – P. 627911. – DOI: 10.3389/ffgc.2021.627911.
7. Kairova G., Ismagulova E., Oleichenko S., Basim H., Tursunova A., Korabayeva S. Identification of the main diseases of walnut in the southern fruit-growing zone of Kazakhstan // *Izdenister Natigeler*. – 2024. – Vol 1 (101). – P. 91–102. – DOI: 10.37884/1-2024/10.
8. Yegizbayeva T. K., García S., Yausheva T., Kairova M., Apushev A., Oleichenko S., Licea-Moreno R. Unraveling factors affecting micropropagation of four Persian walnut varieties // *Agronomy*. – 2021. – Vol. 11, № 7. – P. 1417. – DOI: 10.3390/agronomy11071417.
9. Janković S., Stanković J., Janković D., Milatović D. Morphology and morphogenesis of female reproductive organs in some walnut (*Juglans regia* L.) genotypes // *Scientia Horticulturae*. – 2021. – Vol. 289. – P. 110471. – DOI: 10.1016/j.scienta.2021.110471.
10. Pozdnyakov D. I., Dayronas Zh., Zolotikh D., Geraschenko A., Shabanova N. Neuroprotective effects of a 40% ethanol extract of the black walnut bark (*Juglans nigra* L.) // *Research Results in Pharmacology*. – 2022. – Vol. 8, № 2. – P. 59–68. – DOI: 10.3897/rrpharmacology.8.77172.
11. Kurkin V. A., Zimenkina N. I. Issledovanie komponentnogo sostava listev vidov roda *Juglans* metodom VEZhKh // *Khimia rastitel'noy syr'ya*. – 2022. – No. 4. – P. 231–239.
12. Osztie R., Czegledi T., Ross S., Stipicz B., Kalydi E., Beni S., Boldizsar I., Riethmuller E., Bosze S., Alberti A. Comprehensive characterization of phytochemical composition, membrane permeability, and antiproliferative activity of *Juglans nigra* polyphenols // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2024. – Vol. 25, № 13. – P. 6930. – DOI: 10.3390/ijms25136930.
13. Pérez-López L., Argente L., Peruelas-Rubio O., Nunez J. Water regime variability during the flowering phenophase of white and yellow grain maize hybrids and the relation with grain yield // *Ciência e Agrotecnologia*. – 2024. – Vol. 48. – P. 5724. – DOI: 10.1590/1413-7054202448005724.
14. Cahyono St. Design and Analysis of Experiments // Montgomery, Douglas C. Design and analysis of experiments / Douglas C. Montgomery. – Eighth edition. – 2022. – P. 1-118.
15. Popovych V., Voloshchysyn A., Lysyi N., Petlovanyi M., Shuplat T. Natural phytomelioration processes on rock dumps of abandoned coal mines (Ukraine) // *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*. – 2024. – Vol. 39, № 5. – P. 63–73. – DOI: 10.17794/rgn.2024.5.4.
16. Magnier M. The effect of soil conditions on climate-growth correlations at two *Pinus nigra* sites // *Dendrobiology*. – 2025. – Vol. 93. – P. 60–68. – DOI: 10.12657/denbio.093.004.
17. García-Saucedo F., Morote F.A., Picazo M., Abellan M. Responses of enzymatic and microbiological soil properties to the site index and age gradients in Spanish black pine (*Pinus nigra* Arn. ssp. *salzmannii*) Mediterranean forests // *Forests*. – 2024. – Vol. 15, № 1. – P. 113. – DOI: 10.3390/f15010113. -P. 1-118.
18. Żołnowski A. C., Rolka E., Kalinowski L. Effects of Organic Amendments on the Morphology and Chemical Composition of Black Mustard (*Sinapis nigra* L.) Grown on Soil Contaminated with Copper // *Agronomy*. – 2024. – Vol. 14, № 5. – P. 995. – DOI: 10.3390/agronomy14050995.
19. Li H., Zhang X., Li Z., Tan X. A review of research on tree risk assessment methods // *Forests*. – 2022. – Vol. 13, № 10. – P. 1556. – DOI: 10.3390/f13101556.
20. Yu H., Zhang J., Zhang S., Han Z. Bionic structures and materials inspired by plant leaves: A comprehensive review for innovative problem-solving // *Progress in Materials Science*. – 2023. – Vol. 139. – P. 101181. – DOI: 10.1016/j.pmatsci.2023.101181.
21. Leister D. Enhancing the light reactions of photosynthesis: Strategies, controversies, and perspectives // *Molecular Plant*. – 2023. – Vol. 16, № 1. – P. 4–22. – DOI: 10.1016/j.molp.2022.08.005.
22. Tkachenko M., Zadubinna Y., Kondratiuk I., Tsiuk O., Tsiuk Y. Changes in physical and chemical properties and humus content of typical black soil in treatment and fertilizer systems // *AgroLife Scientific Journal*. – 2023. – Vol. 12, № 1. – P. 215–221. – DOI: 10.17930/AGL2023125.
23. Potdar R. P., Shirolkar M., Verma A., More P., Kulkarni A. Determination of soil nutrients (NPK) using optical methods: a mini review // *Journal of Plant Nutrition*. – 2021. – Vol. 44, № 12. – P. 1826–1839. – DOI: 10.1080/01904167.2021.1884702.
24. Nadeem F., Abbas S., Waseem F., Najeed A., Mahmood R., Bibi S., Wang L., Deng L., Yuan H., Wang R., Zhong Y., Li X., Li XX. Phosphorus (P) and Zinc (Zn) nutrition constraints: A perspective of linking soil application with plant regulations // *Environmental and Experimental Botany*. – 2024. – P. 105875. – DOI: 10.1016/j.envexpbot.2024.105875.
25. Hue N. Soil acidity: Development, impacts, and management // *Structure and functions of pedosphere*. – Singapore: Springer Nature Singapore, 2022. – C. 103–131. – DOI: 10.1007/978-981-16-8770-9_5.
26. Hasanuzzaman M., Bhuyan M., Nahar K., Hossain Md., Mahmud J., Hossen S., Masud A., Moumita M., Fujita M. Potassium: a vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses // *Agronomy*. – 2018. – Vol. 8, № 3. – P. 31. – DOI: 10.20944/preprints201801.0223.v1.

Авторлар туралы мәліметтер:

Исаев Ғани Исаұлы – Қожас Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінің қауымдастырылған профессоры, ҚазҰЖҒА корреспондент мүшесі (Қазақстан, Түркістан қ., e-mail: gani.isayev@ayu.edu.kz).

Маулен Биганым Қожасметқызы – Қожас Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінің магистранты (Қазақстан, Түркістан қ., e-mail: biganym.maulen@ayu.edu.kz);

Салыбекова Нұрдана Нұртайқызы – PhD, Қожас Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінің қауымдастырылған профессоры (Қазақстан, Түркістан қ., e-mail: nurdana.salybekova@ayu.edu.kz).

Икрамов Ильяс Ғалымбетұлы – PhD, Аймақтық инновациялық университеті (Қазақстан, Шымкент қ., e-mail: ilias_91_24@mail.ru).

Әзімбай Абылайхан Исаханұлы – Қожас Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінің аға оқытушысы (Қазақстан, Түркістан қ., e-mail: abylayhan.azimby@mail.ru).

Балтабай Ербол Нұрсұлтанұлы – Қожас Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінің магистр оқытушысы (Қазақстан, Түркістан қ., yerbol.baltabay@ayu.edu.kz).

Құлымбет Қанат Қайратұлы (корреспондент-автор) – PhD, Ө.О. Оспанов атындағы Қазақ топырақтану және агрохимия ғылыми-зерттеу институты, Топырақ экологиясы бөлімінің ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан, e-mail: qulymbet.qanat@gmail.com).

Information about authors:

Issayev Gani Isaully – associate professor of the International Kazakh-Turkish university named after Khoja Ahmed Yasawi, corresponding member of the KazNAU (Turkestan, Kazakhstan, e-mail: gani.isayev@ayu.edu.kz).

Maulen Biganym Kozhakhmetkyzy – master’s Student of The International Kazakh-Turkish university named after Khoja Ahmed Yasawi (Turkestan, Kazakhstan, e-mail: biganym.maulen@ayu.edu.kz).

Salibekova Nurdana Nurtaevna – PhD, associate professor of the International Kazakh-Turkish university named after Khoja Ahmed Yasawi (Turkestan, Kazakhstan, e-mail: nurdana.salybekova@ayu.edu.kz).

Ikramov Ilyas Galimbetulu – PhD, Regional Innovation University (Kazakhstan, Shymkent, e-mail: ilias_91_24@mail.ru).

Azimbay Aibylaikhan Isakhanuly-senior lecturer of the International Kazakh-Turkish university named after Khoja Ahmed Yasawi (Turkestan, Kazakhstan, e-mail: abylayhan.azimby@mail.ru).

Baltabay Yerbol Nursultanovich – lecturer (master’s degree) of the International Kazakh-Turkish university named after Khoja Ahmed Yasawi (Turkestan, Kazakhstan, e-mail: yerbol.baltabay@ayu.edu.kz).

Kulymbet Kanat Kairatuly (corresponding author) – PhD, Researcher at the Department of soil ecology, U.U. Usanov Kazakh Research Institute of Soil Science and Agrochemistry, (Almaty, Kazakhstan, email: qulymbet.qanat@gmail.com).

Сведения об авторах:

Исаев Ғани Исаұлы – ассоциированный профессор Международного казахско-турецкого университета имени Ходжы Ахмеда Ясави, член-корреспондент Казахской национальной академии естественных наук (КазНАЕН) (Туркестан, Казахстан, e-mail: gani.isayev@ayu.edu.kz).

Маулен Биганым Қожасметқызы – магистрант Международного казахско-турецкого университета имени Ходжы Ахмеда Ясави (Туркестан, Казахстан, e-mail: biganym.maulen@ayu.edu.kz).

Салыбекова Нұрдана Нұртайқызы – PhD, ассоциированный профессор Международного казахско-турецкого университета имени Ходжы Ахмеда Ясави (Туркестан, Казахстан, e-mail: nurdana.salybekova@ayu.edu.kz).

Икрамов Ильяс Ғалымбетович – PhD, Региональный инновационный университет (Шымкент, Казахстан, e-mail: ilias_91_24@mail.ru).

Азимбай Абылайхан Исаханович – старший преподаватель Международного казахско-турецкого университета имени Ходжы Ахмеда Ясави (Туркестан, Казахстан, e-mail: abylayhan.azimby@mail.ru).

Балтабай Ербол Нұрсұлтанович – магистр, преподаватель Международного казахско-турецкого университета имени Ходжы Ахмеда Ясави (Туркестан, Казахстан, e-mail: yerbol.baltabay@ayu.edu.kz).

Құлымбет Қанат Қайратович (корреспондентный автор) – PhD, научный сотрудник отдела экологии почв Казахского научно-исследовательского института почвоведения и агрохимии имени У.У. Успанова (Алматы, Казахстан, e-mail: qulymbet.qanat@gmail.com).

Келіп түсті: 7 сәуір 2025 жыл
Қабылданды: 20 қараша 2025 жыл

МРНТИ 34.29.01

<https://doi.org/10.26577/bb20251053>**А.Е. Нурманбек^{1*}**, **Н.З. Ахтаева¹**, **Л.Н. Киекбаева²**¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан²Казахский национальный медицинский университет им. С.Д. Асфендиярова, Алматы, Казахстан

*e-mail: aydyn.nurmanbek@gmail.com

МАКРОСКОПИЯ И МИКРОСКОПИЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО ЛЕКАРСТВЕННОГО РАСТЕНИЯ *ARTHROPHYTUM LONGIBRACTEATUM*

В данной работе представлены результаты детального изучения анатомического строения листьев лекарственного растения *Arthrophytum longibracteatum* Eug.Kor., произрастающего в предгорьях Бугаты. *A. longibracteatum* – галофитное растение и многолетний полукустарник, входящее семейству маревые *Chenopodiaceae* Less. Вид был впервые описан российском ботаником М.Е. Коровином в 1935 году. *A. longibracteatum* играет важную роль, как почвоукрепляющее растение, уменьшая ветровую эрозию.

Цель исследования – изучить морфо-анатомическое строение листа *A. longibracteatum* и определить диагностические признаки вида на основе их листовой структуры. Исследования проводились с использованием макро- и микроскопических методов, в соответствии с требованиями Фармакопеи Казахстана.

Ассимиляционная ткань листьев характеризуется изолатерально-палисадным типом строения. Палисадные клетки, ответственные за фотосинтез, расположены в один ряд. На верхнем и нижнем эпидермисе листьев обнаружены устьица парацитного типа, обеспечивающие газообмен растения с окружающей средой.

В основных тканях листьев присутствуют минеральные кристаллы- друзы различного размера. Эти кристаллы играют важную роль в метаболизме растения и могут служить диагностическим признаком. Проводящая ткань листьев демонстрирует утолщенную структуру, что является характерной особенностью хасмофитов – растений, произрастающих на скалах и каменистых субстратах.

Полученные данные могут быть использованы для идентификации и стандартизации сырья *A. longibracteatum* в фармацевтической практике.

Ключевые слова: *Arthrophytum longibracteatum* Eug.Kor., галофиты, друзы оксалата кальция, микротехника, склероморфоз.

A.E. Nurmanbek^{1*}, N.Z. Akhtayeva¹, L.N. Kiyekbayeva²¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan²Asfendiyarov Kazakh National Medical University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: aydyn.nurmanbek@gmail.com

Macroscopy and microscopy of the prospective medicinal plant *Arthrophytum longibracteatum*

This paper presents the results of a detailed study on the anatomical structure of the leaves of the medicinal plant *Arthrophytum longibracteatum* Eug.Kor., which grows in the foothills of the Boguty Mountains. *A. longibracteatum* is a halophytic plant and a perennial semi-shrub belonging to the family *Chenopodiaceae* Less. The species was first described by the Russian botanist M.E. Korovin in 1935. *A. longibracteatum* plays an important role as a soil-stabilizing plant, reducing wind erosion.

The aim of the study is to examine the morphological and anatomical characteristics of *A. longibracteatum* leaves and to determine the diagnostic characteristics of the species based on their leaf structure. The study was carried out using macro- and microscopic methods, in accordance with the requirements of the Pharmacopoeia of the Republic of Kazakhstan.

The assimilative tissue of the leaves is characterized by an isolateral-palisade type of structure. Palisade cells responsible for photosynthesis are arranged in a single layer. On both the upper and lower epidermis of the leaves, paracytic-type stomata were identified, ensuring gas exchange between the plant and the surrounding environment.

In the fundamental tissues of the leaves, mineral crystals known as druses of various sizes were found. These crystals play a significant role in plant metabolism and may serve as diagnostic markers.

The vascular tissue of the leaves exhibits a thickened structure, which is a characteristic feature of chas-mophytes—plants that grow on rocks and stony substrates.

The data obtained can be used for the identification and standardization of *A. longibracteatum* raw materials in pharmaceutical practice.

Keywords: *Arthrophytum longibracteatum* Eug.Kor., halophytes, calcium oxalate druses, microscopy, scleromorphosis.

А.Е. Нұрманбек^{1*}, Н.З. Ахтаева¹, А.Н. Киекбаева²

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

²С.Д. Асфендияров атындағы Қазақ ұлттық медициналық университеті, Алматы, Қазақстан

*e-mail: aydyn.nurmanbek@gmail.com

***Arthrophytum longibracteatum* перспективалы дәрілік өсімдігінің макроскопиясы және микроскопиясы**

Бұл зерттеу жұмысында Боғұты тау етегінде өсетін дәрілік өсімдік – *Arthrophytum longibracteatum* Eug.Kor. жапырағының анатомиялық құрылысы жан-жақты сипатталған. *A. longibracteatum* – көпжылдық жартылай бұта және галофитті өсімдік, алабұталар тұқымда-сына *Chenopodiaceae* Less. жатады. Бұл түрді алғаш рет 1935 жылы орыс ботанигі М.Е. Коровин сипаттаған. *A. longibracteatum* топырақты бекітетін өсімдік ретінде маңызды рөл атқарады, жел эрозиясын азайтады.

Зерттеу жұмысының мақсаты *A. longibracteatum* жапырағының морфо-анатомиялық ерек-шеліктерін зерттеп, жапырақ құрылысы негізінде диагностикалық белгілерін анықтау. Зерттеу Қазақстан Республикасы Фармакопеясының талаптарына сәйкес макро- және микроскопиялық әдістер арқылы жүргізілді.

Жапырақтардың ассимиляциялық ұлпасы изолатералды-палисадты типке жатады. Фотосин-тезге жауапты палисадты жасушалар бір қатарлы орналасқан. Жапырақтың үстіңгі және астыңғы эпидермисінде парациттік типтегі ұстыцалар анықталды, олар өсімдіктің қоршаған ортамен газ алмасуын қамтамасыз етеді.

Жапырақтың негізгі ұлпаларында әртүрлі мөлшердегі минералды кристалдар – друзалар кез-деседі. Бұл кристалдар өсімдік метаболизмінде маңызды рөл атқарады және диагностикалық белгі ретінде қолданылуы мүмкін. Жапырақтың өткізгіш ұлпасы қалыңдаған құрылыммен сипат-талады, бұл жартастар мен тасты субстраттарда өсетін хасмофит өсімдіктеріне тән ерекшелік.

Алынған мәліметтер *A. longibracteatum* шикізатын фармацевтикалық тәжірибеде анықтау және стандарттау мақсатында қолданылуы мүмкін.

Түйін сөздер: *Arthrophytum longibracteatum* Eug.Kor., галофиттер, кальций оксалатының дру-залары, микроскопия, склероморфоз.

Введение

Arthrophytum longibracteatum Eug.Kor. представляет собой малоизученный вид рода *Arthrophytum*, который произрастает в экстре-мальных условиях аридных регионов [1-6]. Этот вид, как и другие представители рода, обладает уникальными адаптивными механизмами, по-зволяющими ему выживать в суровых климати-ческих условиях.

Род *Arthrophytum*, к которому принадлежит *A. longibracteatum*, известен своими биологиче-ски активными соединениями. Исследования других видов этого рода, таких как *A. scoparium* и *A. schmittianum*, выявили наличие соединений с антиоксидантными, антимикотическими, про-тивовоспалительными и нейропротекторными свойствами [7-9]. Эти результаты открывают перспективы для поиска аналогичных или уни-

кальных компонентов в *A. longibracteatum*, что может привести к разработке новых лекарствен-ных препаратов.

Изучение *A. longibracteatum* имеет большое значение для разработки новых подходов к ле-чению различных заболеваний, включая нейро-дегенеративные заболевания, диабет и кожные инфекции [10-12]. В условиях растущей устой-чивости к антибиотикам поиск новых природных источников лекарственных средств становится все более актуальным. Галофиты, произрастаю-щие в экстремальных условиях, часто обладают уникальными химическими составами, которые могут быть использованы в фармацевтической промышленности [13-15].

Исследование лекарственных растений, та-ких как *A. longibracteatum*, также открывает новые экономические возможности в сельском хозяйстве и фармацевтическом производстве.

Разработка технологий выращивания и производства лекарственных растений может способствовать развитию национальной экономики и созданию новых рабочих мест. Кроме того, использование природных ресурсов для производства лекарственных средств может снизить зависимость от синтетических препаратов и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду.

Биологические особенности *A. longibracteatum*, произрастающего в предгорной зоне Бугаты, представляют значительный научный и практический интерес. Условия произрастания в этой зоне характеризуются резкими колебаниями температур, низкой влажностью и каменистыми почвами. Адаптация к этим условиям могла привести к развитию уникальных морфологических и анатомических особенностей, которые могут быть использованы в качестве диагностических признаков.

Целью данной исследовательской работы является изучение морфологических и анатомических диагностических признаков листьев *A. longibracteatum*.

Для достижения этой цели были проведены макроскопические и микроскопические исследования листьев растения. Макроскопическое исследование позволило определить общую форму и размеры листьев, а также их текстуру и цвет. Микроскопическое исследование позволило изучить анатомическое строение листьев, включая структуру эпидермиса, мезофилла и проводящей системы.

Материалы и методы исследования

Материал исследования был собран в предгорной зоне Бугаты в стадии цветения в 2024 году. В процессе исследования были использованы классические ботанические методы (маршрутно-ориентировочный, эколого-систематический, эколого-географический).

Для определения собранных материалов использовались фундаментальные сводки «Флора Казахстана» (1956–1966), «Иллюстрированный определитель растений Казахстана» (1969; 1972), «Определитель Средней Азии и Казахстана» (1968–1993) [2–6], и для проверки номенклатуры и таксономического статуса *A. longibracteatum* индентификация проводилась с использованием международных онлайн-баз данных IPNI (International Plant Names Index) и POWO (Plants of the World Online). Для морфологического

анализа были сделаны подробные фотографии диагностических структур под микроскопом с использованием цифровой камеры. Растение изучалось с использованием традиционных методов геоботанических исследований [16–18].

Перед выполнением анатомических срезов растения необходимо правильно собрать материал из исследуемой территории. Поскольку от качества собранного материала напрямую зависят получаемые результаты. Необходимо точно знать вид растения, подлежащий сбору, так как в случае ошибки и сбора другого вида полученные результаты будут недостоверными. При фиксации растений могут использоваться различные фиксирующие вещества. Среди них самым простым и удобным является 40%-ный спирт. Спиртовой фиксатор, по сравнению с другими, быстрее проникает в клетки растения.

Что касается порядка сбора растения, то при наличии достаточного времени рекомендуется помещать каждый орган растения отдельно. Однако при ограниченном времени допускается помещать растение целиком, не разделяя его на части, в одну емкость. Следует отметить, что перед фиксацией растение необходимо очистить от почвы и промыть. Емкость для фиксации должна быть герметичной, не пропускающей воздух.

Поперечные срезы стебля растения были приготовлены из фиксированного вручную сырья с помощью замораживающего микротомы ОЛ-ЗСО 30 (ИНМЕДПРОМ, Россия) в соответствии с общепринятой методикой (Фармокопей РК издание 1, 2008) [19].

Срезы накрывались покровным стеклом и изучались при увеличении $\times 180$ с помощью микроскопа MC-300 (№008544, Breitenfurter Strasse 38, A-1120 Vienna, Austria), установленного в лабораторном кабинете №15 кафедры ботаники и агроэкологии. При составлении описаний использовалась общепринятая терминология (Вехова, 1980; Мухидинова, 1993 и др.) [20–23].

Микрофотографии были выполнены на микроскопе MC-300 (№008544, Breitenfurter Strasse 38, A-1120 Vienna, Austria). Для морфометрических анализов проводилась статистическая обработка данных. Статистическая обработка морфометрических показателей осуществлялась по методике Г. Ф. Лакина (1990) [24].

Результаты исследования и их обсуждение

Arthrophytum longibracteatum – саксаульчик длинноприцветниковый, род *Arthrophytum*

Schrenk. (саксаульчик), входивший в семейство *Chenopodiaceae* Less. (маревые). Ареал семейства включает степные и пустынные районы Центральной Азии [1]. Виды *Arthrophytum* являются галофитами и представляют собой шарообразные или подушковидные стелющиеся кустарники высотой 0,3-2,0 м. *Arthrophytum* – это род растений, включающий около 20 видов, из которых 8 произрастают в Казахстане (рисунок 1). Это низкие полукустарники или кустарнички, отличающиеся разнообразными морфологическими особенностями, включая цветки, листья и стебли [25-28]. А несколько видов рода *Arthrophytum* (*A. balchaschense*, *A. iliense* и *A. longibracteatum*) характерных для Джунгаро-Туранской пустынной зоны, демонстрируют реликтовый характер, аналогичный другим джунгаро-туранским родам (*Nanophyton*, *Petrosimonia*, *Londesia*, *Camphorosma* и *Ceratocarpus*) [29]. *A. longibracteatum* произрастает на крайне аридных щебнисто-галечниковых почвах пологоволнистых равнин. Вид образует сообщества совместно с *Arthrophytum iliense* [30]. Коровин Е.П., Б.А. Миронов в своих работах написали схожие виды *A. longibracteatum* к видам *A. subulifolium* и в особенности к *A. lehmannianum* [31].

В ходе экспедиции мы более подробно ознакомились с *Arthrophytum longibracteatum*, изучили его морфологические особенности в естественной среде (рисунок 1). Рассматриваемое растение относится к числу ключевых элементов древних пустынных флористических комплексов и отличаются наличием специфических морфофизиологических, анатомических и биохимических адаптаций, способствующих их выживанию в условиях жесткого аридного климата.

Несмотря на высокий адаптационный потенциал и экологическую значимость представителей рода *Arthrophytum* [32], данные растения до настоящего времени остаются недостаточно изученными, особенно в фитохимическом аспекте. Это обусловлено сложностью их видовой идентификации и редкостью природных популяций. Получение и анализ сведений о составе вторичных метаболитов данного вида имеют важное значение для углубления представлений о механизмах его адаптации к экстремальным условиям среды, а также для выявления перспективных природных антиоксидантов и терпеновых соединений с потенциальным фармакологическим применением.



Рисунок 1 – Местообитания *Arthrophytum longibracteatum*

3.1. Макроскопия листьев

A. longibracteatum – полукустарничек, иногда образующий рыхлые подушки. Листья располагаются на стебле противоположно. *A. longibracteatum* имеют редуцированные, чешуевидные, сидячие листья, характерные для ксеро-галофитных растений. Их концы заострён-

ные, немного изогнутые, а длина варьируется от 8 до 12 мм (рис.2). Листья в основании расширенные, цилиндрически-шиловидные, острые, слегка согнутые. По длине листья практически однородны, а средняя толщина листьев составляет $50,8 \pm 4,3$ мкм (рис.2). Суккулентные листья *A. longibracteatum* утолщенные и имеют серо-

зеленой до сизовой окраской, отражая адаптацию повышенной соляной среде и дефициту влаги. Плотная кутикула в поверхности листа с матовым оттенком, помогает снижать транспирацию. Слабо выраженное жилкование, внешне практически неопределяемая центральная жилка указывают на ограниченном фотосинтетической функцией листьев. Зеленые членистые побеги встречаются у взрослых растений и фотосинте-

тическая активность смещена на побеги. А листья преимущественно ответственны на защитную и регуляторную функции. Совокупность признаков – редукция листовой поверхности, сидячие расположение и дегенерация проводящей ткани у листа – отражает развитый адаптивный комплекс на условия аридных и засоленных местообитаний и утверждает суккулентность галофитного растения *A. longibracteatum*.



Рисунок 2 – Макроскопия листьев *Arthrophytum longibracteatum*

1.2. Микроскопия листьев *Arthrophytum longibracteatum*

В зависимости от солеустойчивости и потребности в соли галофиты подразделяются на облигатные и факультативные. Облигатные галофиты требуют наличия солей для нормального роста и развития, что обуславливает их распространение в специфических солончаковых и аридных экосистемах. Большинство видов семейства *Chenopodiaceae* относятся именно к этой группе, что подчёркивает их адаптационные механизмы к высоким солевым концентрациям в среде и их значимость для формирования устойчивых растительных сообществ в условиях солончаков и полупустынь.

Лист *A. longibracteatum* при поперечном срезе имеет округлую форму. Эпидерма однорядная, наружные стенки толстостенные, извилистые.

Ассимиляционная ткань листа Kranz-центрическая. Почти все клетки гиподермы заполнены мелкими друзами оксалата кальция. Палисадная паренхима хорошо развита с обеих сторон листа, формируя однорядный плотных слой клеток. Клетки палисадной паренхимы крупные, удлинённые. Толщина палисадной паренхимы составляет $2,75 \pm 0,9$ мкм. Благодаря высокому содержанию хлоропластов, мезофилл имеет насыщенный зелёный оттенок и часто называется хлоренхимой. Палисадные клетки, имеющие форму колонок или кирпичей, компактно расположены под эпидермисом, где сосредоточено около трёх четвертей всех хлоропластов, что обеспечивает интенсивный фотосинтез. Кранц обкладка (корончатый мезофилл) листа сплошная (табл.1).

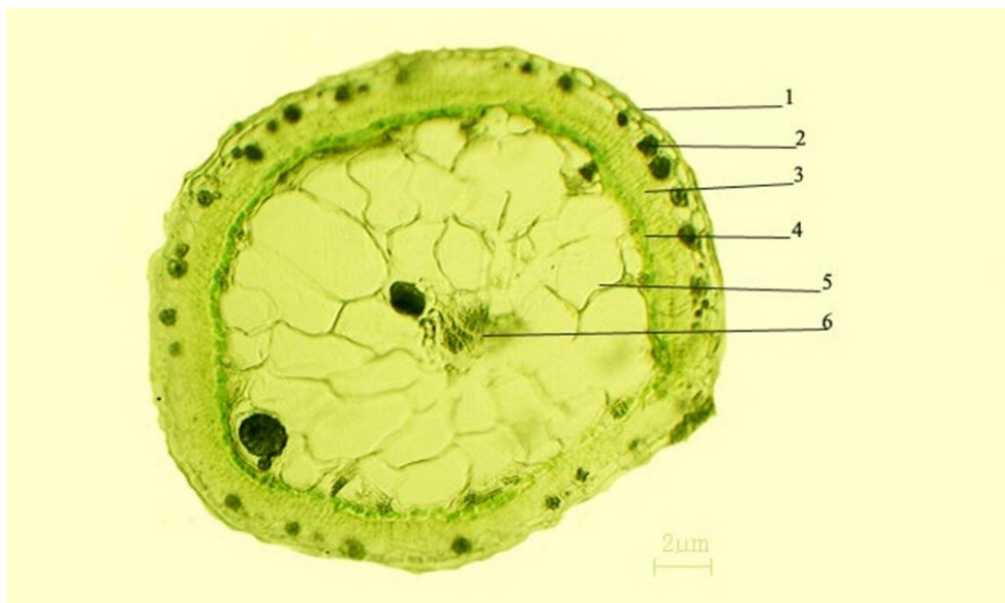


Рисунок 3 – Микроскопия листа *Arthrophytum longibracteatum* (x10)
1 – эпидерма, 2 – гиподерма, 3 – палисадный мезофилл, 4 – Kranz-обкладка,
5 – водозапасающая ткань, 6 – склеренхима, 7 – флоэма, 8 – ксилема

В центральной части располагается водозапасающая паренхима, которая состоит из 3-4 рядов крупных, округлых, довольно толстостенных клеток (рис. 3). В клетках водозапасающей паренхимы обнаружены друзы оксалата кальция больших размеров толщина составила $4,06 \pm 3$ мкм.

Водозапасающие клетки (суккулентные ткани) играют ключевую роль в адаптации растений к аридным условиям, аккумулируя воду и обеспечивая её постепенное использование для поддержания тургора, фотосинтеза и метаболических процессов. Это позволяет растениям снижать скорость обезвоживания и сохранять жизнеспособность в периоды дефицита влаги.

Галофиты, в свою очередь, демонстрируют различные стратегии адаптации к солёной среде. В зависимости от солеустойчивости и потребности в соли они подразделяются на облигатные и факультативные. Облигатные виды требуют наличия солей для полноценного роста и развития, что обуславливает их распространение в специфических солончаковых и аридных экосистемах. Большинство представителей семейства *Chenopodiaceae* относится именно к этой группе, что подчёркивает их значимость для формирования устойчивых растительных сообществ.

Тип фотосинтеза также оказывает существенное влияние на экологическую адап-

тацию растений. У *A. longibracteatum* наблюдается пространственное разделение светозависимых и темновых стадий фотосинтеза, сопровождающееся характерной Kranz-анатомией листа. Внутренний и внешний слои клеток обкладки и мезофилла обеспечивают высокую эффективность фотосинтеза даже при закрытых устьицах, что предотвращает потери воды. Кроме того, продукты фотосинтеза у C4-растений транспортируются быстрее и полнее, чем у C3-видов, что дополнительно повышает их продуктивность в экстремальных условиях.

Для *A. longibracteatum* наличие C4-фотосинтеза является важным адаптационным механизмом: он обеспечивает положительный баланс синтеза органических веществ даже в условиях высокой температуры, засухливости и повышенной солёности. В сочетании с водозапасающими тканями и солевой толерантностью, этот тип фотосинтеза позволяет растениям сохранять физиологическую активность и продуктивность в аридных и солончаковых экосистемах, способствуя их выживанию и устойчивости растительных сообществ.

Водозапасающая паренхима окружает главную жилку. Главная жилка с мощной местомной обкладкой, но не окружена полностью (рис. 3).

Таблица 1 – Морфометрические особенности листьев

№	Анатомические признаки	M ±m, мкм
1	Толщина эпидермы	1,27 ±0,5
2	Ширина водозапасающих клеток	5,3 ±1,2
3	Толщина палисадного мезофилла	2,75 ±0,9
4	Толщина клеток кранц-обкладки	1,17 ±0,4
5	Толщина слоя ксилемы	1,6 ±0,8
6	Толщина слоя флоэмы	2,0 ±1,0
7	Диаметр друз в клетках водозапасающей паренхимы	4,06 ±3,0
8	Диаметр друз в клетках гиподермы	1,3 ±0,8
9	Толщина склеренхимной обкладки сосудистого пучка	3,07 ±0,5

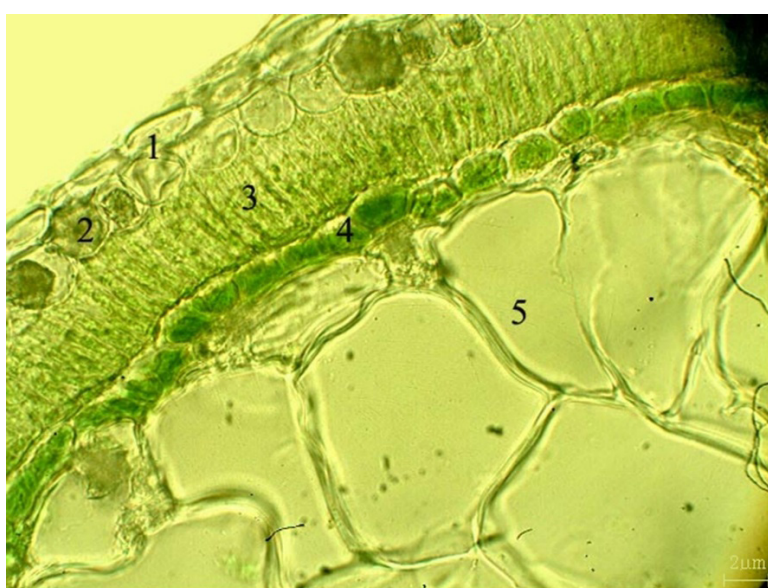


Рисунок 4 – Анатомическое строение мезофила листа (x40)

1 – эпидерма, 2 – друза, 3 – палисадные клетки, 4 – кранц-обкладка, 5 – водозапасающая паренхима

Эпидермис листа представлен одним рядом мелких клеток с утолщёнными стенками и округлым очертанием. Устьичные аппараты погруженные, относятся к парацитному типу. При поперечном сечении листа измеренная толщина верхнего эпидермиса равна $0,88 \pm 0,38$ мкм, а нижнего – $1,3 \pm 1,4$ мкм.

На поверхностных препаратах основные клетки адаксиальной и абаксиальной поверхности листа – прямоугольной формы прямостенные с утолщенными стенками.

Результаты исследований показали, что ассимиляционная ткань листьев *A. longibracteatum* относится к изолатерально-палисадному типу (рис. 4). Палисадные клетки расположены в

один ряд. На верхнем и нижнем эпидермисе листьев обнаружены устьица парацитного типа. В основных тканях листьев присутствуют минеральные кристаллы-друзы различного размера. Проводящая ткань листьев демонстрирует утолщенную структуру, характерную для хасмофитов.

Эти анатомические особенности отражают адаптацию *A. longibracteatum* к условиям произрастания. Рыхлое расположение палисадных клеток может способствовать эффективному фотосинтезу в условиях низкой освещенности. Наличие устьиц парацитного типа может обеспечивать эффективный газообмен при ограниченном доступе к воде (рис. 5). Минеральные

кристаллы- друзы могут играть роль в регуляции водного баланса и защите от стрессовых факторов [33-35]. Утолщенная проводящая ткань мо-

жет обеспечивать эффективное транспортирование воды и питательных веществ в условиях каменистых почв.



Рисунок 5 – Строение эпидермиса листа *Arthropytum longibracteatum* (x40)

1 – эпидерма, 2 – друза, 3 – мезофильные клетки

Таким образом, исследование морфологических и анатомических диагностических признаков *A. longibracteatum* позволило выявить уникальные особенности этого вида, которые могут быть использованы для его идентификации и классификации. Дальнейшие исследования химического состава и фармакологических свойств *A. longibracteatum* могут привести к разработке новых лекарственных препаратов и расширению экономических возможностей в сельском хозяйстве и фармацевтическом производстве.

Заключение

Листья *A. longibracteatum* имеют высокоспециализированное крапцевое строение с элементами суккулентности (водозапасающая паренхима) и склероморфоза (механическая обкладка главной жилки). Определены диагностические признаки сырья *A. longibracteatum* на макроскопическом и микроскопическом уровне:

- прицветные листья шиловидно-колючие, острые, слегка согнутые;
- ассимиляционная ткань листа крапцевая;
- главная жилка с мощной местной обкладкой;
- наличие друз больших размеров в водозапасающих тканях и маленьких размеров в гиподерме;
- для поверхностного препарата листа форма клеток эпидермиса с верхней и нижней стороны имеют более одинаковую прямоугольную форму и стенки клеток прямые;
- типы устьиц – парацитные;
- трихомы отсутствуют.

В заключение, изучение *A. longibracteatum* представляет собой важный шаг в исследовании лекарственных растений и открывает новые перспективы для использования природных ресурсов в медицине и экономике.

Литература

1. Osmonali B. B. et al. A new endemic species of the genus *Haloxylon* Bunge ex Fenzl. (Amaranthaceae s.l.) in the flora of Kazakhstan. – 2024.
2. Иллюстрированный справочник растений Казахстана. В 2 т. – Алма-Ата, 1969, 1972.
3. Определитель растений Средней Азии. В 10 т. – Ташкент, 1968–1993.
4. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и соседних стран (в пределах бывшего СССР). – Санкт-Петербург, 1995.
5. Aralbaev N.K. A new floristic zoning scheme of Kazakhstan (materials for the second edition of Flora of Kazakhstan) // Poisk. Series of Technical and Natural Sciences. – 2002. – P. 66–72.
6. Флора Казахстана. – Т. 1-9. – Алма-Ата, 1956-1966.
7. Belabdeli F. et al. Phytoconstituents effects of traditionnaly herbes on dissolution and inhibition of kydney stones (caox) // Farmacia. – 2023. – Т. 71. – №. 6. – С. 1224-1231.
8. Othman M. B., Neffati M., Isoda H. Evaluation of the anti-stress effects of five Tunisian aromatic and medicinal plants in vitro // Journal of Herbal Medicine. – 2021. – Т. 27. – С. 100238.
9. Dif M. M. et al. Phytochemical study of phenolic compounds and biological activities of *Arthrophytum schmittianum*. – 2022.
10. Smach M. A. et al. *Arthrophytum scoparium* Extract Improves Memory Impairment and Affects Acetylcholinesterase Activity in Mice Brain // Current Pharmaceutical Biotechnology. – 2020. – Т. 21. – №. 6. – С. 480-487.
11. Tair K. et al. Aluminium-induced acute neurotoxicity in rats: Treatment with aqueous extract of *Arthrophytum* (*Hammadascoparia*), J // Acute Dis. – 2016. – Т. 5. – С. 470-482.
12. Kaddour S. M. et al. Acute, sub-acute and antioxidant activities of *Arthrophytum scoparium* aerial parts // International journal of pharmaceutical sciences and research. – 2019. – Т. 10. – №. 9. – С. 4167-4175.
13. Custódio L., Garcia-Caparros P., Pereira C.G., Castelo-Branco P. Halophyte plants as potential sources of anticancer agents: A comprehensive review // Pharmaceutics. – 2022. – Vol. 14, № 11. – Article 2406. – DOI: 10.3390/pharmaceutics14112406.
14. Ksouri R. et al. Medicinal halophytes: Potent source of health-promoting biomolecules with medical, nutraceutical, and food applications // Critical Reviews in Biotechnology. – 2012. – Vol. 32, № 4. – P. 289–326. – DOI: 10.3109/07388551.2011.630647.
15. Lopes M. et al. Halophytes as source of bioactive phenolic compounds and their potential applications // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2023. – Vol. 63, № 8. – P. 1078–1101. – DOI: 10.1080/10408398.2021.1959295.
16. Берлянт А.М. Геоинформационное картографирование. – М., 1997. – 60 с.
17. Карамышева З.В., Рачковская Е.И. Опыт крупномасштабного геоботанического картографирования (на примере растительности юго-западной части Центрально-Казахстанского мелкосопочника) // Принципы и методы геоботанического картографирования. – М. – Л., 1962. – 6 с.
18. Сочава В.Б. Геоботаническое картографирование // Классификация растительности как иерархия динамических систем. – Ленинград, 1972. – С.3–38.
19. Фармакопея Республики Казахстан. 2-е изд. Астана: Министерство здравоохранения Республики Казахстан; 2021.
20. Вехов В.Н., Лотова Л.И., Филин В.Р. Практикум по анатомии и морфологии высших растений. М., Издательство МГУ, – 1980. 196 с.
21. Эзау. Анатомия семенных растений. – М.: Мир, 1980. – Т. 1,2. – С. 2-558.
22. Мухитдинов Н., Бегенов Ә., Айдосова С., Өсімдіктер морфологиясы мен анатомиясы /оқулық/ – Алматы. – Республикалық баспа кабинеті. – 1993 ж. – 340 бет.
23. Серебрякова Т.И., Воронин Н.С., Еленевский и др. Ботаника с основами фитоценологии: Анатомия и морфология растений: Учеб. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. – 543 с.
24. Лакин Г.Ф. Биометрия // Учебное пособие для биол. спец. вузов, 4-е изд., перераб. и доп.- М.: Высшая школа, 1990.- 352 с.
25. Степанова Н. Ю., Сафронова И. Н. *Arthrophytum lehmannianum* (Chenopodiaceae) – новый вид для флоры России // Ботанический журнал. – 2019. – Т. 104. – №. 5. – С. 811-814.
26. Поляков П.П. Род *Arthrophytum* Schrenk. // Флора Казахстана. – Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1960. – Т. 3. – С. 299-302
27. Лавренко Е.М. Основные черты ботанической географии пустынь Евразии и Северной Африки. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1962. – 168 с.
28. Гуреева И.И., Балашова В.Ф. Типовые образцы *Chenopodiaceae* Vent. в Гербарии им. П. Н. Крылова (ТК) // Систематические заметки по материалам Гербария им. П. Н. Крылова Томского государственного университета. – 2013. – № 108. – С. 3-12.
29. Grubov V. I. Plants of Central Asia: plant collections from China and Mongolia. Volume 2: *Chenopodiaceae*. – 2000.
30. Sultanova B. M. et al. Spatial structure of vegetation cover of Sharyn SNNP // Eurasian J. Ecol. – 2020. – Т. 65. – С. 38-50.
31. Коровин Евгений Петрович, Б. А. Миронов. Обзор рода *Arthrophytum* Schrenk и его положение в системе (Review of the genus *Arthrophytum* Schrenk and the position of that genus in the system): Труды Среднеазиатского государственного университета. Серия 8-б. Ботаника, Выпуск 29, Результаты Бетпак-Далинской экспедиции Среднеазиатского государственного университета выпуск- 1935.
32. Arya, S.S.; Devi, S.; Ram, K.; Kumar, S.; Kumar, N.; Mann, A.; Chand, G. Halophytes: The plants of therapeutic medicine. In *Ecophysiology, Abiotic Stress Responses and Utilization of Halophytes*; Springer: Singapore, 2019; pp. 271–287.

33. Zhang Y., Mutailifu A., Lan H. Structure, development, and the salt response of salt bladders in *Chenopodium album* L // *Frontiers in Plant Science*. – 2022. – Т. 13. – С. 989946.
34. Zhao C. et al. Mechanisms of plant responses and adaptation to soil salinity // *The innovation*. – 2020. – Т. 1. – №. 1.
35. Flowers T. J., Colmer T. D. Salinity tolerance in halophytes // *New phytologist*. – 2008. – С. 945-963.

References

1. Aralbaev, N. K. (2002). A new floristic zoning scheme of Kazakhstan (materials for the second edition of Flora of Kazakhstan). Poisk. Series of Technical and Natural Sciences, 66–72.
2. Arya, S. S., Devi, S., Ram, K., Kumar, S., Kumar, N., Mann, A., & Chand, G. (2019). Halophytes: The plants of therapeutic medicine. In *Ecophysiology, Abiotic Stress Responses and Utilization of Halophytes* (pp. 271–287). Springer, Singapore.
3. Belabdeli, F., et al. (2023). Phytoconstituent effects of traditionally used herbs on dissolution and inhibition of kidney stones (CaOx). *Farmacia*, 71(6), 1224–1231.
4. Berlant, A. M. (1997). *Geoinformation mapping*. Moscow. 60 p.
5. Cherepanov, S. K. (1995). *Vascular plants of Russia and neighboring countries (within the former USSR)*. Saint Petersburg.
6. Custódio, L., Garcia-Caparrós, P., Pereira, C. G., & Castelo-Branco, P. (2022). Halophyte plants as potential sources of anticancer agents: A comprehensive review. *Pharmaceutics*, 14(11), Article 2406. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14112406>
7. Dif, M. M., et al. (2022). Phytochemical study of phenolic compounds and biological activities of *Arthrophytum schmittianum*.
8. Esau, K. (1980). *Anatomy of seed plants* (Vols. 1–2). Moscow: Mir.
9. Flowers, T. J., & Colmer, T. D. (2008). Salinity tolerance in halophytes. *New Phytologist*, 179, 945–963.
10. *Flora of Kazakhstan* (1956–1966). Vols. 1–9. Alma-Ata.
11. Grubov, V. I. (2000). *Plants of Central Asia: Plant collections from China and Mongolia*. Volume 2: *Chenopodiaceae*.
12. Gureeva, I. I., & Balashova, V. F. (2013). Type specimens of *Chenopodiaceae* Vent. in the P. N. Krylov Herbarium (TK). *Systematic Notes on Materials of the P. N. Krylov Herbarium*, 108, 3–12.
13. *Illustrated guide to plants of Kazakhstan* (1969, 1972). Vols. 1–2. Alma-Ata.
14. *Identifier of plants of Central Asia* (1968–1993). Vols. 1–10. Tashkent.
15. Kaddour, S. M., et al. (2019). Acute, sub-acute and antioxidant activities of *Arthrophytum scoparium* aerial parts. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 10(9), 4167–4175.
16. Karamysheva, Z. V., & Rachkovskaya, E. I. (1962). Large-scale geobotanical mapping of vegetation in Central Kazakhstan. In *Principles and methods of geobotanical mapping* (pp. 1–6). Moscow–Leningrad.
17. Korovin, E. P., & Mironov, B. A. (1935). Review of the genus *Arthrophytum* Schrenk and its systematic position. *Proceedings of the Central Asian State University, Series 8-b, Botany, Issue 29*.
18. Ksouri, R., et al. (2012). Medicinal halophytes: Potent sources of health-promoting biomolecules. *Critical Reviews in Biotechnology*, 32(4), 289–326. <https://doi.org/10.3109/07388551.2011.630647>
19. Lakin, G. F. (1990). *Biometrics* (4th ed.). Moscow: Vysshaya Shkola. 352 p.
20. Lavrenko, E. M. (1962). *Botanical geography of deserts of Eurasia and North Africa*. Moscow–Leningrad. 168 p.
21. Lopes, M., et al. (2023). Halophytes as sources of bioactive phenolic compounds. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(8), 1078–1101. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1959295>
22. Mukhitdinov, N., Begenov, A., & Aidosova, S. (1993). *Plant morphology and anatomy*. Almaty. 340 p.
23. Osmonali, B. B., et al. (2024). A new endemic species of the genus *Haloxylon* Bunge ex Fenzl (Amaranthaceae s.l.) in Kazakhstan.
24. Othman, M. B., Neffati, M., & Isoda, H. (2021). Anti-stress effects of Tunisian medicinal plants in vitro. *Journal of Herbal Medicine*, 27, 100238.
25. *Pharmacopoeia of the Republic of Kazakhstan* (2021). 2nd ed. Astana: Ministry of Health.
26. Polyakov, P. P. (1960). Genus *Arthrophytum* Schrenk. In *Flora of Kazakhstan* (Vol. 3, pp. 299–302).
27. Smach, M. A., et al. (2020). *Arthrophytum scoparium* extract improves memory impairment. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 21(6), 480–487.
28. Sochava, V. B. (1972). Geobotanical mapping. In *Classification of vegetation as a hierarchy of dynamic systems* (pp. 3–38). Leningrad.
29. Stepanova, N. Yu., & Safronova, I. N. (2019). *Arthrophytum lehmannianum* – a new species for the flora of Russia. *Botanical Journal*, 104(5), 811–814.
30. Sultanova, B. M., et al. (2020). Vegetation structure of Sharyn State National Natural Park. *Eurasian Journal of Ecology*, 65, 38–50.
31. Tair, K., et al. (2016). Aluminium-induced neurotoxicity treated with *Arthrophytum* extract. *Journal of Acute Disease*, 5, 470–482.
32. Vekhov, V. N., Lotova, L. I., & Filin, V. R. (1980). *Practicum on anatomy and morphology of higher plants*. Moscow. 196 p.
33. Zhang, Y., Mutailifu, A., & Lan, H. (2022). Salt bladders in *Chenopodium album*. *Frontiers in Plant Science*, 13, 989946.
34. Zhao, C., et al. (2020). Plant responses and adaptation to soil salinity. *The Innovation*, 1(1).
35. Serebryakova, T. I., Voronin, N. S., & Elenevsky, A. G., et al. (2006). *Botany with fundamentals of phytocoenology: Plant anatomy and morphology*. Moscow: Akademkniga. 543 p.

Сведения об авторах:

А.Е. Нұрманбек – докторант 1-курса обучения кафедры биоразнообразия и биоресурсов КазНУ им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: aydyn.nurmanbek@gmail.com).

Н.З. Ахтаева – профессор кафедры биоразнообразия и биоресурсов КазНУ им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: akhtaeva@mail.ru).

Л.Н. Киекбаева – доцент кафедры фармацевтической технологии, школы фармации, Казахский национальный медицинский университет им. С.Д. Асфендиярова (Алматы, Казахстан, e-mail: lashynk@mail.ru).

Information about the authors:

A.E. Nurmanbek – 1st-year PhD student, Department of Biodiversity and Bioresources, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan; e-mail: aydyn.nurmanbek@gmail.com)

N.Z. Akhtaeva – Professor, Department of Biodiversity and Bioresources, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan; e-mail: akhtaeva@mail.ru)

L.N. Kiyekbayeva – Associate Professor, Department of Pharmaceutical Technology, School of Pharmacy, Asfendiyarov Kazakh National Medical University (Almaty, Kazakhstan; e-mail: lashynk@mail.ru)

Авторлар туралы мәлімет:

А.Е. Нұрманбек – әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің биоалуантүрлілік және биоресурстар кафедрасының 1-курс докторанты (Алматы қ., Қазақстан, e-mail: aydyn.nurmanbek@gmail.com)

Н.З. Ахтаева – әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің биоалуантүрлілік және биоресурстар кафедрасының профессоры (Алматы қ., Қазақстан, e-mail: akhtaeva@mail.ru)

Л.Н. Киекбаева – С.Д. Асфендияров атындағы Қазақ ұлттық медицина университеті, Фармация мектебі, фармацевтикалық технология кафедрасының доценті (Алматы қ., Қазақстан, e-mail: lashynk@mail.ru)

Поступило 27 апреля 2025 года

Принято 20 ноября 2025 года

2-бөлім
ЗООЛОГИЯ

Section 2
ZOOLOGY

Раздел 2
ЗООЛОГИЯ

IRSTI: 34.33.33

<https://doi.org/10.26577/bb20251054>

Abdulhakeem Idris Abdulhakeem* , **Umaru Joel** ,
Akeem Babatunde Dauda 

Federal University Dutsin-Ma Katsina State, Nigeria

*e-mail: idrisabdulhakeem@yahoo.com

NUTRIENT COMPOSITION OF MALE AND FEMALE NILE TILAPIA *OREOCHROMIS NILOTICUS* (LINNAEUS, 1758) FROM CAPTURED AND CULTURED SOURCES

The demand of fish-derived proteins is growing globally and this poses a huge challenge to the aquaculture sector. As Earlier research has focused mostly on the nutrient requirements and metabolic processes of cultured species, recent findings has also acknowledged that there is a need to understand how the compositions of diets influence physiological responses in farmed fish. This study assessed the proximate nutrient composition of wild and cultured male and female Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus, 1758). Forty Nile tilapia were sampled with twenty from both sources and equal distribution of sexes. Condition factor assessment showed that both sexes for cultured fish are in better condition compared to their wild counterparts. Proximate analyses comprised moisture, lipid, ash, crude protein, dry matter, crude fiber, and nitrogen-free extract. The means of the data were presented using means and standard error and t-tests were used to determine the differences between the groups. In most of the parameters, there were no statistically significant differences; there was no difference in dry matter, ash, or crude fiber values in the sexes and in origins. However, minimal variations were observed: male tilapia had more crude protein and lipids, and females contained more nitrogen-free extract. This finding offers useful information about the nutrient profile and condition status of *O. niloticus* and provide information that can support sustainable aquaculture practices, fish processing decisions, and feed formulation.

Keywords: Nile tilapia, proximate composition, aquaculture nutrition, nutrient interaction, sustainable fish production.

Абдулхаким Идрис Абдулхаким*, Умару Джоэл,
Аким Бабатунде Дауда

Дутсин-Ма федералды университеті, Катсина штаты, Нигерия

*e-mail: idrisabdulhakeem@yahoo.com

Табиғи жағдайда ауланған және өсірілген еркек және ұрғашы Ніл тилапиясының *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) қоректік құрамы

Бүкіл әлемде балық тектес ақуыздарға деген сұраныс артып келеді, бұл аквакультура саласына елеулі сын-қатерлер туғызуда. Бұрынғы зерттеулер негізінен өсірілетін балық түрлерінің қоректік қажеттіліктері мен метаболизмдік үдерістеріне бағытталса, соңғы ғылыми еңбектер рацион құрамының ферма жағдайында өсірілетін балықтардың физиологиялық жауаптарына қалай әсер ететінін түсінудің маңыздылығын көрсетеді. Осы зерттеуде жабайы және өсірілетін Ніл тилапиясының (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus, 1758) аталық және аналық дараларының проксиматтық (негізгі) қоректік құрамы бағаланды. Барлығы қырық Ніл тилапиясы алынды: олардың жиыrmасы жабайы ортадан, жиыrmасы өсірілетін шаруашылықтан, жыныстары тең үлесте таңдалды. Уақытша күй-жай коэффициентін бағалау нәтижелері бойынша өсірілетін тилапиялардың екі жынысы да жабайы даралармен салыстырғанда жақсы күйде екені анықталды. Проксиматтық талдау ылғал, липидтер, күл, шикі протеин, құрғақ зат, шикі талшық және азотсыз экстрактивті заттардың мөлшерін анықтауды қамтыды. Нәтижелер орташа мәндер мен стандарттық қателік түрінде ұсынылды, ал топтар арасындағы айырмашылықтарды анықтау үшін t-тест қолданылды. Көптеген көрсеткіштер бойынша статистикалық тұрғыдан маңызды айырмашылықтар байқалмады: құрғақ зат, күл және шикі талшық мөлшері жынысқа да, шығу тегіне де байланысты өзгермеді. Дегенмен, шамалы айырмашылықтар анықталды: аталық тилапияларда шикі протеин мен липидтер мөлшері жоғары болды, ал аналықтарында азотсыз экстрактивті заттардың үлесі көбірек болды. Алынған нәтижелер *O. niloticus* түрінің қоректік профілі мен физиологиялық күйі туралы құнды мәлімет береді және тұрақты аквакультура

тәжірибелерін дамытуға, балықты өңдеу шешімдерін қабылдауға және жемшөп құрамын оңтайландыруға негіз бола алады.

Түйін сөздер: Ніл тилапиясы, проксиматтық құрам, аквакультурадағы қоректену, қоректік заттардың өзара әрекеттесуі, балықты тұрақты өндіру.

Абдулхаким Идрис Абдулхаким*, Умару Джоэл,
Аким Бабатунде Дауда

Федеральный университет Дутсин-Ма, штат Катсина, Нигерия
*e-mail: idrisabdulhakeem@yahoo.com

Питательный состав самцов и самок нильской тилапии *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758), выловленных в природных условиях и выращенных в аквакультуре

Спрос на белки рыбного происхождения во всём мире растёт, что создаёт серьёзные вызовы для сектора аквакультуры. Если ранее исследования в основном были сосредоточены на питательных потребностях и метаболических процессах культивируемых видов, то последние работы также подчёркивают необходимость понимания того, как состав рационов влияет на физиологические реакции выращиваемой рыбы. В данном исследовании была оценена проксиматная (основная) питательная композиция дикой и культивируемой нильской тилапии (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus, 1758) самцов и самок. Было отобрано сорок особей нильской тилапии: по двадцать из каждой группы (дикая и культивируемая рыба) с равным соотношением полов. Оценка коэффициента упитанности показала, что особи обоих полов из культивируемых условий находятся в лучшем состоянии по сравнению с дикими. Проксиматный анализ включал определение содержания влаги, липидов, золы, сырого протеина, сухого вещества, сырой клетчатки и безазотистых экстрактивных веществ. Результаты представлены в виде средних значений и стандартной ошибки; для определения различий между группами использовались t-критерии. По большинству показателей статистически значимых различий выявлено не было: не обнаружено различий в содержании сухого вещества, золы и сырой клетчатки между полами и по происхождению рыбы. Однако отмечены незначительные вариации: у самцов тилапии было больше сырого протеина и липидов, тогда как у самок – более высокое содержание безазотистых экстрактивных веществ. Полученные результаты дают полезную информацию о питательном профиле и состоянии *O. niloticus* и могут быть использованы для поддержки устойчивых практик аквакультуры, принятия решений в переработке рыбы и разработки кормов.

Ключевые слова: нильская тилапия, проксиматный состав, питание в аквакультуре, взаимодействие питательных веществ, устойчивое производство рыбы.

Introduction

Fish has always been a potential source of animal protein and essential nutrients in Africa and the world over, it is needed for the maintenance of a healthy body (Albashr, et al., 2024). Fish of various species don't provide the same nutrient profile to their consumer and the nutritive value of a fish varies with season (Pyz-Łukasik et al., 2020). Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) is one cichlid widely distributed in the inland water bodies in Nigeria. Although, they are mainly fresh water fish *O. niloticus* has been described as euryhaline and can disperse along brackish coastlines between rivers (Stauffer et al., 2022). Tilapia species is esteemed as food; affordable and supporting both small scale subsistence and commercial fisheries in Nigeria (Ifedayo et al., 2020). It grows to a maximum length of 62 cm, weighing 3.65 kg at an estimated 9 years of age (Dwivedi et al., 2016). The average size (total

length) of *O. niloticus* is 20 cm (Langi et al., 2024). Proximate composition of fish involves the determination of moisture, lipid, protein and ash content. Carbohydrate is determined by difference (Bland et al., 2021). The proximate composition of fish is affected by a diversity of factors such as: size, sexual maturation, temperature, salinity, exercise, ration, time and feeding frequency, starvation, type and amount of dietary ingredients (Raposo et al., 2023). Protein and ash contents do not vary as often as lipid, since it is not impacted by diet, but mainly is determined by the species type, genetic characteristics and size (Islam et al., 2021; Raposo et al., 2023). Furthermore, environmental stressors and water quality can also influence the proximate composition, affecting nutrient accumulation and overall fish health (Canosa & Bertucci, 2023).

The condition factor of fishes is the most important biological parameter which provides information on condition of fish species and the entire com-

munity and is of high significance for management and conservation of natural populations (Tibihika et al., 2023). It is also a parameter of the state of well-being of the fish that determines present and future population success because of its influence on growth, reproduction and survival (Ngodhe & Owur, 2019). Condition factor has been used as an index of growth and feeding intensity (Kamble et al., 2024). It decreases with increase in length (Famoofo & Abdul, 2020); and also influences the reproductive cycle in fish (La Rosa et al., 2025). It also serves as an integrative indicator of fish energy reserves and capacity to withstand environmental stressors such as pollution or poor water quality (Akintade, Edwin, & Simon, 2016). Moreover, condition factor is useful in fisheries biology for comparing fish populations across different habitats or time periods, helping detect environmental degradation or resource limitation (Li et al., 2023). In aquaculture practice, a consistently high condition factor among stocked fish may indicate effective feeding regimes and good overall welfare, which can support better survival and yield outcomes (Azrita, Syandri, & Aryani, 2024). This study aimed to evaluate the proximate nutrient composition and condition factor of male and female Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) from captured and cultured sources to provide insights for sustainable aquaculture management, feed formulation, and fish processing practices.

Materials and methods

Sample collection

Forty samples of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) were obtained from Zobe dam and Ni'ima fish farm located along Dutsi-ma/Kankara Road, Katsina State, Nigeria. The samples comprises of 20 captured and 20 cultured fish, having 10 males and 10 females each.

Length-Weight Measurement of Fishes

Length and weight of the 40 fish samples were determined immediately before chilling them with ice. Length was measured using measuring board while the weight was measured using sensitive weighing balance. The length and weight obtained were used to estimate the condition factor using Fulton's index which was calculated using Htun-Han (1978) equation with formula given below:

$$K=100W/L^3$$

Where W= Weight of the Fishes
L= Length of the fishes

K= Condition Factor

Preparation of fish sample

Fish samples were packaged separately in a labeled polythene bags containing ice chips at a low temperature (3°C), the fishes were gutted and thoroughly washed with clean water. Sample were pooled together to form composite samples. Each fish sample was cleaned and dried in a hot-air oven at 105 °C to constant weight. The dried muscles were then ground into powder using a mortar and pestle and labelled for proximate composition analysis.

Proximate Analysis

Analysis such as determination of dry matter, ash content, lipid content, crude protein content etc. was carried out in the university's biochemistry laboratory by using the 2012 AOAC standard.

Statistical analysis

The data were presented using mean and standard error. T-test was used to test for significance difference between the treatments. All analysis was done using SPSS version 22.

Results and discussion

The results obtained after the statistical analysis were interpreted and presented in the tables below.

Condition factor

Male

Table 1 shows the length, weight and condition factor of the male fishes from both captured and cultured sources. The length was significantly higher ($P<0.05$) in captured ($19.58\pm0.38\text{cm}$) compared to cultured fishes ($16.64\pm0.81\text{cm}$). The weight was also higher in captured (133.80 ± 7.32) but the difference was not significant from that of culture (113.60 ± 5.40). However, the condition factor was significantly different between the two sources, with cultured having higher value of 2.56 ± 0.27 compared to 1.78 ± 0.04 in captured.

Table 1 – Condition factor of male *O. niloticus* from capture and culture sources

Parameters	Captured	Cultured
Length (cm)	19.58 ± 0.38^a	16.64 ± 0.81^b
Weight (g)	133.80 ± 7.32^a	113.60 ± 5.40^a
Condition Factor (K)	1.78 ± 0.04^b	2.56 ± 0.27^a

Note: values are expressed as mean $\pm$ SE (standard error)
Means with different superscript across rows are significantly different ($p<0.05$).

Female

In table 2, the mean length, weight and condition factor of the female fishes from captured and cultured sources are shown. The Length was significantly higher ($P<0.05$) in captured ($18.72 \pm 0.37\text{cm}$) compared to cultured fishes ($17.04 \pm 0.38\text{cm}$). The mean weight $129.40 \pm 6.04\text{g}$ and $114.40 \pm 1.83\text{g}$ was obtained for both captured and cultured sources respectively, the captured fishes possessed slightly higher value than the cultured fishes but there was no significant difference. The condition factor (1.97 ± 0.04 and 2.34 ± 0.15) for both sources, the cultured fishes contained slightly higher value than the captured and also not significantly different.

Table 2 – Condition factor of female *O. niloticus* from capture and culture sources

Parameters	Captured	Cultured
Length(cm)	18.72 ± 0.37^a	17.04 ± 0.38^b
Weight(g)	129.40 ± 6.04^a	114.40 ± 1.83^a
Condition Factor (K)	1.97 ± 0.04^a	2.34 ± 0.15^a

Note: values are expressed as mean $\pm$ SE (standard error)
Means with different superscript across rows are significantly different ($p<0.05$).

Proximate Composition (Sources)

From the table 3, the ash content for the cultured fishes ($25.70 \pm 0.01\%$) recorded significantly higher mean value ($P<0.05$) than the captured fishes ($18.32 \pm 0.04\%$). The dry matter content for captured and cultured ($95.97 \pm 1.39\%$ and $97.13 \pm 1.26\%$), crude protein ($48.00 \pm 2.00\%$ and $50.09 \pm 7.85\%$) and oil ($3.57 \pm 0.11\%$ and $4.09 \pm 0.03\%$) all possessed slightly higher values for the cultured than the captured. However, the crude fiber ($1.71 \pm 0.02\%$ and $1.65 \pm 0.04\%$) and the nitrogen free extract ($28.41 \pm 2.09\%$ and $18.42 \pm 7.81\%$) for captured and cultured sources respectively possessed slightly higher value in the captured source than the cultured.

Table 3 – Proximate Parameters for Captured and Cultured *O. niloticus*

Parameters	Captured	Cultured
D.M	95.97 ± 1.39^a	97.13 ± 1.26^a
CP	48.00 ± 2.00^a	50.09 ± 7.85^a
CF	1.71 ± 0.02^a	1.65 ± 0.04^a
Oil	3.57 ± 0.11^a	4.09 ± 0.03^a
Ash	18.32 ± 0.04^b	25.70 ± 0.01^a
NFE	28.41 ± 2.09^a	18.42 ± 7.81^a

Note: values are expressed as mean $\pm$ SE (standard error)
Means with different superscripts across rows are significantly different ($p<0.05$).

Key: D.M= Dry matter, Ash= ash content, Oil= Oil content, CP = crude protein content, CF= Crude Fiber, NFE= Nitrogen Free extract.

Proximate Composition (Sex)

The proximate parameters for male and female *O. niloticus* are shown in Table 4 below.

Table 4 – Proximate Parameters for Male and Female *O. niloticus*

Parameters	Male	Female
D.M	96.49 ± 1.9^a	96.61 ± 0.74^a
CP	53.97 ± 3.97^a	44.12 ± 1.89^a
CF	1.67 ± 0.06^a	1.69 ± 0.01^a
OIL	3.87 ± 0.12^a	3.79 ± 0.33^a
ASH	22.03 ± 3.75^a	22.06 ± 3.71^a
NFE	18.47 ± 7.86^a	28.36 ± 2.14^a

Note: values are expressed as mean $\pm$ SE (standard error)
Means with different superscripts across rows are significantly different ($p<0.05$).

Key: D.M= Dry matter, Ash= ash content, Oil= Oil content, CP = crude protein content, CF= Crude Fiber, NFE= Nitrogen Free extract.

All the parameters in the table for both male and female were not significantly different ($P>0.05$). Although the dry matter for male and female fishes ($96.49 \pm 1.91\%$ and $96.61 \pm 0.74\%$ respectively),

Ash ($22.03 \pm 3.75\%$ and $22.06 \pm 3.71\%$), and crude fiber ($1.67 \pm 0.06\%$ and $1.69 \pm 0.01\%$) all possessed similar value for both. However crude protein for male ($53.97 \pm 3.97\%$) shows slightly higher value than the female fishes ($44.12 \pm 1.89\%$). The oil content for male ($3.87 \pm 0.12\%$) also had slightly higher values than that of female ($3.79 \pm 0.33\%$). Nitrogen free extract value for female ($28.36 \pm 2.14\%$) showed slight difference compared to the male fishes ($18.47 \pm 7.86\%$).

In this study, relationship between male and female *O. niloticus* from the wild and cultured source in terms of their proximate composition, length, weight and condition factor were investigated.

Condition Factor

The condition factor is an indicator for well-being of the fish and reflects how the fish gained weight in relation to length. These results showed that the different environments (wild and culture) of study were suitable for Nile tilapia growth but the male fishes had a higher and better values. This showed that the males were doing better than the female in terms of weight and length. Results obtained for the wild male and female fishes (1.78 and 1.97 respectively) are similar with the finding of Makeche et al. (2023) who reported the condition factor of male and female *Oreochromis niloticus* from capture fisheries as 1.41 and 1.95 respectively. However, Ahmadi (2024) reported values of male and female Nile tilapia cultured in fish pond as 1.80 and 1.82 respectively, which are in partial agreement with the current study with 2.56 and 2.34. The differences between the condition factors calculated in the present study and the earlier ones may be due to age, environmental influences, feed scarcity in the wild, feed quality and feeding systems. Sumaoy et al. (2025) found insignificant difference in length or weight growth rate between the sexes of fish in the pond and also the condition factor showed no changes. Makeche et al. (2023) reported that results of growth analysis and measurements of nutritional status (condition factor) showed only minor differences between wild and pond reared and condition factor is the most commonly used as indicator for nutritional status.

Proximate Composition

In this study, relationship between male and female *O. niloticus* from the wild and cultured source in terms of their proximate composition. The dry matter of the captured and cultured fishes was observed to have a percentage mean value of 95.97% and 97.13% respectively. The male and female fish species on the other hand was also observed to have

a mean value of 96.49% and 96.61% respectively. The result is similar to work done by Kirimi et al. (2022) with mean value of 92% for cultured fishes and also Hammed et al. (2022) with mean value of 87.28% for wild fishes. The crude protein of the captured and cultured fishes was observed to have no significant difference. The male and female fishes on the other hand also had no significant difference. The result is in contrary to work done by Al-Taei et al. (2022) with protein mean value of 16.88% and 15.26% for wild and cultured fishes respectively. The higher value for cultured fishes from the present study may be as a result of age variation, quality of food and feeds and the feeding systems on the farm. However, the male fishes possessed the higher mean value because the female fishes are mouth brooders and they fed less during this process and they may also have less access to quality proteinous feeds compared to the male fishes. The result agrees with the work reported by Hammed et al. (2022). The percentage mean value of crude fat contained in wild and cultured fishes were 3.57% and 4.09% respectively. This result agrees with then work done by Al-Taei et al. (2022) with fat percentage mean value of 7.67% for captured *O. niloticus*. Hammed et al. (2022) reported a mean percentage of fat for cultured *O. niloticus* which is not similar to the present study. However, Yagoub et al. (2025) recorded 11.11% for cultured *O. niloticus* which is higher than the current study with mean values of 3.87% and 3.79%. The cultured fishes had higher value from the present study which may be due to factors such as age, nature of the environment, feeding systems and composition of feeds fed to them on the farm. The male also possessed the higher mean value because the female fishes are mouth brooders. The ash content of the captured and cultured fishes was observed to have a value of 18.32% and 25.7% respectively. The male and female fish species on the other hand was also observed to have a mean value of 22.03% and 22.06% respectively. The result is in line with the work done by Al-Taei et al. (2022) with mean value of 1.57% for wild *O. niloticus* and 1.86% for cultured fishes respectively. However, Yagoub et al. (2025) reported the percentage mean values of 19.39% for cultured *O. niloticus* which are different from the current study as stated above.

Conclusion

As shown in the current research, the proximate composition of the cultured *O. niloticus* was signifi-

cantly higher than their wild-caught counterparts, hence highlighting their nutritive superiority, with protein and lipid contents being higher. Moreover, the cultured *O. niloticus* showed higher condition factor indices in both sexes, indicating an excellent overall well-being and physiological stability compared with their wild fishes. male fish from both sources were found to have higher protein and fat content, while females had higher nitrogen-free extract. All of these findings provide an essential information for sustainable aquaculture and suggests that cultured male *O. niloticus* can provide enhanced nu-

tritional advantages, and that the adoption of management tools that focus on enhancing condition factor can result in improved growth, health, and production outcomes.

Acknowledgements

My sincere gratitude goes to Umaru Joel PhD and A.B Dauda PhD for their contribution, guidance and constructive instructions in the course of this research work. I really appreciate their efforts towards the success of this project.

References

- Ahmadi, A. (2024). Growth pattern, condition factor and first capture-maturity size of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in a fish pond. *International Journal of Innovative Studies in Aquatic Biology and Fisheries*, 9(1), 14–18. <https://doi.org/10.20431/2454-7670.0901003>
- Akintade, A. O., Edwin, C. O., & Simon, E. A. (2016). Length–weight relationship, condition factor and sex ratio of fish fauna in Badagry Creek, Lagos, Nigeria. *International Journal of Marine Science*, 6(24), 1–8. <https://url-shortener.me/1LAE> <https://doi.org/10.5376/ijms.2016.06.0024>
- Al-Taei, A. M., Yesser, A. T., Alhamedany, Q. H., & Al-Faiz, N. A. (2022). Chemical composition and nutritive value of wild and cultured tilapia, Southern Iraq. *Iranian Journal of Ichthyology*, 9(2), 124–130. <https://url-shortener.me/1LA9> <https://doi.org/10.22034/iji.v9i2.902>
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (2012). *Official methods of analysis* (18th ed.). Gaithersburg, MD: AOAC International.
- Azrita, A., Syandri, H., & Aryani, N. (2024). Length and weight relationship, condition factor, and morphometric characteristics of eleven freshwater fish species in Koto Panjang Reservoir, Indonesia. *International Journal of Zoology*, 2024, Article ID 9927705. <https://doi.org/10.1155/2024/9927705>
- Bland, J. M., Grimm, C. C., Bechtel, P. J., Deb, U., & Dey, M. M. (2021). Proximate composition and nutritional attributes of ready-to-cook catfish products. *Foods*, 10(11), 2716. <https://doi.org/10.3390/foods10112716>
- Canosa, L. F., & Bertucci, J. I. (2023). The effect of environmental stressors on growth in fish and its endocrine control. *Frontiers in Endocrinology*, 14, 1109461. <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1109461>
- Dwivedi, A. C., Mayank, P., & Imran, S. (2016). Reproductive structure of invading fish, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1757) in respect of climate from the Yamuna River, India. *Journal of Climatology & Weather Forecasting*, 4(2), 164. <https://url-shortener.me/1LB6> <https://doi.org/10.4172/2332-2594.1000164>
- Famoofo, O. O., & Abdul, W. O. (2020). Biometry, condition factors and length-weight relationships of sixteen fish species in Iwopin freshwater ecotype of Lekki Lagoon, Ogun State, Southwest Nigeria. *Heliyon*, 6(1), e02957. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02957>
- Hammed, A. M., Awe, F. A., Mekuleyi, G. O., & Adeleye, A. A. (2022). Comparative assessment of mineral, proximate and amino acids composition of wild and cultured *Oreochromis niloticus* and *Clarias gariepinus*. *African Journal of Agriculture and Food Science*, 5(2), 32–40. <https://doi.org/10.52589/AJAFS-1JMN7OUM>
- Ifedayo, O. O., Adewale, F. O., & Thomas, A. O. (2020). Comparative study on growth and economic performances of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* reared under different culture enclosures in Akure, Nigeria. *Aquaculture Studies*, 20(2), 91–98. https://doi.org/10.4194/2618-6381-v20_2_03
- Islam, S., Bhowmik, S., Majumdar, P. R., Szrednicki, G., Rahman, M., & Hossain, M. A. (2021). Nutritional profile of wild, pond-, gher- and cage-cultured tilapia in Bangladesh. *Heliyon*, 7(5), e06968. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06968>
- Kamble, M. T., Salin, K. R., Chavan, B. R., Medhe, S. V., Thompson, K. D., & Pirarat, N. (2024). Length-weight relationship and condition factor of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diets supplemented with guava and star gooseberry leaf extract. *F1000Research*, 13, 540. <https://doi.org/10.12688/f1000research.145369.2>
- Kirimi, J. G., Musalia, L. M., Munguti, J. M., & Magana, A. (2022). Carcass fatty acid composition and sensory properties of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed on oilseed meals with crude papain enzyme. *East African Journal of Science, Technology and Innovation*, 3(4). <https://doi.org/10.37425/eajsti.v3i4.446>
- La Rosa, L. L. C., Morell-Monzó, S., Puig-Pons, V., Pérez-Arjona, I., & Espinosa, V. (2025). Biometric relationships and condition factor of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) grown in concrete ponds with groundwater. *Aquaculture International*, 33, Article 200. <https://doi.org/10.1007/s10499-025-01839-7>
- Langi, S., Maulu, S., Hasimuna, O. J., Kapula, V. K., & Tjipute, M. (2024). Nutritional requirements and effect of culture conditions on the performance of the African catfish (*Clarias gariepinus*): A review. *Cogent Food & Agriculture*, 10(1), 2302642. <https://doi.org/10.1080/23311932.2024.2302642>

- Li, Y., Feng, M., Huang, L., Zhang, P., Wang, H., Zhang, J., Tian, Y., & Xu, J. (2023). Weight–length relationship analysis revealing the impacts of multiple factors on body shape of fish in China. *Fishes*, 8(5), 269. <https://doi.org/10.3390/fishes8050269>
- Makeche, M. C., Nihwatiwa, T., Chitondo, L., Kanyati, M., Katongo, C., Kaminsa, C., Kaona, M., Ndebe, J., Mulavu, M., Khumalo, C. S., Simulundu, E., Changula, K., Chitanga, S., Mubemba, B., Muleya, W., & Makwelele, G. (2023). Comparative study of growth rates, condition factors and natural mortality of *Oreochromis niloticus* fish from culture fisheries and capture fisheries at Lake Kariba, Zambia. *International Journal of Fisheries and Aquaculture*, 15, 21–35. <https://doi.org/10.5897/IJFA2023.0852>
- Ngodhe, S. O., & Owuor-JB, O. (2019). Assessment of length-weight relationship and condition factor of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in cage and open waters in Winam Gulf of Lake Victoria, Kenya. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, 22(3), 556088. <https://doi.org/10.19080/IJESNR.2019.22.556088>
- Pyż-Lukasik, R., Chałabis-Mazurek, A., & Gondek, M. (2020). Basic and functional nutrients in the muscles of fish: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(12), 1941–1950. <https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1828457>
- Raposo, A. I. G., Soares, F., Conceição, L. E. C., Valente, L. M. P., & Silva, T. S. (2023). Development and evaluation of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) body composition models. *Aquaculture*, 564, 739039. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.739039>
- Stauffer, J. R., Chirwa, E. R., Jere, W., Konings, A. F., Tweddle, D., & Weyl, O. (2022). Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Teleostei: Cichlidae): A threat to native fishes of Lake Malawi? *Biological Invasions*, 24(6), 1585–1597. <https://doi.org/10.1007/s10530-022-02756-z>
- Sumaoy, J. K., Biquio, L. J., Gonzales, J. C., Aquino, A. O., Pongan, C. C., Carbonel, J. M., Corales, M. E., Sapigao, L. C., Bernabe, J., Sabado, R. I., Cabanizas, C., Edralin, M., Sirot, C. J., Silva, W., Ganadin, J. F., Zamudio, B., Java, A., Pati, S., dela Cruz, G. V., ... Reyes, A. T. (2025). Comparative analysis of length-weight relationships and condition factors of the pond-grown Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) across sexes and life stages during the wet season in Lubao, Pampanga, Philippines. *Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries*, 29(5), 1211–1226.
- Tibihika, P. D., Curto, M., Meimberg, H., Aruho, C., Muganga, G., Aanyu, M., Ddungu, R., & Ondhoro, C. C. (2023). Exploring the morphological dynamics of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* Linn. 1758) in Victoria Nile as depicted from geometric morphometrics. *BMC Zoology*, 8, Article 28. <https://doi.org/10.1186/s40850-023-00190-9>
- Yagoub, H. M., Khogali, F. A., Yousif, R. A., & Ibrahim, M. T. (2025). Effect of monoculture and polyculture systems stocking density on chemical compositions and metabolizable energy of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* and African catfish *Clarias gariepinus* fingerlings reared in concreted ponds. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 13(5), 24–29. <https://doi.org/10.22271/fish.2025.v13.i5a.3142>

Information about authors:

Abdulhakeem Idris Abdulhakeem (corresponding Author) – Graduate Student (MSc) of the Department of Fisheries and Aquaculture, Federal University Dutsin-Ma, Nigeria (e-mail: idrisabdulhakeem@yahoo.com).

Umaru Joel (PhD) – Assoc. Professor, Department of Fisheries and Aquaculture, Federal University Dutsin-Ma, Katsina State, Nigeria (e-mail: jumaru@fudutsinma.edu.ng).

Akeem Babatunde Dauda (PhD, MNYA) – Professor of Aquaculture Production Systems and Water Resources Management, Department of Fisheries and Aquaculture, Federal University Dutsin-Ma, Katsina State, Nigeria (e-mail: adauda1@fudutsinma.edu.ng).

Авторлар туралы мәлімет:

Абдулхаким Идрис Абдулхаким (хат алмасуға жауапты автор) – Балық шаруашылығы және аквакультура кафедрасының магистранты (MSc), Дутсин-Ма федералдық университеті, Нигерия (e-mail: idrisabdulhakeem@yahoo.com).

Умару Джоэл (PhD) – Балық шаруашылығы және аквакультура кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Дутсин-Ма федералдық университеті, Кацина штаты, Нигерия (e-mail: jumaru@fudutsinma.edu.ng).

Аким Бабатунде Дауда (PhD, MNYA) – аквакультура өндірістік жүйелері және су ресурстарын басқару саласының профессоры, Балық шаруашылығы және аквакультура кафедрасы, Дутсин-Ма федералдық университеті, Кацина штаты, Нигерия (e-mail: adauda1@fudutsinma.edu.ng).

Сведения об авторах:

Абдулхаким Идрис Абдулхаким (автор для корреспонденции) – магистрант (MSc) кафедры рыбного хозяйства и аквакультуры, Федеральный университет Дутсин-Ма, Нигерия (e-mail: idrisabdulhakeem@yahoo.com).

Умару Джоэл (PhD) – ассоциированный профессор кафедры рыбного хозяйства и аквакультуры, Федеральный университет Дутсин-Ма, штат Кацина, Нигерия (e-mail: jumaru@fudutsinma.edu.ng).

Аким Бабатунде Дауда (PhD, MNYA) – профессор систем производства аквакультуры и управления водными ресурсами, кафедра рыбного хозяйства и аквакультуры, Федеральный университет Дутсин-Ма, штат Кацина, Нигерия (e-mail: adauda1@fudutsinma.edu.ng).

Received September 12, 2025

Accepted November 20, 2025

Н.С. Сиханова¹ , И.И. Рахимов² ,
А.Ж. Берденкүлова¹ , Е.А. Шынберген^{1*} 

¹ Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда, Қазақстан

² Қазан (Еділ бойы) федералды университеті, Қазан, Ресей

*e-mail: shynbergenov.erlan@mail.ru

ЖЫРТҚЫШТАРДЫҢ СИНАНТРОПТАНУЫ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ АНТРОПОГЕНДІ ЛАНДШАФТТАҒЫ ЭКОЛОГИЯСЫНЫҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ (Қызылорда қаласы мысалында)

Мақалада Қызылорда қаласының авифаунасын есепке алу нәтижелері бойынша Қазақстанның оңтүстік-батысындағы урбандалған аумақтардағы жыртқыш құстар фаунасының кеңістіктік-уақыттық орналасуын талдау ұсынылған. Жыртқыш құстардың 8 түрі тіркелді, мысалы, *Circus cyaneus*, *Circus aeruginosus*, *Accipiter nisus*, *Buteo rufinus*, *Buteo buteo*, *Aquila nipalensis*, *Falco subbuteo*, *Falco tinnunculus*. Жыртқыш құстардың мекендеу ықтималдығы қаланы кесіп өтетін темір жолдың арғы беті мен жаңа бөлігіндегі шектеулі көгалдандырылған тығыз орналасқан аз қабатты құрылыстармен теріс байланысты болды. Сонымен қатар қаланың ескі орталық бөлігінде көгалдандырусыз тығыз орналасқан құрылыстары кәдімгі күйкентайдың өмір сүруіне қолайлы жағдайларға ие (азық қоры, ұялау стациясы). Жыртқыш құстардың мекендеу ықтималдығы ағаш және/немесе бұталардың шағын топтары бар Сырдария өзенінің жайылмалары мен бос кеңістіктеріне оң байланысты болды. Қаланың солтүстік-шығыс мүйісінде орналасқан ҚТҚ полигонының айналасы тілеміш пен жамансары үшін азық қоры ретінде пайдаланылса, әуежай аумағында кәдімгі жамансары, дала қыраны және күйкентай мекендейді. Қызылорданың урбандалған ландшафттарында тіркелген ең көп құс – көк кептер. Осы зерттеуге сүйене отырып, өз аумағы мен айналасындағы көк кептерлердің санын реттеуге және жыртқыш құстарды сақтауға мүдделі кәсіпорындарға (астық қоймасы, әуежай) және жергілікті атқарушы органдарға көбірек жергілікті өсімдіктер мен бұталарды сақтауға немесе отырғызуға және жасыл алаңдарды сақтауға кеңес береміз.

Түйін сөздер: урбандалған ландшафттар, жыртқыш құстар, Қызылорда қаласы, көк кептер, синантропизация.

N.S. Sihanova¹, I.I. Rahimov²,
A.Zh. Berdenkulova¹, Y.A. Shynbergenov^{1*}

¹Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan

²Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia

*e-mail: shynbergenov.erlan@mail.ru

Synanthropization of raptors and features of their ecology in anthropogenic landscapes (on the example of Kyzylorda city)

The article presents an analysis of the spatio-temporal distribution of the fauna of birds of prey in the urbanized areas of southwestern Kazakhstan based on the results of avifauna surveys in Kyzylorda. Eight species of birds of prey were recorded, including the *Circus cyaneus*, *Circus aeruginosus*, *Accipiter nisus*, *Buteo rufinus*, *Buteo buteo*, *Aquila nipalensis*, *Falco subbuteo*, *Falco tinnunculus*. The probability of birds of prey habitation was negatively associated with dense urban low-rise buildings with limited greenery in the outlying and new parts of the city. At the same time, dense urban development with little or no greenery in the old central part of the city provides comfortable conditions for the habitation (food supply, nesting station) of the common kestrel. The probability of habitation of birds of prey was positively associated with wastelands and the floodplain of the Syr Darya River with small groups of trees and/or shrubs. The environs of the solid waste landfill located on the north-eastern outskirts of the city serve as a food supply for the long-legged buzzard and common buzzard, and the common buzzard, steppe eagle and common kestrel live on the territory of the airport. The most numerous bird recorded in the urbanized landscapes of Kyzylorda is the rock pigeon. Based on this study, we would recommend that enterprises (grain storage, airport) and local executive bodies interested in preserving birds of prey

and regulating the number of rock dove on their territory and around it, preserve or plant more native vegetation and shrubs and preserve areas with green spaces.

Keywords: urban landscapes, birds of prey, Kyzylorda city, rock dove, synanthropization.

Н.С. Сиханова¹, И.И. Рахимов²,
А.Ж. Берденкулова¹, Е.А. Шынберген^{1*}

¹Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан

²Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

*e-mail: shynbergenov.erlan@mail.ru

Синантропизация хищников и особенности их экологии в антропогенных ландшафтах (на примере города Кызылорда)

В статье представлен анализ пространственно-временного размещения фауны хищных птиц урбанизированных территории юго-запада Казахстана по результатам учетов авифауны города Кызылорды. Были зарегистрированы 8 видов хищных птиц, такие как *Circus cyaneus*, *Circus aeruginosus*, *Accipiter nisus*, *Buteo rufinus*, *Buteo buteo*, *Aquila nipalensis*, *Falco subbuteo*, *Falco tinnunculus*. Вероятность обитания хищных птиц была отрицательно связана с плотной городской малоэтажной застройкой с ограниченным озеленением в заливной и новой части города. При этом плотная городская застройка без или почти без озеленения в старой центральной части города располагает комфортными условиями для обитания (кормовая база, гнездовая станция) обыкновенной пустельги. Вероятность обитания хищных птиц была положительно связана с пустырями и поймой реки Сырдарья с небольшими группами деревьев и/или кустарников. Окрестности полигона ТБО, размещенного на северо-восточной окраине города служат кормовой базой для курганника и обыкновенного канюка, а на территории аэропорта обитают обыкновенный канюк, степной орел и обыкновенная пустельга. Самой многочисленной птицей, зарегистрированной в урбанизированных ландшафтах Кызылорды является сизый голубь. Основываясь на этом исследовании, мы бы рекомендовали предприятиям (зернохранилище, аэропорт) и местным исполнительным органам, заинтересованным в сохранении хищных птиц и регулировании численности сизого голубя на своей территории и вокруг нее, сохранять или высаживать больше местной растительности и кустарников и сохранять участки с зелеными насаждениями.

Ключевые слова: урбанизированные ландшафты, хищные птицы, город Кызылорда, сизый голубь, синантропизация.

Кіріспе

Қарқынды урбанизация биоәртүрлілікті сақтаудың негізгі мәселелерінің бірі болып табылады [1-2], ол ландшафттың өзгеруіне ықпал етеді және сәйкесінше түрлердің таралуы мен санына әсер етеді [3]. Бұл жағдайда жыртқыш құстар фаунасының синантропизациясы мен урбандалу үдерісінің маңыздылығы арта түседі [4], олар экологиялық ерекшелігіне байланысты антропогендік қысымның әсеріне ерекше сезімталдықпен сипатталады және қоршаған орта жағдайының жалпы танылған биологиялық көрсеткіштері болып табылады. Қала жағдайында адамдар мен жыртқыштардың бірге өмір сүруінің хронологиясы қазіргі қалалардың пайда болуынан бұрынырақ басталғанын да ескеру қажет [4]. Осы уақыт аралығында жыртқыштардың кейбір топтары трансформацияланған ортада өмір сүруге сәтті бейімделіп, белгілі бір экожүйенің айнымас бөлігіне айналса, келесі бір тобы керісінше, қанша уақыт өтсе де жаңа ортаға бейімделе алмай, урбандалған аймақтардан алы-

сырақ жүреді, және бір тобы аралық позицияны ұстанып, жыл мезгілдеріне немесе тәуліктің бөлігіне сәйкес қала мен табиғи мекендеу ортасы арасында жүреді.

Қазіргі кезеңде шетелдік орнитологтар жыртқыш құстардың урбандалу үдерісі бойынша әртүрлі зерттеулер жүргізді, нәтижесінде «урбофобтардың» синантропизациясына әсер ететін негізгі факторлар анықталып, негізгі түжырымдар ғылыми мақалаларға арқау болды, соның ішінде жыртқыштардың трансформацияланған мекен жағдайында қорек іздеуі немесе трофикалық басымдықтарын ауыстыруы [5-7], темір-бетонды немесе шыныдан тұрғызылған биік, әрі жақын орналасқан ғимараттар арасында ұшу немесе қоректі қуалау барысында көру қызметінің эволюциясы [8-10], жыртқыштардың әлеуметтік топтарының ортақ қоректену немесе демалу барысында қоректің ағзасындағы патогендік микроорганизмдердің жыртқыштар арасында таралуы [11], трансформацияланған жаңа ортада ұялау үшін қолайлы орындар іздеу немесе өзге құстардан тартып алу [12-14] және т.б.

Посткеңестік кеңістіктегі урбандалған аймақтардағы сұңқарлар отрядының өкілдерін зерттеуде ресейлік орнитологтар айтарлықтай табысқа қол жеткізді [15-22], мұнда Мәскеу [19-22] және Ленинградтан бастап [15-16] Қазан [21-23] мен Ставрополь [17-18] Саратов және Волгоград аралығында [24]; дамудағы эволюциялық тізбектерді бағалау әрекеті [19]; немесе жыртқыштарды қолданбалы мақсатта пайдалану [21-23] және т.б. кездеседі. Жүргізілген зерттеулердің хронологиясына назар аударсақ, XX ғасырдың ортасынан бастап, қазіргі таңға дейін үздіксіз ғылыми жұмыстардың атқарылып жатқандығын байқаймыз, бұл жыртқыш құстардың урбандалу үдерісіне мемлекет деңгейінде басымдық берілетіндігін және зерттеулерді жүргізуге әлеуетті ғылыми мектептер мен қауымдастықтың түбегейлі қалыптасқандығын аңғартады.

Жыртқыш құстардың урбандалу дәрежесін бағалау кезінде қазақстандық орнитологтар зерттеу аймағы ретінде Алматы [25-27], Өскемен [28] және Павлодар [29] қалаларының шекарасын таңдайды. Мұның бірден-бір себебі, Алматы қаласында Зоология институты орналасуымен, сәйкесінше мықты орнитологиялық ғылыми ортаның қалыптасуымен байланысты болса, соңғы екі қала Ресейдің Батыс Сібірдегі ғылыми қауымдастығымен шекаралық аймақта орналасуы негізінде зерттеуге арқау болады. Қазақстанның ұлан-ғайыр аумақты алып жатқанына және мұнда көптеген ірі қалалардың, соның ішінде біздің зерттеу объектіміз – Қызылорда қаласының болғанына қарамастан, сұңқар тұқымдас құстар фаунасының популяциясының экологиясы, антропогендік қысым жағдайындағы жылдам, кейде «жыртқыш» урбандалуға байланысты жеткілікті түрде ашылмаған. Немесе, еркін таратылатын басылымдарда мұндай ғылыми еңбектер табылмады. Елімізде жыртқыш құстардың экологиясы негізінен елді мекендерден тыс жерлерде зерттеледі [30-32].

Мәселені түбегейлі зерделей келе, жұмыстың негізгі ғылыми мақсаты – Қазақстанның оңтүстік-батысындағы урбандалған аумақтардың мәдени ландшафты жағдайында жыртқыш құстардың фаунасы мен адам арасындағы қарым-қатынас кезеңін анықтау (Қызылорда қаласы мысалында) және осы жобаның идеясын бастауға түрткі болды.

Зерттеу материалдары мен әдістері

2.1. Зерттеу аймағы

Қазіргі уақытта Арал өңірінің қазақстандық бөлігінің аумағы күшті антропогендік трансформацияға ұшырауда. Елдегі және өңірдегі тұрақты қаржылық жағдай мен экономикалық жағдай шағын және орта бизнестің дамуына, өнеркәсіптік кәсіпорындар мен шикізатты қайта өңдеу және тауарлар өндіру объектілерінің ашылуына ықпал етеді. Зерттеуге қарастырылып отырған Қызылорда қаласы Қазақстан Республикасының Қызылорда облысының әкімшілік орталығы, жалпы ауданы 240 км² және негізінен шөлейт аймақта жатыр [33]. Халық саны бойынша – 353 248 адам, Қызылорда еліміздің ірі қалалары санатына кіреді [34]. Жерді жалпы пайдалану Қызылорда қаласының орталық бөлігіндегі тығыз қалалық құрылысты, Сырдария өзенінің сол жағалауында және солтүстік-шығыстан оңтүстік-шығысқа қарай қала маңындағы аудандарда сирек тұрғын үйлер, коммерциялық және іскерлік құрылысты, сондай-ақ негізінен зерттеу аумағының оңтүстік және батыс бөліктеріндегі ауыл шаруашылығы жерлері мен жылыжай шаруашылықтарын қамтиды. Жасыл желекті алаңдар (саябақтар, скверлер, бақтар мен бульварлар) қаланың орталық және оңтүстік бөліктерінде, Сырдария өзенінің аңғарында орналасқан тораңғыл тоғайларында (*Populus euphratica*) және жиде (*Elaeagnus angustifolia* L.) кездеседі.

Қызылорда – Арал өңірінің әкімшілік орталығы, онда халық саны жоғары қарқынмен артып, қала аумағы мен құрылыс тығыздығы өсуде. Тиісінше, игерілмеген телімдердің ауданы қысқарады және оларда рекреациялық жүктеменің қарқындылығы едәуір артады. Игерілмеген жер эстетикалық мақсатта абаттандырылады немесе бұрыннан бар өсімдіктерге қалдырылады және бос жерлерді қамтуы мүмкін, олар ортақ жерлер ретінде белгіленеді немесе болашақ даму үшін қол жетімді. Зерттеу аумағы Asian Arid Zone шегінде орналасқан (35–55°с.е.; 60–120°ш.б.) [35].

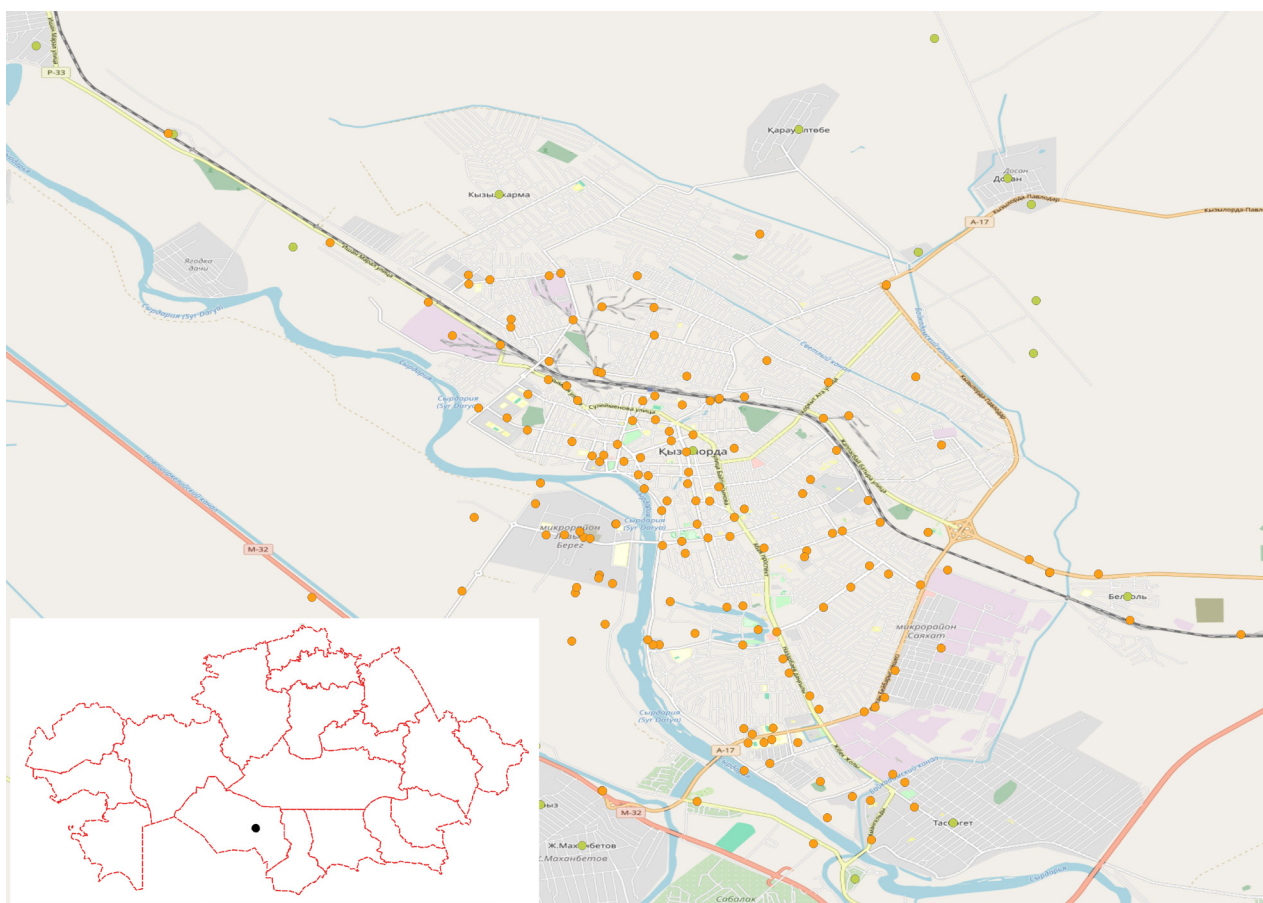
2.2. Зерттеу орнын картографиялық анықтау

Қалалық жыртқыштар популяциясын іріктеуге зерттеу аймағын құру үшін біз Қызылорда қаласындағы жер телімдерінен тұратын QGIS [36] карта қабатын жасадық. Қабатты құруға

арналған картографиялық база OpenStreetMap (OSM) веб-карталау жобасынан жүктелді, деректер файлдары Geofabric Downloads серверінен экспортталды, онда континенттік атау бойынша мұрағат каталогы ұсынылған, біз Азия қосалқы аймағын таңдаймыз, Қазақстанды табамыз және деректерді shapefile форматында жүктеп аламыз (shp). Мұрағатты ашқаннан кейін зерттеу аумағын (әкімшілік шекарадағы Қызылорда қаласы) таңдап, қабат атрибуты кестесінен қалған бөлігін жоямыз. Зерттеу нүктелерінің жинағын құру үшін біз Қызылорда қаласының аумағын қамтитын нүктелер торын жасадық. Біз қаладағы зерттеу нүктелерінің қолайлы санын алу және әр нүктедегі ықтимал бақылаулар арасындағы тәуелсіздікті қамтамасыз ету үшін нүктелерді бір-бірінен 500 м қашықтықта орналастырдық. Біз бұл торды Қызылор-

да қабатының шекарасына дейін кесіп алдық және сәйкес зерттеу орындарын анықтау үшін алынған қабатты нүкте-нүкте мұқият зерттедік. Қолайлы көру сызығын қамтамасыз ету үшін, егер бұл жылжытылған нүкте кез келген көрші нүктелерден 500 м қашықтықта орналаспаса, біз түсіру нүктелерін бастапқы тор орындарынан 100 м-ге дейін жылжыттық. Осы ұсыныстарға сәйкес жеткілікті түрде жылжыту мүмкін емес нүктелер жойылды.

Содан кейін аумақтарында зерттеу нүктесі орналасқан әрбір компаниядан жыртқыш құстарды зерттеу мақсатында олардың жерлеріне кіруге рұқсат алдық. Рұқсат алу мүмкін болмаған нүктелер жойылды. Жыртқыш құстардың кездесуі туралы мәліметтерді жинау үшін барлығы 155 зерттеу нүктесін орналастырдық (1-сурет).



1-сурет – Бақылау нүктелерінің картасы: Қызылорда қаласы (масштабы 1:200 000) және Қазақстан Республикасы

Біз Қызылорда қаласының ландшафтын барынша қамтуға және нүктелерді негізінен кездейсоқ орналастыруға күш салдық. Қолжетімділік мәселелеріне байланысты нүктелерді таңдауда белгілі бір дәрежеде ауытқу сөзсіз болды, бірақ біз әлі де зерттеу аймағының ішіндегі адам мазасыздануының барлық негізгі аймақтарында нүктелерді орналастыра алдық және біз белгілі бір орындарға қолжетімділіктің болмауы сауалнама нүктелерін орналастыруда орынсыз бұрмалануға әкелді деп ойламаймыз.

2.3. Жыртқыш құстарды зерттеу

Біз 2018 жылдың шілде айында жобаның логистикасын бағалау үшін 70 жерде пилоттық зерттеу жүргізіп, жыртқыш құстардың 8 түрін таптық. Келесі санақ 2018 жылдың қазан айында күзгі көші-қон кезеңінде бос тауашалар доминанттарын бөтен қоныс аударатын жыртқыштармен алмастыру мүмкіндігін анықтау үшін ұйымдастырылды.

Жыртқыш құстардың негізгі санағы 2018-2024 жылдар аралығындағы көктемгі-жазғы (15.03 – 30.06) есептік маусымында, осы кезеңдегі даралардың сандық құрамының тұрақтылығы мен түрлердің әртүрлілігінің арқасында жүргізілді. Ауа райы жағдайларын ескере отырып, көктемгі және күзгі санақтардың уақыты екі сағаттан басталады. Көктемгі, жазғы және күзгі есептік маусымдарда сызықтық қималар мен аумақтарды картаға түсіру әдістері қолданылады; қыста маршрут есебі қолданылады. Санақшының жабдығына сегіз (8*30) және он екі есе үлкейтетін (12*45) дүрбі және кәсіби фотоаппаратура кіреді.

Жыртқыш құстардың ұя салатын жерлерінің биотопиялық таралуы әр түрлі мекендеу орындарында көбею кезеңінде құстардың абсолюттік санағы арқылы зерттелді. Түрлердің синантропиясының сипаты құстардың көбею және қыстау кезеңдеріндегі және адамның шаруашылық әрекетінің орындарының арасындағы байланыстардың тұрақтылық дәрежесімен бағаланды.

Бастапқы материалдар маршруттық (сызықтық трансекталар әдісі) және алаңдық (аумақтарды картаға түсіру) санақ арқылы жиналады.

Санақ белдеуінің тұрақты емес ені бар маршруттық санаулар әдістемесі жазық жердің жағдайындағы түзетулерімен [37-39]. Құстар апта сайынғы қайталанатын қалалық биотоптардағы тұрақты, бірақ қатаң бекітілмеген сызық-

тық бағыттар бойынша есептелді. Есептегіштің жылдамдығы сағатына 2,5 шақырым болса, маршруттың ең аз есептік жүрісі 5 шақырымды құрайды, қысқы бақылаулар барысында бақылаушы 2 шақырым жылдамдықпен қозғалған кезде, сәйкесінше, кесіндінің ұзындығы 4 шақырым деп анықталады. Қала шекарасы шегіндегі саябақтарда, тораңғыл тоғайларында және Сырдария өзенінің жайылмасында есептік зерттеулер жүргізу сегментінің ең аз қабаттасуын қамтамасыз ету үшін үш шақырым аралықпен телімдерде нүктелерді салу арқылы сызықтық көлденең әдіспен жүргізілді. Бақылау пункттері жыртқыштардың қоректенетін жерлерінде – қарғалардың кешкі шоғырларында, көгершіндер жиналатын жерлерде, торғайлар қонатын жерлерде, үйінділер мен зираттарда орналасты. Бір аудандағы нүктелерде бақылау ұзақтығы 1-2 сағатты құрады. Қаланың көпқабатты үйлер орналасқан тығыз аудандарында рельефте басым жағдайға ие көпқабатты үйлерден бақылау жүргізілді. Бұл маршруттар жылдың барлық маусымында бірнеше рет жүріп өтілді. Барлық құстарды тіркеу (ұшу бағытын және белгілі бір телімге тіркелуін ескере отырып) Maps Me мобильді қосымшасында [40] геоорналасуы және нүкте орындары QGIS GIS жүйесіне жүктелді.

Қаланың әкімшілік шекараларының картасын және оның шегінде Қызылорда қаласының ландшафттарын салу үшін қашықтықтан зондтау деректері үшқышсыз ұшатын аппараттардан, сондай-ақ Интернет желісінің картографиялық ресурстарынан түсірілімдер негізінде алынады. Зерттелетін аумақтың карталары мен диаграммаларын құру Google Earth навигациялық бағдарламасында [41] «белгілер», «атаулар», «сызғыш» және т.б. құралдар арқылы жүзеге асырылады.

Жыртқыштардың жергілікті ұя салатын жұптарға немесе көрсетілген мекенге баратындарға шамамен тиесілігі құстардың әдеттегі ұяларына немесе алқабына мақсатты ұшуының болуы немесе болмауына, оның ішінде құстардың түнеуінің орналасу сипатына (жергілікті құстар үшін, тұрақты түнеу белгілі болды) негізделіп, қозғалыс бағыттарын бағалау арқылы тіркелді. Территорияның иелері пайда болған кезде, жаңадан келген жыртқыштар аң аулау аймағынан тез кетеді; әйтпесе, аң аулау аймағынан қарсыластарын ығыстыру және қуып жіберу әрекеттерін байқауға болады.

2.4. Анықтау айнымалыларының жинағы

Біз әрбір зерттеуде жыртқыштарды анықтау ықтималдығымен байланысты деп есептелетін келесі зерттеуге тән қоршаған орта айнымалыларын жинадық: зерттеу күні (Григориан күні ретінде көрсетілген); зерттеу жүргізілген тәулік уақыты (күн шыққан сәттен бастап минуттармен көрсетіледі); температура (ұялы телефон арқылы қолжетімді жергілікті ауа райы болжамы арқылы есептеледі); бұлттылық шамасы (%), жел жылдамдығы (Бофорт шкаласы), көріну деңгейі [42].

Біз әр зерттеу нүктесінен көріну деңгейін маңайдағы ландшафттың қаншалықты жақын маңдағы өсімдіктер және/немесе ғимараттармен жабылғанына байланысты жазып алдық. Бұл айнымалы төрт негізгі бағыттың әрқайсысына қарайтын әрбір зерттеу нүктесінде фотосуреттер түсіру және осы фотосуреттерді компьютер экранында қарау арқылы жасалды. Біз көкжиектен сәл жоғары сызық бойымен біркелкі орналасқан диаметрі бір дюймдік бес тесіктері бар қағаз маскасын жасап, әрбір фотосуретті көру үшін оны компьютер экранына орналастырдық. Біз ең жақын көру кедергісіне дейінгі қашықтық 100 м-ден асатын саңылаулардың санын санадық және 0-ден (айналадағы ландшафттың нашар көрінуі, жақын маңдағы көптеген кедергілер) 5-ке дейін (айналадағы ландшафттың жоғары көрінуі) көріну ұпайын алу үшін төрт фотосурет бойынша бұл санды орташаладық [43].

Біз жыртқыштарды зерттеуді уақыт пен ауа райы сияқты зерттеуге тән айнымалылардың ықтимал әсерін азайту үшін әзірледік. Тәулік уақыты мен шу деңгейіне байланысты ықтимал ауытқуларды төмендету үшін біз берілген орындарда таңның әртүрлі уақыттарында қайталанатын зерттеулер жүргіздік, олар әдетте таңертең ерте адам белсенділігінің төмен деңгейіне байланысты төмен болды.

2.5. Ландшафттық айнымалыларды есептеу

Біз ландшафттық айнымалыларды өлшедік, олар 500 метрлік буферлерде (зерттеу телімдері) әрбір түсіру нүктесінің айналасында жыртқыштардың болуымен байланысты болуы мүмкін. Тораптар арасындағы қабаттасуды азайту үшін торап өлшемдері 500 м радиуста орнатылды. Біз әр түрлі жер жамылғысының дискретті аймақтарын белгілеу үшін Google Earth мұрағатындағы жоғары және өте жоғары ажыратымдылықтағы жер серіктік суреттерді қолдандық (2-сурет):

- ашық жасыл алқаптар (ағаштар және/немесе бұталар өскен Сырдария өзенінің жайылмалары мен бос жерлер),
- жасыл аймақтар (саябақтар, скверлер, бақтар және бульварлар),
- асфальт-бетонды кеңістіктер (кең көшелер мен алаңдар),
- азаматтық құрылыстар (көп қабатты үйлер, орман екпелері және жасыл алқаптардың кешені),
- сауда-саттық және өндірістік кешендер (сауда орталықтары, астық қоймалары, күріш зауыты, қоймалар, темір жол түйіктері және т.б.),
- жасыл желек алқабы шектеулі тығыз құрылыстар (ағаштар мен бұталардың жеке топтары бар), мұнда және одан әрі мәтін мен кестелерде тығыз құрылыс (жоғары тығыздықты құрылыстар деп те аталады) термині ғимараттардың бір-біріне жақын орналасқан түрі болып табылады, бұл аумақ бірлігіндегі құрылыстың тығыздануына әкеледі.
- жасыл желегі аз немесе мүлдем жоқ тығыз құрылыстар (қаланың ескі орталық аудандары). Қызылордадағы жыртқыш құстардың таралуын сипаттау барысында Б.Клауснитцер [44] ұсынған және біздің жағдайымызға бейімделген қала ландшафттарының классификациясын пайдаландық.

2.6. Статистикалық әдістер

Зерттеу маусымы кезінде біз екі сатылы ақпараттық-теориялық модельдеу тәсілін қолдана отырып, анықтау және толтыру ықтималдығының модельдерін құру үшін әр телімдегі анықтау деректерін қолдандық. Бірінші кезеңде әрбір зерттеу үшін анықтау ықтималдығы модельденді, ал екінші кезеңде әрбір зерттеу орнында толтыру ықтималдығы модельденді, оның ішінде бірінші кезеңнен бастап ең қолайлы модельде анықталған анықтау айнымалылары.

Екі кезеңде де біз төрт түрлі деректер жиынтығымен бірдей үміткер модельдер жинағын сынадық: бес мақсатты түрдің кез келгенін анықтау, *Falco tinnunculus* анықтау, *Aquila nipalensis* анықтау және *Circus cyaneus* анықтау. Біз ландшафт айнымалыларының жыртқыштардың жоғарғы гильдиясын құрайтын күндізгі жыртқыштар қауымдастығына қандай да бір әсері бар-жоғын білу үшін барлық түрлердің деректер жинағын модельдеуді шештік. Біз үміткерлердің модельдерін Presence 5.3 бағдарламалық жасақтамасын қолдана отырып талдадық және оларды шағын іріктеу өлшеміне (AICc) сәйкес түзетілген Akaike ақпараттық критерийі бойынша бағаладық.



2-сурет – Белгіленген жабын түрлері бар сынама зерттеу аймағы. Қамту түрлері мынадай:

- 1 – ашық жасыл аландар (ҚТҚ полигоны, тұрақты асфальтбетон зауыты, қалалық зират);
- 2 – жасыл аймақтар (Тұңғыш Президент саябағы); 3 – азаматтық құрылыстар («Сол жағалау» м/а., Сырдарияның сол жағалауындағы тоғай); 4 – өнеркәсіп аймақтары (астық қоймалары, қоймалар, темір жол түйықтары);
- 5 – сауда объектілері (сауда және ойын-сауық орталығы) және жасыл желек алқабы шектеулі тығыз құрылыстар (Сырдария өзенінің ескі арнасы).

Бірінші кезеңде біз анықтау ықтималдығын (р) әр зерттеу барысында өлшенетін анықтау айнымалыларымен модельдедік: тәулік уақыты, жыл мезгілі, температура (болжамды), бұлт жамылғысы, желдің жылдамдығы, шу деңгейі және көріну деңгейі. Біз көктемнен жазға дейін ауайы жылынған сайын температураның анықтау ықтималдығына әсері өзгерді деген гипотезаны тексеру үшін талдауларға өзара әрекеттесу күні*температурасының айнымалы мәнін қостық.

Бұл айнымалылар кандидаттық модельдер жиынтығын анықтау үшін тікелей қадамдық процедураға енгізілді. Біз бұл тәсілді әрбір айнымалыға бірдей назар аудару және олардың деректерге қаншалықты сәйкес келетініне байланысты оларды үміткер үлгілерінің жиынтығынан сақтау немесе алып тастау үшін қолдандық.

Екінші кезеңде біз өлшенген ландшафт айнымалыларының модельденген анықтау ықтималдығын ескере отырып, зерттеу учаскелері арасындағы байқалған толтыру ауытқуларына (ψ) әсерін тексеру үшін үміткер модельдер жинағын жасадық. Біз жыртқыштардың болуы жер жамылғысының кеңірек үлгілерімен байланысты ма деген гипотезаларды тексеру үшін айнымалыларды үміткер үлгілерге топтастырдық. Біз неғұрлым дамыған және тазартылған кеңістіктің (көшелер мен тротуарлардың) болуы жыртқыштардың болуына теріс әсер етеді деп болжадық, ашық кеңістіктің (бос жерлер мен жайылмалардың) көбірек болуы кейбір жыртқыштардың болуына оң әсер етеді, ал басқаларына теріс әсер етеді және жалпы табиғи жер жамылғысының (шөптер мен шөлейт жерлер) көбірек болуы және ағаш жамылғысы (ағаштар мен бұталар), атап айтқанда жыртқыштардың болуына оң әсер етеді. Біз сондай-ақ осы жабын түрлерінің үлкен аумақтары немесе бірнеше ішкі мекендеу орындары жыртқыштардың болуына оң әсер еткенін және оны қала құрылысында жоспарлау керек

пе, жоқ па, соны тексеру үшін үш табиғи жабын түрінің (бос жерлер, бұталар мен ағаштар) әрбір патчының орташа өлшемі және осы жабын түрлерінің жиектерінің жалпы арақатынасы (периметрі/ауданы) бар үлгілерді жасадық. Үміткерлер жиынтығына сонымен қатар ғимарат, коммерциялық және тұрғын үй жабындарының пропорцияларының әсерін тексеретін модельдер кірді; барлық ландшафт айнымалылары тұрақты болатын нөлдік модель; және барлық ландшафт айнымалылары бар толық параметрленген жандық модель.

Жіктеу-таксономиялық санат бірліктерінің қазақша, орысша және ғылыми (латын) атаулары, олардың дұрыс таксономиялық тәртіпте орналасуы [45-46] бойынша берілді.

Санақ нәтижелерінің статистикалық деректері QGIS, Microsoft Excel, PRESENCE 5.3 бағдарламалық пакеттерінің көмегімен есептелетін болады.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау

1. Жыртқыш құстарды тіркеу

Қызылорда қаласы аумағында тіркелген жыртқыш құстардың тізімі жасалды. Жыртқыш құстардың тіршілік ету ортасы мен популяциясының орналасу ерекшеліктері, экологиялық және қоректік мамандануы, жыл мезгілдеріндегі жыртқыш құстардың динамикасы белгіленді.

Әрбір телімде біз: әрбір жабын түрі бойынша қамтылған телімнің үлесін; жасыл алқаптың, шөптің, ағаштар мен бұталардың орташа мөлшерін; шөп және жасыл желек жамылғысы түрлерінің жиектерінің арақатынасын өлшедік (белгілі бір жамылғы түрінің барлық телімдерінің жиектерінің жалпы ұзындығы, осы жамылғы түрінің барлық телімдерінің жалпы ауданына бөлінген). Барлық ландшафттық айнымалылар үшін сипаттамалық статистика 1-кестеде берілген.

1-кесте – Зерттелетін аумақтағы барлық 155 нүктеде өлшенген ландшафттық айнымалылар үшін сипаттамалық статистика

Сипаттамалар	Айнымалы	Орташа	Орташа квадраттық ауытқу
Зерттеу аймағының үйлесімділігі	Жасыл желегі аз немесе мүлдем жоқ тығыз құрылыстар	0.109	0.006
	Сауда-саттық және өндірістік нысандар	0.018	0.034
	Ашық жасыл алқаптар	0.079	0.004
	Асфальтты және бетон жабынды кеңістіктер	0.225	0.009
	Азаматтық құрылыстар	0.223	0.017
	Жасыл аймақтар	0.040	0.002
	Жасыл желегі шектеулі тығыз құрылыстар	0.195	0.014

Кестенің жалғасы

Сипаттамалар	Айнымалы	Орташа	Орташа квадраттық ауытқу
Телімнің орташа ауданы (га)	Ашық жасыл алқаптар	1.399	0.096
	Жасыл аймақтар	0.500	0.026
Жиектер арақатынасы (периметр/аудан)	Ашық жасыл алқаптар	0.063	0.003
	Жасыл аймақтар	0.055	0.005
	Көріну	1.358	0.083

Біз 155 зерттеу нүктесінің 99-да жыртқыш құстарды тіркедік және далалық маусымда жыртқыш құстардың 224 тіркелуін санадық. Зерттеу барысында жыртқыш құстардың сегіз түрі табылды (2-кесте).

Нысаналы құстардың бес түрі 93 жерде анықталды. Кәдімгі күйкентай 61 жерде кем дегенде бір рет, жағалтай 37 жерде, саз құладыны

20 жерде анықталды. Қырғи мен кәдімгі тілеміш тек 2 жерде анықталды және жеке түрлерді модельдеуде қарастырылмаған, бірақ олардың анықтаулары дауысы таратылатын барлық мақсатты түрлер үшін жалпы қосылды. Кем дегенде бір рет тіркелген жыртқыштардың басқа түрлеріне түз құладыны, жамансары мен дала қыраны кіреді.

2-кесте – Түрлер бойынша 2022-2024 жылдар кезеңінде тіркелген құстардың жалпы саны, түрлері бойынша құстар тіркелген санау пункттерінің саны (155-тен) және табиғи қоныстану коэффициенті (құстар табылған нүктелердің саны санау пункттерінің жалпы санына бөлінген) түрлері бойынша

Қазақша атауы	Орысша атауы	Ғылыми атауы (латынша)	Бақылаудың жалпы саны	Бақылау нүктелері саны	Табиғи қоныстану коэффициенті
<i>Барлық нысаналы түрлер</i>			210	93	0,6
Кәдімгі күйкентай	Обыкновенная пустельга	<i>Falco tinnunculus</i>	105	61	0,39
Жағалтай	Чеглок	<i>Falco subbuteo</i>	75	37	0,24
Саз құладыны	Болотный лунь	<i>Circus aeroginosus</i>	25	20	0,13
Қырғи	Ястреб-перепелятник	<i>Accipiter nisus</i>	4	3	0,013
Кәдімгі тілеміш	Курганник	<i>Buteo rufinus</i>	3	2	0,013
<i>Басқа түрлер</i>					
Түз құладыны	Полевой лунь	<i>Circus cianeus</i>	2	2	0,013
Жамансары	Канюк обыкновенный	<i>Buteo buteo</i>	2	2	0,013
Дала қыраны	Степной орел	<i>Aquila nipalensis</i>	1	1	0,007
<i>Анықталмағаны</i>			7	7	д/ж

Бұл зерттеу Қызылорда қаласындағы жыртқыш құстардың кездесуі мен құрамын анықтау және жыртқыш құстардың кездесуіне байланысты ландшафттық сипаттамаларды анықтау мақсатында жүргізілді. Біздің далалық бақылауларымыз көрсеткендей, Қызылорда қаласының төңірегінде жыртқыш құстар көптеп кездеседі. Жыртқыш құстардың мұндай тіршілік ету ортасын пайдалану жолдары осы зерттеудің ауқымынан тыс болса да, біз үш жерде ұя салуды

анықтадық және жыртқыштық мінез-құлықты байқадық.

Ең жиі кездесетіндер кәдімгі күйкентай мен жағалтай болды, ал саз құладыны да айтарлықтай мөлшерде болды. Біршама мөлшерде кездесетін түрлер, қырғи мен кәдімгі тілеміште зерттеу аймағында болды. Түз құладыны [47] мен жамансары [48] қалалық ортаға сәтті бейімделетіні белгілі болғанымен, біз екі түрдің де жиі кездескенін байқамадық.

3-кесте – Анықтау деректерін талдау кезінде ландшафттық айнымалылар үшін ықтималдық коэффициенттерінің үлгі бойынша орташаланған коэффициенттері, коэффициенттері және 90% сенімділік интервалдары. Жұлдызшамен (*) белгіленген айнымалылар 1-ді қамтымайтын 90% ықтималдық коэффициентіне ие, сондықтан анықтау ықтималдығына айтарлықтай әсер етеді

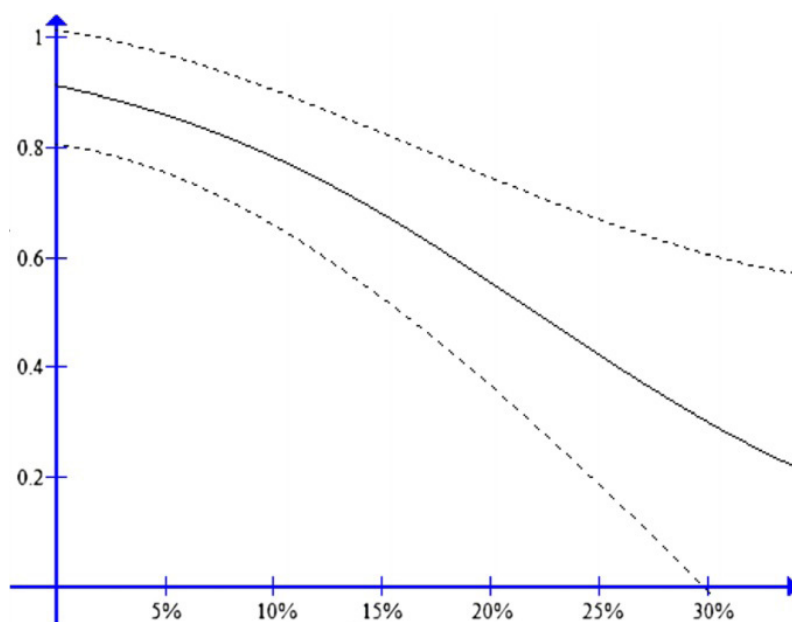
	Айнымалы	Коэффициент	Едәуір эффект	Мүмкіндік коэффициенті	90% сенім аралығы		
Барлық бес нысаналы түрлер	Басып алу	1.372	0.644				
	Жайылма	−0.634	0.374	0.531	0.287	–	0.981
	Жаяужол	−0.028	0.700	0.972	0.308	–	3.072
	Шөп	1.104	1.809	3.015	0.154	–	59.15
	Азаматтық құрылыс	2.712	2.786	15.06	0.154	–	1472
Кәдімгі күйкентай	Басып алу	0.950	0.721				
	Тал	1.231	0.704	3.425	1.075	–	10.91
	Тал-бұта	0.374	0.340	1.453	0.831	–	2.544
	Шөп	0.022	0.373	1.022	0.553	–	1.188
	Жасыл желек орташа	2.468	1.567	11.80	0.899	–	155.2
	Тал орташа	0.002	0.298	1.002	0.614	–	1.636
	Шөп	−0.047	0.313	0.954	0.571	–	1.596
	Жайылма	−0.675	0.305	0.509	0.308	–	0.842
	Жаяужол	−0.002	0.282	0.998	0.628	–	1.587
	Тұрғын	0.465	0.407	1.592	0.815	–	3.110
	Коммерциялық	−0.434	0.263	0.648	0.420	–	0.999
Жағалтай	Басып алу	−0.838	0.357				
	Шөп	0.772	0.351	2.164	1.215	–	3.853
	Жайылма	−0.087	0.337	0.917	0.527	–	1.595
	Тал	−0.434	0.348	0.648	0.366	–	1.148
	Шөп	0.841	0.413	2.319	1.176	–	4.573
	Бұта орташа	−0.194	0.336	0.824	0.474	–	1.433
	Тал орташа	−0.238	0.306	0.788	0.477	–	1.303
	Тал	−0.501	0.406	0.606	0.311	–	1.182
	Басып алу	1.263	3.986				
Саз құладыны	Жайылма	1.095	0.658	2.988	1.013	–	8.816
	Шөп	15.01	39.39	3.6*10 ⁶	2.6*10 ^{−22}	–	5.0*10 ³⁴
	Коммерциялық	−1.211	0.750	0.290	0.088	–	0.955
	Тұрғын	−0.498	0.478	0.608	0.277	–	1.335

Ескерту. ЕЭ – едәуір эффект, МК – мүмкіндік коэффициенті, СА – сенім аралығы.

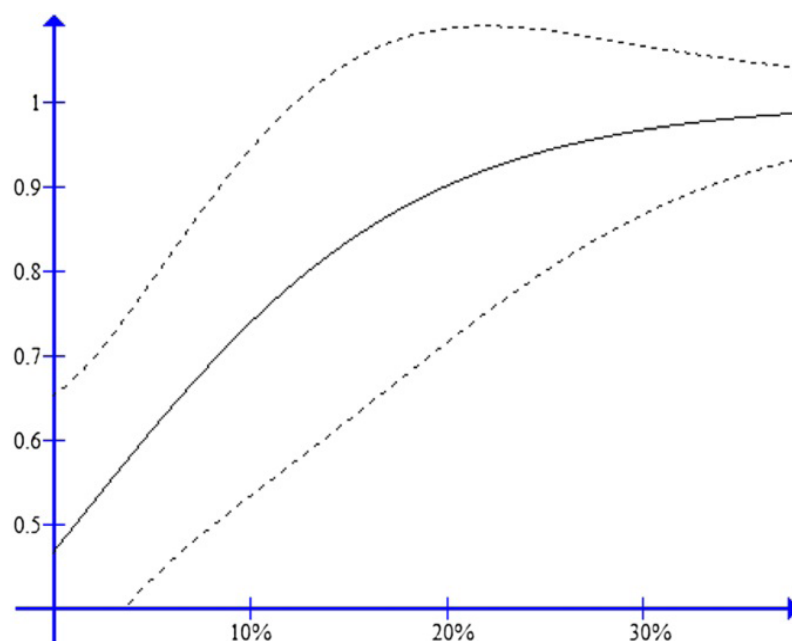
Авифаунаны бақылау дәстүр бойынша күн шыққаннан кейінгі кезеңде құстардың белгілі бір қауымдастықтарының белсенділігінің шарықтауын байқау үшін жүргізіледі [37].

Жасыл желекті алаңдардың моделі (саябақтар, скверлер мен бақтар) кәдімгі күйкентайды талдаудағы ең тиімді модель болды. Жасыл желектер саны екі жоғарғы модельде пайда болатын игеру ықтималдығының ең маңызды болжаушысы болды (p мәні = 0,1568, $\hat{c}$ = 1,2610).

Жасыл желекті алқаптардың саны, коммерциялық игерілген жерлер және бос жерлер мен жайылмалардың айнымалылары 90% деңгейінде маңызды болды. Игеру ықтималдығы ағаштармен және жасыл кеңістіктің орташа аумағымен оң байланысты болды және өзеннің жайылмасы мен коммерциялық сектормен теріс байланысты болды. Жасыл желектің әрбір 10%-ға өсуімен кәдімгі күйкентайдың игеру ықтималдығы шамамен 20%-ға артады (4-сурет).



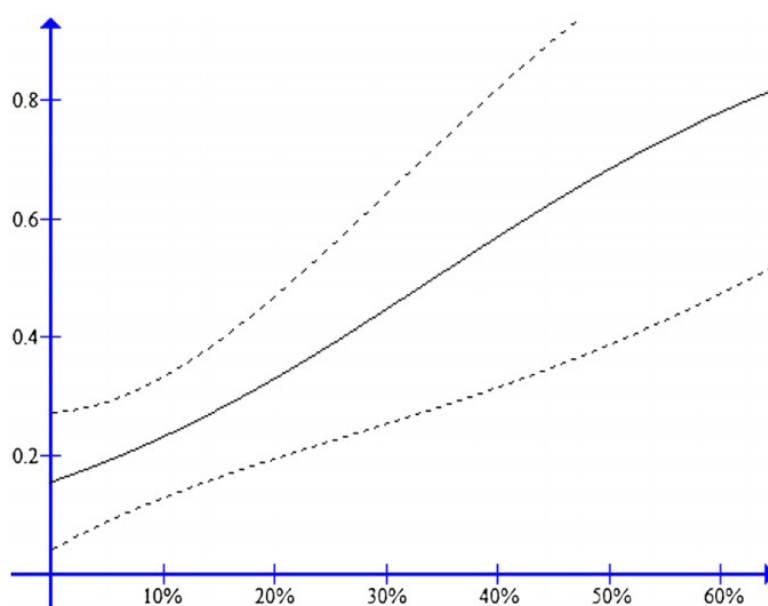
3-сурет – Ағаштар және/немесе бұталар топтары бар өзеннің жайылмалары мен бос жерлерден тұратын зерттелген телімнің үлесінің жыртқыш құстардың мақсатты бес түрінің кез-келгенінің болжамды қамтылу ықтималдығына әсері, 90% сенімділік аралығы ашық жасыл алаңдар үшін орташа коэффициентті қолдана отырып есептелген. Өзеннің жайылмасы мен бос жерлерінің айнаымалысы бар ең жақсы модельдер, мұнда тік ось (y) – болжаушы, көлденең ось (x) – ашық жасыл кеңістіктер



4-сурет – Зерттелген телімнің жасыл желектермен көмкерілген үлесінің 90% сенімділік аралығы бар кәдімгі күйкентайдың болжамды кездесу ықтималдығына әсері, тік ось (y) – болжаушы, көлденең ось (x) – ашық жасыл кеңістіктер болатын жасыл желектердің айнаымалысы бар ең жақсы модельдердің өсімдік жамылғысы үшін орташа коэффициентті пайдалана отырып есептелген

Жағалтайды талдауда табиғи жамылғы моделі жетекші болды, дегенмен модельдегі екі айнымалы (көк шөпті және бос жерлер) керісінше әсер етті. Ашық жасыл кеңістіктер екі жоғарғы модельде пайда болатын жағалтайды талдаудағы кездесудің ең маңызды болжаушысы ретінде анықталды ($p = 0,0849$, $\hat{c} = 1,7042$ мәні). Жағалтайдың кездесуінде ашық жасыл кеңістіктер мен осы телімнің орташа аудандарының бірлестіктері оң болды, ал ашық жа-

сыл кеңістіктер үшін орташа коэффициенттер 90% деңгейінде маңызды болды. Жағалтайдың кездесу ықтималдығы көк шөптің, бос жерлер мен ағаштар және/немесе бұталар топтары бар өзен жайылмалары әр 10%-ға ұлғайғанда шамамен 12%-ға артады. Кездесу ықтималдығы шөптесін өсімдіктердің орташа биіктігімен де оң байланысты болды және шектеулі көгалдандырылған тығыз қалалық құрылыстармен теріс байланысты болды.



5-сурет – Ашық жасыл кеңістіктердің зерттелетін аумағы үлесінің саз құладының болжамды кездесу ықтималдығына әсері 90% сенімділік интервалы ашық жасыл кеңістік үшін орташа коэффициентті пайдалана отырып есептелген, бос жерлер айнымалысы бар ең жақсы модельдер мен ағаштар және/немесе бұталар топтары бар өзен жайылмаларынан тұрады, мұнда тік ось (y) – болжаушы, көлденең ось (x) – ашық жасыл кеңістіктер

Саз құладының талдауға арналған ең жақсы модельдер максималды ықтималдылыққа сәйкес келмеді, саз құладының анықтау үлгісінің шағын өлшеміне байланысты болуы мүмкін. Біз бір-біріне сәйкес келмейтін модельдерді алып тастадық және қалған ландшафттық айнымалылар үшін 90% Акаике салмағын және модельдің орташа мәндерін есептедік. Бұл жиынтықтағы ең тиімді модель еркін даму моделі болды (мәні $p = 0,5784$, $\hat{c} = 0,5452$).

Максатты түрлерді талдаудағы жоғарғы модель ашық кеңістік моделі болды, ол қатты өзгерген жердің үлесі ұлғайған сайын (жаяужолдар мен кең көшелер) жыртқыш құстардың кездесу ықтималдығы болжанғандай төмендейтінін көрсетеді.

Жаяужолдар мен кең көшелер жеке түрлердің барлық талдауларында теріс көрсеткіш ретінде табылды. Асфальтталған және бетондалған кеңістіктердің теріс әсері зерттеу аумағындағы кең көшелер санының үлкен дисперсиясына қарамастан, зерттеу учаскелеріндегі кең көшелер мен аландар санында байқалғаннан да көп (жаяужолдардың үлесі 0,4-тен 30,8%-ға дейін, ал кең көшелердің үлесі 1,6-дан 52,3%-ға дейін).

Кәдімгі күйкентай орманды дала, дала және шөлейт ландшафттарының табиғи және антропогендік ортасының кең таралған түрі ретінде танымал [17-18, 49-50], ол тұтас орманды алқаптардан аулақ болады [51]. Жасыл кеңістіктің жалпы моделі (тоғайлар, саябақтар, бақтар) кәдімгі

күйкентайды талдаудың негізгі моделі болды, ал екінші орындағы модель – табиғи жер бедері моделі де жасыл кеңістікті қамтыды. Кәдімгі күйкентай – барлық ұсақ сұңқарлардың ішіндегі ең экологиялық бейімделгіш түрі, ұя салатын жерді таңдағанда, негізінен қарғалардың ұяларына, сондай-ақ, жол бойындағы ағаш екпелеріне, шатырларға, антропогендік құрылымдардың қарниздеріне қоныстанып, түрлендірілген тіршілік ету ортасынан тартынбайды [17, 50-51]. Қол жетімді әдебиеттерде *Falco tinnunculus* Семей [49, 52], Курчатова қалаларында [53], Алтай тауларының қазақстандық бөлігінде [50] ұялауы туралы мәліметтер бар. Бұл зерттеуде кәдімгі күйкентайлар бүкіл зерттелетін аумақта кездесті, бірақ олар негізінен зерттелетін аумақтың көгалдандырусыз бөліктерінде айтарлықтай аз болды.

Жағалтай зерттелетін аймақтың ашық бөліктерінде ең көп таралған жыртқыш болды және табиғи жамылғы моделінің тиімділігі осыны көрсетеді. Жасыл желектер *Falco subbuteo* кездесуінің оң болжаушысы болды, ал бос жатқан жерлер теріс болжаушы болды. Зерттеу барысында біз жағалтайларды жұппен немесе кейінірек балапандармен жиі байқадық, бұл жақын жердегі ұя салуды білдіреді. Бұл Шымкенттегі [54], Алматыдағы [26] және Ақтаудағы [55] жағалтайдың ұялауға және қоректенуге арналған қолайлы мекендеу ортасы туралы басқа зерттеулерге сәйкес келеді.

Саз құладының талдаудағы ең жақсы модельдер бір-біріне сәйкес келмеді, сондықтан біз олардың тіршілік ету ортасымен байланысы туралы қорытынды жасаудан бас тарттық. Қалған негізгі модельдерде саз құладының өзен жайылмасы мен ағаштардың және/немесе бұталардың шағын топтары бар бос жерлерде жиі кездесіп, тұрғын аудандармен, жасыл желекті алаңдармен және коммерциялық нысандармен теріс байланысты көрсетті. Қызылорданың тұрғын аудандарының көпшілігінде көгалдандыру жамылғысы шектеулі, сонымен қатар қалалық ландшафттарда саз құладының қорек көзі – кішкентай құстардың сау популяциясы болуы қажет [55-57]. Саз құладының, әдетте, көгалдандырусыз тығыз азаматтық құрылыстар мен өнеркәсіптік аумақтарда болған жоқ. Зерттеу барысында анықтау үлгісінің кеңірек болуы тіршілік ету ортасы туралы егжей-тегжейлі қорытындыларға әкелуі мүмкін.

Тіршілік ету ортасының мөлшері мен пішіні зерттеу телімдеріндегі осындай телімдердің жалпы санымен салыстырғанда маңызды еместігі анықталды. Жыртқыш құстар ұзақ қашықтыққа ұшуға бейім және популяцияның тығыздығы

төмен ландшафтта кездеседі. Кәдімгі күйкентайдың мекендейтін жерлері Қазақстанның оңтүстігінде орта есеппен 14-20 га құрады [49, 58], ал жағалтайдың мекендейтін жерлері Ақтауда орта есеппен 65 га құрады [55]. Сондықтан жыртқыш құстар әдетте қалалық ландшафтта кездесетін жеке мекендеу орындарынан үлкенірек және осы зерттеу үшін таңдалған зерттеу учаскелерінен үлкенірек масштабта тіршілік ету ортасын таңдайды.

Сондай-ақ, жыртқыш құстардың мекендеу ортасының сапасын жақсарту үшін құрылысшылар мен өнеркәсіптік нысандардың иелері не істей алатыны зерттелді. Астық қоймасы мен күрішті қайта өңдеу зауытының аумағында көк кептердің (>50 000 дара), тағанның (>1 000 адам) және үй торғайларының (>500 адам) тұрақты үлкен шоғыры тіркелген. Астық қоймаларының, теміржол түйіктерінің бірнеше қызметкерлеріне немесе иелеріне жүргізілген сауалнама олардың өз учаскесінде жыртқыш құстардың пайда болу келешегіне қанағаттанатындығын анықтады, сонымен қатар олар аумақта жүргізілген бақылауларымен бөлісті.

Қорытынды

Мәдени ландшафтқа бейімделе алатын жыртқыш құстардың түрлері қаланың ішіндегі және айналасындағы ландшафтқа, сондай-ақ Қызылорда қаласының шегінен кеңірек экологиялық контекстке байланысты болады. Сондықтан бұл зерттеудің қорытындылары негізінен Қазақстанның оңтүстік-батысындағы урбандалған аумақтарға бағытталған. Негізінен ашық жайылма телімдері, жайылымдар немесе егіншілік болып табылатын аудандарда саз құладының кездесетін ең ықтимал түр болады. Тоғайлардағы қалдық немесе жаңадан өсіп келе жатқан ағаштар санының артуымен немесе тұрғынжайлардағы жетілген көгалдандырылған аудандарды алдымен кәдімгі күйкентай, содан кейін саз құладының мекендей бастайды. Алайда, айналасына қарамастан, жайылмалар мен жергілікті жасыл кеңістіктерді сақтау және қарқынды игерілетін жерлердің санын шектеу қалада қорек іздейтін және/немесе ұялайтын осы жыртқыш құстарды байқау ықтималдығын арттыруы мүмкін.

Қаржыландыру көзі

Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырды (грант ЖТН 22685801)

Әдебиеттер

1. Frantz A. et al. Flight initiation distance differs among eumelanin-based color morphs in feral pigeons // *Journal of Zoology*. – 2025. – Т. 325. – №. 2. – С. 115-123. <https://doi.org/10.1111/jzo.13235>
2. Dearborn D.C., Kark S. Motivations for conserving urban biodiversity // *Conservation biology*. – 2010. – Т. 24. – №.2. – С. 432-440. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2009.01328.x
3. Smith J.A. et al. Population and community consequences of perceived risk from humans in wildlife // *Ecology Letters*. – 2024. – Т. 27. – №. 6. – С. e14456. <https://doi.org/10.1111/ele.14456>
4. Bildstein K.L., Therrien J.F. Urban birds of prey: a lengthy history of human-raptor cohabitation // *Urban raptors: ecology and conservation of birds of prey in cities*. – 2018. – С. 3-17. https://doi.org/10.5822/978-1-61091-841-1_1
5. Jakić F.M. The trophic structure of sympatric assemblages of diurnal and nocturnal birds of prey // *American Midland Naturalist*. – 1983. – С. 152-162. <https://doi.org/10.2307/2425525>. <https://www.jstor.org/stable/2425525>
6. Lack D. Competition for food by birds of prey // *The Journal of Animal Ecology*. – 1946. – С. 123-129. <https://doi.org/10.2307/1552>. <https://www.jstor.org/stable/1552>
7. Sumasgutner P. et al. Hard times in the city—attractive nest sites but insufficient food supply lead to low reproduction rates in a bird of prey // *Frontiers in Zoology*. – 2014. – Т. 11. – С. 1-14. <https://doi.org/10.1186/1742-9994-11-48>
8. Jones M.P., Pierce Jr K.E., Ward D. Avian vision: a review of form and function with special consideration to birds of prey // *Journal of exotic pet medicine*. – 2007. – Т. 16. – №. 2. – С. 69-87. <https://doi.org/10.1053/j.jepm.2007.03.012>
9. Martin G. R. Avian vision // *Current Biology*. – 2022. – Т. 32. – №. 20. – С. R1079-R1085. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2022.06.065>
10. Ruggeri M. et al. Retinal structure of birds of prey revealed by ultra-high resolution spectral-domain optical coherence tomography // *Investigative ophthalmology & visual science*. – 2010. – Т. 51. – №. 11. – С. 5789-5795. <https://doi.org/10.1167/iovs.10-5633>
11. Gargiulo A. et al. Occurrence of enteropathogenic bacteria in birds of prey in Italy // *Letters in Applied Microbiology*. – 2018. – Т. 66. – №. 3. – С. 202-206. <https://doi.org/10.1111/lam.12836>
12. Martinez-Abraín A. et al. A systematic review of the effects of recreational activities on nesting birds of prey // *Basic and Applied Ecology*. – 2010. – Т. 11. – №. 4. – С. 312-319. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2009.12.011>
13. Reif V., Tomberg R. Using time-lapse digital video recording for a nesting study of birds of prey // *European Journal of Wildlife Research*. – 2006. – Т. 52. – №. 4. – С. 251-258. <https://doi.org/10.1007/s10344-006-0039-1>
14. Ильях М.П. Гнездящиеся хищные птицы города Нefтeкyмскa и его окрестностей // *Русский орнитологический журнал*. – 2015. – Т. 24. – №. 1120. – С. 949-970.
15. Божко С.И. Орнитофауна парков Ленинграда и его окрестностей // *Русский орнитологический журнал*. – 2020. – Т. 29. – №. 1873. – С. 101-117.
16. Божко С.И. К характеристике процесса урбанизации птиц // *Русский орнитологический журнал*. – 2008. – Т. 17. – №. 430. – С. 1100-1112.
17. Ильях М.П. Синантропизация и урбанизация хищных птиц и сов Предкавказья // *Наука. Инновации. Технологии*. – 2005. – №. 42. – С. 71-79.
18. Ильях М.П. Новые виды птиц города Ставрополя // *Русский орнитологический журнал*. – 2019. – Т. 28. – №. 1729. – С. 589-598.
19. Морозов Н.С. Роль хищников в формировании городских популяций птиц. 3. Хищники в российских городах—препятствие для синурбанизации видов-жертв? // *Зоологический журнал*. – 2022. – Т. 101. – №. 1. – С. 37-66.
20. Рахилин В.К. Влияние условий города на птиц Москвы // *Животное население Москвы и Подмоскoвья*. – 1967. – С. 83-84.
21. Басыйров А.М., Рахимов И.И. Хищные птицы как регуляторы численности синантропной формы *Columba livia* // *Современные проблемы природопользования, охотоведения и звероводства*. – 2012. – №. 1.
22. Рахимов И.И., Хорошавин Е.А. Соколообразные птицы Татарстана. Изучение и перспективы охраны // *ББК* 28.693. 35 О 926. – 2018. – Т. 10. – С. 230.
23. Еналеев И.Р., Рахимов И.И. Специальная подготовка хищных птиц для их использования в качестве биорепеллентов // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*. – 2011. – №. 1. – С. 28-32.
24. Мамаев А.Б. Современная фауна хищных птиц саратовского и волгоградского Заволжья // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – №. 6-4. – С. 765-770.
25. Батырова К.И., Валиева Г.М. К вопросу невольного содержания хищных птиц в условиях Алматинского зоопарка // *Наука и мир*. – 2016. – №. 2-1. – С. 111-112.
26. Березовиков Н.Н. Зимняя встреча черноухого коршуна *Milvus migrans lineatus* в городе Алматы // *Русский орнитологический журнал*. – 2014. – Т. 23. – №. 1082. – С. 3981.
27. Пфандер П.В. Полуvidы и нераспознанные, скрытые гибриды (на примере хищных птиц) // *Пернатые хищники и их охрана*. – 2011. – №. 23. – С. 74-105.
28. Березовиков Н.Н. О гнездовании пустельги *Falco tinnunculus* в дачных домах Усть-Каменогорска // *Русский орнитологический журнал*. – 2018. – Т. 27. – №. 1640. – С. 3394-3396.
29. Тарасовская Н.Е. Гнездование серой вороны и пустельги в сорочьих гнездах на юго-восточной степной окраине г. Павлодара. – 2022.

30. Воронова В.В. и др. Влияние различных типов линий электропередачи на гибель птиц в Центральном Казахстане // Пернатые хищники и их охрана. – 2012. – №. 24. – С. 52-61.
31. Карякин И.В. Линии смерти продолжают собирать свой «чёрный» урожай в Казахстане // Пернатые хищники и их охрана. – 2008. – №. 11. – С. 14-21.
32. Карякин И. В. и др. Орлы арало-каспийского региона, Казахстан // Пернатые хищники и их охрана. – 2011. – №.22. – С. 92-152.
33. Сиханова Н.С. и др. НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО АВИФАУНЕ ГОРОДА КЫЗЫЛОРДА (КАЗАХСТАН) // Современные проблемы орнитологии Сибири и Центральной Азии. – 2022. – С. 208.
34. Численность и миграция населения. (2025). Бюро Национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан [online]. Available at: [https:// stat.gov.kz/ru/region/kyzylorda/](https://stat.gov.kz/ru/region/kyzylorda/)
35. Salnikov V. et al. An assessment of the present trends in temperature and precipitation extremes in Kazakhstan // Climate. – 2023. – Т. 11. – №. 2. – С. 33. [https:// doi.org/10.3390/cli11020033](https://doi.org/10.3390/cli11020033)
36. Moyroud N., Portet F. Introduction to QGIS // QGIS and generic tools. – 2018. – Т. 1. – С. 1-17. [https:// doi.org/10.1002/9781119457091.ch1](https://doi.org/10.1002/9781119457091.ch1)
37. Bibby C.J. Bird census techniques. – Elsevier, 2000. 2nd edn. Academic, London
38. Равкин Е.С., Челинцев Н.Г. Методические рекомендации по комплексному маршрутному учету птиц. – 1990.
39. Домбровский В.Ч. и др. Находки большого подорлика (*Aquila clanga*) в Центральном Полесье // Subbuteo. – 2000. – Т. 3. – №. 1. – С. 3-13.
40. MAPS.ME: Offline maps GPS Nav (2025). [online]. Available at: [https:// play.google.com/store/apps/details?id=com.mapswithme.maps.pro](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.mapswithme.maps.pro)
41. Google Планета Земля (2025) [online]. Available at: [http:// earth.google.com](http://earth.google.com)
42. Dowling J.L., Luther D.A., Marra P.P. Comparative effects of urban development and anthropogenic noise on bird songs // Behavioral Ecology. – 2012. – Т. 23. – №. 1. – С. 201-209. [https:// doi.org/10.1093/beheco/arr176](https://doi.org/10.1093/beheco/arr176)
43. Hogg J.R., Nilon C.H. Habitat associations of birds of prey in urban business parks // Urban Ecosystems. – 2015. – Т. 18. – С. 267-284. [https:// doi.org/10.1007/s11252-014-0394-8](https://doi.org/10.1007/s11252-014-0394-8)
44. Клауснитцер Б. Экология городской фауны. – Мир, 1990.
45. Ковшарь А.Ф. Ревизия орнитофауны и современный список птиц Казахстана // Орнитол. вестн. Казахстана и Средней Азии. – 2012. – Т. 1. – С. 51-70.
46. Рябицев В.К. и др. Полевой определитель птиц Казахстана. – 2014.
47. Bennett C. Evaluating the influence of habitat on nest distribution and breeding performance of the Marsh Harrier, *Circus aeruginosus*, in the UK : дис. – Department of Life Sciences, Silwood Park, Imperial College London, 2014.
48. Palomino D., Carrascal L.M. Habitat associations of a raptor community in a mosaic landscape of Central Spain under urban development // Landscape and Urban Planning. – 2007. – Т. 83. – №. 4. – С. 268-274. [https:// doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.04.011](https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.04.011)
49. Панченко С.Г. Новые данные по орнитофауне окрестностей Семипалатинска // Русский орнитологический журнал. – 2011. – Т. 20. – №. 715. – С. 2545-2549.
50. Щербakov Б.В., Березовиков Н.Н. К экологии обыкновенной пустельги *Falco tinnunculus* на Западном Алтае // Русский орнитологический журнал. – 2011. – Т. 20. – №. 654. – С. 895-902.
51. Лыков Е.Л. Гнездование обыкновенной пустельги *Falco tinnunculus* в городах Палеарктики: краткий обзор // Русский орнитологический журнал. – 2017. – Т. 26. – №. 1392. – С. 149-153.
52. Хромов В.А., Шупова Т.В. Биоразнообразие орнитофауны правобережной части г. Семей (Семипалатинск) // Экологический мониторинг и биоразнообразие. – 2018. – С. 148-152.
53. Куряшкин А.Н. Птицы города Курчатова и его окрестностей // Русский орнитологический журнал. – 2021. – Т. 30. – №. 2104. – С. 3919-3940.
54. Колбинцев В.Г. Зимние встречи степного орла *Aquila nipalensis* в Южном Казахстане // Русский орнитологический журнал. – 2015. – Т. 24. – №. 1208. – С. 3923.
55. Ковшарь В.А., Карпов Ф.Ф. О зимовке некоторых птиц из Красной книги Казахстана на восточном побережье Каспийского моря в 2008-2019 годах // Русский орнитологический журнал. – 2020. – Т. 29. – №. 1927. – С. 2343-2349.
56. Губин Б.М. Учеты зимующих птиц в Южно-Казахстанской области // Русский орнитологический журнал. – 2018. – Т. 27. – №. 1570. – С. 847-868.
57. Чаликова Е.С. Результаты 20-летних зимних учётов птиц на Шардаринском водохранилище (Казахстан) // Русский орнитологический журнал. – 2024. – Т. 33. – №. 2414. – С. 1916-1934.
58. Martin T.E. et al. Bird records from the arid and semi-arid areas in southern Kazakhstan, 2009–2017 // Sandgrouse. – 2018. – Т. 40. – №. 1. – С. 53-74.

References

1. Frantz, A., Baneux, M., Pichon, L., Renier, S., & Vilanova, J. (2025). Flight initiation distance differs among eumelanin-based color morphs in feral pigeons. *Journal of Zoology*, 325(2), 115-123. <https://doi.org/10.1111/jzo.13235>
2. Dearborn, D. C., & Kark, S. (2010). Motivations for conserving urban biodiversity. *Conservation biology*, 24(2), 432-440. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2009.01328.x

3. Smith, J. A., McDaniels, M. E., Peacor, S. D., Bolas, E. C., Cherry, M. J., Dorn, N. J., ... & Gaynor, K. M. (2024). Population and community consequences of perceived risk from humans in wildlife. *Ecology Letters*, 27(6), e14456. <https://doi.org/10.1111/ele.14456>
4. Bildstein, K. L., & Therrien, J. F. (2018). Urban birds of prey: a lengthy history of human-raptor cohabitation. *Urban raptors: ecology and conservation of birds of prey in cities*, 3-17. https://doi.org/10.5822/978-1-61091-841-1_1
5. Jaksić, F. M. (1983). The trophic structure of sympatric assemblages of diurnal and nocturnal birds of prey. *American Midland Naturalist*, 152-162. <https://doi.org/10.2307/2425525>. <https://www.jstor.org/stable/2425525>
6. Lack, D. (1946). Competition for food by birds of prey. *The Journal of Animal Ecology*, 123-129. <https://doi.org/10.2307/1552>. <https://www.jstor.org/stable/1552>
7. Sumasgutner, P., Nemeth, E., Tebb, G., Krenn, H. W., & Gamauf, A. (2014). Hard times in the city—attractive nest sites but insufficient food supply lead to low reproduction rates in a bird of prey. *Frontiers in Zoology*, 11, 1-14. <https://doi.org/10.1186/1742-9994-11-48>
8. Jones, M. P., Pierce Jr, K. E., & Ward, D. (2007). Avian vision: a review of form and function with special consideration to birds of prey. *Journal of exotic pet medicine*, 16(2), 69-87. <https://doi.org/10.1053/j.jepm.2007.03.012>
9. Martin, G. R. (2022). Avian vision. *Current Biology*, 32(20), R1079-R1085. DOI: 10.1016/j.cub.2022.06.065
10. Ruggeri, M., Major, J. C., McKeown, C., Knighton, R. W., Puliafito, C. A., & Jiao, S. (2010). Retinal structure of birds of prey revealed by ultra-high resolution spectral-domain optical coherence tomography. *Investigative ophthalmology & visual science*, 51(11), 5789-5795. <https://doi.org/10.1167/iov.10-5633>
11. Gargiulo, A., Fioretti, A., Russo, T. P., Variale, L., Rampa, L., Paone, S., ... & Dipineto, L. (2018). Occurrence of enteropathogenic bacteria in birds of prey in Italy. *Letters in Applied Microbiology*, 66(3), 202-206. <https://doi.org/10.1111/lam.12836>
12. Martínez-Abraín, A., Oro, D., Jiménez, J., Stewart, G., & Pullin, A. (2010). A systematic review of the effects of recreational activities on nesting birds of prey. *Basic and Applied Ecology*, 11(4), 312-319. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2009.12.011>
13. Reif, V., & Tornberg, R. (2006). Using time-lapse digital video recording for a nesting study of birds of prey. *European Journal of Wildlife Research*, 52(4), 251-258. <https://doi.org/10.1007/s10344-006-0039-1>
14. Il'juh, M. P. (2015). Gnezdjashhiesja hishnhnye pticy goroda Neftekumska i ego okrestnostej [Nesting birds of prey in the city of Neftekumsk and its environs]. *Russkij ornitologicheskij zhurnal*, 24(1120), 949-970.
15. Bozhko, S. I. (2020). Ornitofauna parkov Leningrada i ego okrestnostej [Avifauna of the parks of Leningrad and its environs]. *Russkij ornitologicheskij zhurnal*, 29(1873), 101-117.
16. Bozhko, S. I. (2008). K karakteristike processa urbanizacii ptic [On the characteristics of the process of urbanization of birds]. *Russkij ornitologicheskij zhurnal*, 17(430), 1100-1112.
17. Il'juh, M. P. (2005). Sinantropizacija i urbanizacija hishnhnyh ptic i sov Predkavkaz'ja [Synanthropization and urbanization of birds of prey and owls of the Ciscaucasia]. *Nauka. Innovacii. Tehnologii*, (42), 71-79.
18. Il'juh, M. P. (2019). Novye vidy ptic goroda Stavropolja [New species of birds in Stavropol]. *Russkij ornitologicheskij zhurnal*, 28(1729), 589-598.
19. Morozov, N. S. (2022). Rol' hishnhnikov v formirovanii gorodskih populjacij ptic. 3. Hishhniki v rossijskih gorodah—prepjatstvie dlja sinurbizacii vidov-zhertv? [The Role of Predators in the Formation of Urban Bird Populations. 3. Predators in Russian Cities – an Obstacle to the Seigniorization of Prey Species?] *Zoologicheskij zhurnal*, 101(1), 37-66.
20. Rahilin, V. K. (1967). Vlijanie uslovij goroda na ptic Moskvy [The Impact of Urban Conditions on Moscow Birds]. *Zhivotnoe naselenie Moskvy i Podmoskov'ja*, 83-84.
21. Basyrov, A. M., & Rahimov, I. I. (2012). Hishnhnye pticy kak reguljatory chislennosti sinantropnoj formy *Columba livia* [Birds of prey as regulators of the number of synanthropic forms of *Columba livia*]. *Sovremennye problemy prirodnopol'zovanija, ohotovedenija i zverovodstva*, (1), 28-32.
22. Rahimov, I. I., & Horoshavin, E. A. (2018). Sokoloobraznye pticy Tatarstana. Izuchenie i perspektivy ohrany [Falconiformes of Tatarstan. Study and conservation prospects]. *BBK* 28.693. 35 O 926, 10, 230.
23. Enaleev, I. R., & Rahimov, I. I. (2011). Special'naja podgotovka hishnhnyh ptic dlja ih ispol'zovanija v kachestve biorepellentov [Special preparation of birds of prey for their use as biorepellents]. *Vestnik Rossijskogo universiteta družby narodov*. Serija: Jekologija i bezopasnost' zhiznedejatel'nosti, (1), 28-32.
24. Mamaev, A. B. (2014). Sovremennaja fauna hishnhnyh ptic saratovskogo i volgogradskogo Zavolzh'ja [Modern fauna of birds of prey in the Saratov and Volgograd Trans-Volga region]. *Fundamental'nye issledovanija*, (6-4), 765-770.
25. Batyrova, K. I., & Valieva, G. M. (2016). K voprosu nevol'nogo soderzhanija hishnhnyh ptic v uslovijah Almatinskogo zooparka [On the issue of captive keeping of birds of prey in the conditions of the Almaty Zoo]. *Nauka i mir*, (2-1), 111-112.
26. Berezovikov, N. N. (2014). Zimnjaja vstrecha chernouhogo korshuna *Milvus migrans lineatus* v gorode Almaty [Winter meeting of the Black-eared Kite *Milvus migrans lineatus* in Almaty]. *Russkij ornitologicheskij zhurnal*, 23(1082), 3981.
27. Pfander, P. V. (2011). Poluvidy i nerazpoznannye, skrytye gibridy (na primere hishnhnyh ptic) [Half-species and unrecognized, hidden hybrids (using birds of prey as an example)]. *Pernatye hishhniki i ih ohrana*, (23), 74-105.
28. Berezovikov, N. N. (2018). O gnezdovanii pustel'gi *Falco tinnunculus* v dachnyh domah Ust'-Kamenogorska [About nesting of kestrel *Falco tinnunculus* in summer houses of Ust'-Kamenogorsk]. *Russkij ornitologicheskij zhurnal*, 27(1640), 3394-3396.
29. Tarasovskaja, N. E. (2022). Gnezdovanie seroj vorony i pustel'gi v soroch'ih gnezdah na jugo-vostochnoj stepnoj okrajine g. Pavlodara [Nesting of the grey crow and kestrel in magpie nests on the south-eastern steppe outskirts of Pavlodar].
30. Voronova, V. V., Pulikova, G. I., Kim, K. K., Andreeva, E. V., Bekker, V. R., & Ajtbaev, T. (2012). Vlijanie razlichnyh tipov linij jelektroperedachi na gibel' ptic v Central'nom Kazahstane [The Impact of Different Types of Power Lines on Bird Mortality in Central Kazakhstan]. *Pernatye hishhniki i ih ohrana*, (24), 52-61.

31. Karjakin, I. V. (2008). Linii smerti prodolzhaty sobirat' svoj «chjornyj» urozhaj v Kazahstane [Death lines continue to reap their "black" harvest in Kazakhstan]. *Pernatyehishhnikii i ih ohrana*, (11), 14-21.
32. Karjakin, I. V., Kovalenko, A. V., Levin, A. S., & Pazhenkov, A. C. (2011). Orly aralo-kaspijsko go regiona, Kazakhstan [Eagles of the Aral-Caspian region, Kazakhstan]. *Pernatyehishhnikii i ih ohrana*, (22), 92-152.
33. Sihanova, N. S., Abdihamitova, N. S., Rahimov, I. I., & Alieva, Zh. G. (2022). Novye dannye po avifaune goroda Kyzylorda (Kazakhstan) [New data on the avifauna of the city of Kyzylorda (Kazakhstan)]. *Sovremennye problemy ornitologii Sibiri i Central'noj Azii*, 208.
34. Chislennost' i migracija naselenija [Population size and migration]. (2025). Bjuro Nacional'noj statistiki Agentstva po strategicheskemu planirovaniyu i reformam Respubliki Kazakhstan [online]. Available at: <https://stat.gov.kz/ru/region/kyzylorda/>
35. Salnikov, V., Talanov, Y., Polyakova, S., Assylbekova, A., Kauazov, A., Bultekov, N., ... & Beldeubayev, Y. (2023). An assessment of the present trends in temperature and precipitation extremes in Kazakhstan. *Climate*, 11(2), 33. <https://doi.org/10.3390/cli11020033>
36. Moyroud, N., & Portet, F. (2018). Introduction to QGIS. QGIS and generic tools, 1, 1-17. <https://doi.org/10.1002/9781119457091.ch1>
37. Bibby, C. J. (2000). Bird census techniques. Elsevier.
38. Ravkin, E. S., & Chelincev, N. G. (1990). Metodicheskie rekomendacii po kompleksnomu marshrutnomu uchetu ptic [Methodological recommendations for complex route census of birds].
39. Dombrovskij V. Ch. i dr. (2000). Nahodki bol'shogo podorlika (*Aquila clanga*) v Central'nom Poles'e [Greater Spotted Eagle (*Aquila clanga*) Finds in Central Polesie]. *Subbuteo*. 3(1): 3-13.
40. MAPS.ME: Offline maps GPS Nav (2025). [online]. Available at: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.mapswithme.maps.pro>
41. Google Earth (2025) [online]. Available at: <http://earth.google.com>
42. Dowling, J. L., Luther, D. A., & Marra, P. P. (2012). Comparative effects of urban development and anthropogenic noise on bird songs. *Behavioral Ecology*, 23(1), 201-209. <https://doi.org/10.1093/beheco/arr176>
43. Hogg, J. R., & Nilon, C. H. (2015). Habitat associations of birds of prey in urban business parks. *Urban Ecosystems*, 18, 267-284. <https://doi.org/10.1007/s11252-014-0394-8>
44. Klausnitser, B. (1990). Jekologija gorodskoj fauny [Urban fauna ecology]. Mir.
45. Kovshar', A. F. (2012). Revizija ornitofauny i sovremennyy spisok ptic Kazahstana [Revision of the avifauna and a modern list of birds of Kazakhstan]. *Ornitolog. vestn. Kazahstana i Srednej Azii*, 1, 51-70.
46. Rjabicev, V. K., Kovshar', A. F., Kovshar', V. A., & Berezovikov, N. N. (2014). Polevoj opredelitel' ptic Kazahstana [Field guide to birds of Kazakhstan].
47. Bennett, C. (2014). Evaluating the influence of habitat on nest distribution and breeding performance of the Marsh Harrier, *Circus aeruginosus*, in the UK (Doctoral dissertation, Department of Life Sciences, Silwood Park, Imperial College London).
48. Palomino, D., & Carrascal, L. M. (2007). Habitat associations of a raptor community in a mosaic landscape of Central Spain under urban development. *Landscape and Urban Planning*, 83(4), 268-274. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.04.011>
49. Panchenko, S. G. (2011). Novye dannye po ornitofaune okrestnostej Semipalatinska [New data on the avifauna of the Semipalatinsk area]. *Russkij ornitologicheskij zhurnal*, 20(715), 2545-2549.
50. Shherbakov, B. V., & Berezovikov, N. N. (2011). K jekologii obyknovennoj pustel'gi *Falco tinnunculus* na Zapadnom Altae [On the ecology of the common kestrel *Falco tinnunculus* in Western Altai]. *Russkij ornitologicheskij zhurnal*, 20(654), 895-902.
51. Lykov, E. L. (2017). Gnezдование obyknovennoj pustel'gi *Falco tinnunculus* v gorodah Palearktiki: kratkij obzor [Nesting of the Common Kestrel *Falco tinnunculus* in Palearctic cities: a brief overview]. *Russkij ornitologicheskij zhurnal*, 26(1392), 149-153.
52. Hromov, V. A., & Shupova, T. V. (2018). Bioraznoobrazie ornitofauny pravoberezhnoj chasti g. Semej (Semipalatinsk) [Biodiversity of the avifauna of the right-bank part of Semey (Semipalatinsk)]. In *Jekologicheskij monitoring i bioraznoobrazie* (pp. 148-152).
53. Kurjashkin, A. N. (2021). Pticy goroda Kurchatova i ego okrestnostej [Birds of the city of Kurchatov and its environs]. *Russkij ornitologicheskij zhurnal*, 30(2104), 3919-3940.
54. Kolbincev, V. G. (2015). Zimnie vstrechi stepnogo orla *Aquila nipalensis* v Juzhnom Kazahstane [Winter encounters of the Steppe Eagle *Aquila nipalensis* in Southern Kazakhstan]. *Russkij ornitologicheskij zhurnal*, 24(1208), 3923.
55. Kovshar', V. A., & Karpov, F. F. (2020). O zimovke nekotoryh ptic iz Krasnoj knigi Kazahstana na vostochnom poberezh'e Kaspijskogo morja v 2008-2019 godah [On the wintering of some birds from the Red Book of Kazakhstan on the eastern coast of the Caspian Sea in 2008-2019]. *Russkij ornitologicheskij zhurnal*, 29(1927), 2343-2349.
56. Gubin, B. M. (2018). Uchjoty zimujushhih ptic v Juzhno-Kazahstanskoj oblasti [Counts of wintering birds in the South Kazakhstan region]. *Russkij ornitologicheskij zhurnal*, 27(1570), 847-868.
57. Chalikova, E. S. (2024). Rezul'taty 20-letnih zimnih uchjotov ptic na Shardarinskom vodohranilishhe (Kazakhstan) [Results of 20-year winter bird counts at the Shardara Reservoir (Kazakhstan)]. *Russkij ornitologicheskij zhurnal*, 33(2414), 1916-1934.
58. Martin, T. E., Dubos, J. E., R. O. M. E., Riviere, T. H. I. B. A. U. T., Loubon, M. A. X. I. M. E., Fleureau, J. U. L. I. E. N., Martineau, A. L. E. X. I. S., ... & Nivet-Mazerolles, M. (2018). Bird records from the arid and semi-arid areas in southern Kazakhstan, 2009–2017. *Sandgrouse*, 40(1), 53-74.

Авторлар туралы мәлімет:

Сиханова Нургуль Сагиндыковна – PhD, «Электроэнергетика, техносфералық қауіпсіздік және экология» БББ қауымдастырылған профессоры м.а., Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті (Қызылорда, Қазақстан, e-mail: sihanova.nurgul@mail.ru);

Рахимов Ильгизар Ильясович – биология ғылымдарының докторы, профессор, «Биоэкология және қоғамдық денсаулық» кафедрасының меңгерушісі, Қазан федералды университеті (Қазан, Ресей, e-mail: rakhim56@mail.ru);

Берденқұлова Алмагүл Жеткербайқызы – биология ғылымдарының кандидаты, «Биология, география және химия» БББ аға оқытушысы, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті (Қызылорда, Қазақстан, e-mail: alma7707@mail.ru)

Шынбергенев Ерлан Алимжанович – PhD, «Су шаруашылығы және жерге орналастыру» БББ қауымдастырылған профессоры м.а., Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті (Қызылорда, Қазақстан, e-mail: shynbergenov.erlan@mail.ru)

Information about authors:

Sihanova Nurgul Sagindykovna – PhD, Acting Associate Professor of the EP “Electric Power Engineering, Technosphere Safety and Ecology”, Korkyt Ata Kyzylorda University (Kyzylorda, Kazakhstan, e-mail: sihanova.nurgul@mail.ru);

Ilgizar Ilyasovich Rakhimov – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Bioecology and Public Health at Kazan Federal University (Kazan, Russia, e-mail: rakhim56@mail.ru);

Berdenkulova Almagul Zhetkerbaevna – Candidate of Biological Sciences, Senior Lecturer at the Faculty of Biology, Geography and Chemistry, Korkyt Ata Kyzylorda University (Kyzylorda, Kazakhstan, e-mail: alma7707@mail.ru)

Shynbergenov Yerlan Alimzhanovich – PhD, Acting Associate Professor of EP “Water Management and Land Management”, Korkyt Ata Kyzylorda University (Kyzylorda, Kazakhstan, e-mail: shynbergenov.erlan@mail.ru).

Сведения об авторах:

Сиханова Нургуль Сагиндыковна – PhD, и. о. ассоциированного профессора ОП «Электроэнергетика, техносферная безопасность и экология», Кызылординский университет имени Коркыт Ата (Кызылорда, Казахстан, e-mail: sihanova.nurgul@mail.ru).

Рахимов Ильгизар Ильясович – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой биоэкологии и общественного здоровья Казанского федерального университета (Казань, Россия, e-mail: rakhim56@mail.ru).

Берденкулова Алмагүл Жеткербаевна – кандидат биологических наук, старший преподаватель ОП «Биология, география и химия», Кызылординский университет имени Коркыт Ата (Кызылорда, Казахстан, e-mail: alma7707@mail.ru).

Шынбергенев Ерлан Алимжанович – PhD, и. о. ассоциированного профессора ОП «Водное хозяйство и землеустройство», Кызылординский университет имени Коркыт Ата (Кызылорда, Казахстан, e-mail: shynbergenov.erlan@mail.ru).

Келіп түсті: 26 маусым 2025 жыл

Қабылданды: 20 қараша 2025 жыл

3-бөлім
ӨСІМДІКТЕР ФИЗИОЛОГИЯСЫ

Section 3
PLANT PHYSIOLOGY

Раздел 3
ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

МРНТИ 68.35.03

<https://doi.org/10.26577/bb20251056>

Д.Д. Алтыбаева¹ , В.А. Чудинов² , В.П. Шаманин³ ,
Т.В. Савин⁴ , И.А. Белан⁵ , Н.И. Коробейников⁶ ,
М.А. Розова⁶ , В.И. Цыганков⁷ , В.С. Юсов⁵ , А.И. Моргунов^{1*} 

¹Казахский национальный университет им. аль Фараби, Алматы, Казахстан

²Карабалыкская СХОС, Костанайская обл., Казахстан

³Омский государственный аграрный университет им. Столыпина, Омск, Россия

⁴Научно-производственный центр зернового хозяйства, Шортанды, Акмолинская обл., Казахстан

⁵Омский аграрный научный центр, Омск, Россия

⁶Алтайский научный центр агробиотехнологий, Барнаул, Россия

⁷Актюбинская СХОС, Актюбе, Казахстан

*e-mail: alexey.morgounov@gmail.com

АДАПТАЦИЯ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ И ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ В КАЗАХСТАНЕ И РОССИИ

Исследование посвящено сравнительному анализу адаптации и продуктивности яровой мягкой (*Triticum aestivum* L.) и твердой (*Triticum durum* Desf.) пшеницы в агроэкологических условиях Казахстана и России. Целью работы являлось определение различий между этими культурами по реакции на условия выращивания в основных регионах возделывания для повышения эффективности селекции и производства. Научная и практическая значимость работы заключается в выявлении специфических особенностей адаптации каждого вида пшеницы, что позволит более обоснованно подходить к их размещению в севооборотах и разработке сортовых технологий. Методология исследования основана на анализе результатов многолетних (2005–2024 гг.) полевых опытов Казахстанско-Сибирской сети по улучшению яровой пшеницы (КАСИБ) в четырех научных учреждениях: Карабалыкская СХОС, Актюбинская СХОС (Казахстан), Алтайский научный центр агробиотехнологий и Омский аграрный научный центр (Россия). Результаты показали, что яровая мягкая пшеница в условиях Казахстана демонстрирует более высокую урожайность, чем твердая (на 7–21%), при этом твердая пшеница формирует более высокорослые растения и имеет большую массу 1000 зерен. В условиях Западной Сибири (Алтайский край) твердая пшеница превосходила мягкую по урожайности на 8,6%. Установлена высокая положительная корреляция между урожайностью и высотой растений, массой 1000 зерен у обоих видов пшеницы. Выявлена более высокая чувствительность яровой мягкой пшеницы к повышенным температурам воздуха в июне и за период май–июль. Ценность исследования заключается в комплексном сравнительном анализе двух видов пшеницы, выращиваемых в одинаковых условиях, что позволило выявить их специфическую реакцию на факторы внешней среды. Практическое значение работы состоит в возможности более обоснованного выбора вида пшеницы для конкретных агроэкологических условий и разработки специфических для каждого вида стратегий селекции.

Ключевые слова: яровая мягкая пшеница, яровая твердая пшеница, адаптация, продуктивность, корреляция, метеоусловия.

D.D. Altybayeva¹, V.A. Chudinov², V.P. Shamanin³, T.V. Savin⁴,
I.A. Belan⁵, N.I. Korobeynikov⁶, M.A. Rozova⁶, V.I. Tsygankov⁷,
V.S. Yusov⁵, A.I. Morgounov^{1*}

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²Karabalyk Agricultural Enterprise, Kostanay Region, Kazakhstan

³Omsk State Agrarian University named after Stolypin, Omsk, Russia

⁴Research and Production Center of Grain Farming, Shortandy, Akmola region, Kazakhstan

⁵Omsk Agrarian Research Center, Omsk, Russia

⁶Altai Scientific Center of Agrobiotechnology, Barnaul, Russia

⁷Aktobe Agricultural Enterprise, Aktobe, Kazakhstan

*e-mail: Alexey.morgounov@gmail.com

Adaptation and productivity of spring bread and durum wheat depending on conditions in Kazakhstan and Russia

The study is devoted to a comparative analysis of adaptation and productivity of spring bread (*Triticum aestivum* L.) and durum (*Triticum durum* Desf.) wheat in the agroecological conditions of Kazakhstan and Russia. The aim of the work was to determine the differences between these crops in response to growing conditions in the main cultivation regions in order to increase the efficiency of breeding and production. The scientific and practical significance of the work lies in identifying the specific features of adaptation of each wheat species, which will allow a more informed approach to their placement in crop rotations and the development of varietal technologies. The research methodology is based on the analysis of the results of long-term (2005–2024) field experiments of the Kazakhstan-Siberian Network for Spring Wheat Improvement (KASIB) in four scientific institutions: Karabalyk Agricultural Experimental Station (AES), Aktobe AES (Kazakhstan), Altai Scientific Center of Agrobiotechnologies and Omsk Agricultural Research Center (Russia). The results showed that spring bread wheat in Kazakhstan conditions demonstrates higher yield than durum (by 7–21 %), even though durum wheat forms taller plants and has a larger 1000 grain weight. In Western Siberia (Altai Territory), durum wheat outperformed bread wheat in yield by 8.6 %. A strong positive correlation was established between yield and plant height, 1000 grain weight in both wheat species. Higher sensitivity of spring bread wheat to elevated air temperatures in June and for the May–July period was revealed. The value of the study lies in a comprehensive comparative analysis of two species grown under identical conditions, which allowed identifying their specific response to environmental factors. The practical significance of the work consists in the possibility of a more informed choice of wheat species for specific agroecological conditions and the development of breeding strategies specific to each species.

Keywords: spring bread wheat, spring durum wheat, adaptation, productivity, correlation, weather conditions.

Д.Д. Алтыбаева¹, В.А. Чудинов², В.П. Шаманин³, Т.В. Савин⁴,
И.А. Белан⁵, Н.И. Коробейников⁶, М. Розова⁶, В.И. Цыганков⁷,
В.С. Юсов⁵, А.И. Моргунов^{1*}

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

²Қарабалық ауыл шаруашылығы кәсіпорны, Қостанай облысы, Қазақстан

³Столыпин атындағы Омбы мемлекеттік аграрлық университеті, Омбы, Ресей

⁴Астық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығы, Шортанды, Ақмола облысы, Қазақстан

⁵Омбы аграрлық ғылыми-зерттеу орталығы, Омбы, Ресей

⁶Алтай агробиотехнология ғылыми орталығы, Барнауыл, Ресей

⁷Ақтөбе ауыл шаруашылығы кәсіпорны, Ақтөбе, Қазақстан

*e-mail: alexey.morgounov@gmail.com

Қазақстан мен Ресейдегі жағдайларға байланысты жаздық жұмсақ және қатты бидайдың бейімделуі мен өнімділігі

Зерттеу Қазақстан мен Ресейдің агроэкологиялық жағдайларында жаздық жұмсақ (*Triticum aestivum* L.) және қатты (*Triticum durum* Desf.) бидайдың бейімделуі мен өнімділігін салыстырмалы талдауға арналған. Жұмыстың мақсаты селекция мен өндіріс тиімділігін арттыру үшін өсірудің негізгі аймақтарындағы жағдайларға реакциясы бойынша осы дақылдар арасындағы айырмашылықтарды анықтау болды. Жұмыстың ғылыми-практикалық маңызы әрбір бидайдың түрінің бейімделуінің ерекшеліктерін анықтауда, бұл оларды егіс айналымында орналастыруға және сорттық технологияларды әзірлеуге неғұрлым негізделген көзқарасты қалыптастыруға мүмкіндік береді. Зерттеу әдістемесі төрт ғылыми мекемеде жаздық бидайды жақсарту бойынша Қазақстан-Сібір желісінің (КАСИБ) көпжылдық (2005–2024 жж.) далалық тәжірибелерінің нәтижелерін талдауға негізделген: Қарабалық ауыл шаруашылығы станциясы, Ақтөбе ауыл шаруашылығы

станциясы (Қазақстан), Алтай агробиотехнологиялар ғылыми орталығы және Омбы аграрлық ғылыми орталығы (Ресей). Зерттеу нәтижесінде, жаздық жұмсақ бидай Қазақстан жағдайында қатты бидайға қарағанда жоғары өнімділікті (7–21%-ға) көрсетті, соған қарамастан қатты бидайдың биіктігі жоғарырақ және 1000 дәннің салмағы үлкенірек болды. Батыс Сібір жағдайында (Алтай өңірі) қатты бидай өнімділігі бойынша жұмсақ биайдан қарағанда 8,6%-ға асып түсті. Екі бидай түрінде де өнімділік пен өсімдіктің биіктігі, 1000 дән салмағы арасында жоғары оң корреляция анықталды. Маусым айында және мамыр–шілде кезеңінде ауа температурасының жоғарылауына жаздық жұмсақ бидайдың сезімталдығы жоғары екендігі анықталды. Зерттеудің құндылығы екі түрлі бидайдың, бірдей жағдайда өсірілу арқылы олардың қоршаған орта факторларына тән реакциясын анықтауға мүмкіндік берген кешенді салыстырмалы талдауында. Жұмыстың практикалық маңызы – нақты агроэкологиялық жағдайлар үшін бидай түрін неғұрлым негізді таңдау мүмкіндігі және әр түрге тән селекция стратегияларын әзірлеу.

Түйін сөздер: жаздық жұмсақ бидай, жаздық қатты бидай, бейімделу, өнімділік, корреляция, метеожағдайлар.

Введение

Пшеница является ценной и экономически важной зерновой культурой в мире, многие страны культивируют ее и занимаются селекцией для получения адаптированных и урожайных сортов. В наши дни в основном выращивают два вида пшеницы: яровая мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.), которая используется для хлеба, и яровая твердая пшеница (*Triticum durum* Desf.), применяемая для приготовления макаронных изделий. В Казахстане яровая пшеница возделывается в основном в Северном регионе. Площадь яровой мягкой пшеницы составляет 12 млн га, а площадь яровой твердой пшеницы около 0.5 млн га. В Казахстане ученые ведут селекцию мягкой яровой пшеницы и твердой пшеницы в Казахском НИИ растениеводства и земледелия (Алматы), НПЦ зернового хозяйства им. А.И. Бараева (Ақмолинская область), Карабалыкской СХОС (Қостанайская область) и Ақтүбінской СХОС (г. Ақтобе). В России площадь яровой мягкой пшеницы более 12 млн га и твердой – более 1 млн га. В селекцию данных культур вовлечены множество государственных научных учреждений, университетов и частных компаний.

Пшеница (*Triticum*) берет свое начало более 10 000 лет назад в междуречье рек Тигр и Евфрат на территории Турции, а также в регионах Ближнего востока, включая западный Иран, Ирак и Сирию. Одомашненные пшеницы прошли долгий этап эволюции и развития, вместе с миграцией людей. Это способствовало дополнительной естественной гибридизации тетраплоидных форм с *Aegilops tauschii* (геном DD) и появлению гексаплоидной мягкой яровой пшеницы (*T.aestivum* L.ssp.*aestivum*, геном AABBDD) [1]. В результате яровые твердые сорта пшеницы и

мягкие яровые пшеницы имеют общие геномы А и В и долгую эволюционную историю [2,3]. Сортовая пшеница формировалась в результате отбора с учетом потребностей человека и адаптации к различным условиям окружающей среды [4].

Твердая (тетраплоидная) и мягкая (гексаплоидная) пшеницы представляют два близкородственных вида с потенциально разными адаптационными способностями и лишь несколькими отличающимися технологическими свойствами, которые делают твердую крупу и пшеничную муку более подходящими для производства макаронных изделий или хлеба и хлебобулочных изделий, соответственно [3,5]. Пшеница является энергетически ценным продуктом для организма человека, что подтверждается химическим составом зерна. В его состав входят белки (12–15% с колебаниями от 10 до 24%), углеводы (70%), жир (2%), клетчатка (2%), а также пигменты, витамины, ферменты и различные минеральные вещества. Усвояемость белков пшеницы достигает 95% [6,7]. Зерно пшеницы Северного региона Казахстана и Западной Сибири имеет высокий и устойчивый спрос на международном рынке продовольственного зерна. В условиях засушливого климата данного региона продуктивная почвенная влага является одним из самых важных факторов, определяющих урожайность сельскохозяйственных культур [8].

Пшеница как род *Triticum* прошла несколько этапов полиплоидизации, что стало ключом к ее генетическому разнообразию. Современные виды пшеницы имеют различные уровни пloidности: от диплоидных (2n) до тетраплоидных (4n) и гексаплоидных (6n) форм. Причиной такого разнообразия видов является эволюционный процесс, который на самом деле является очень сложным и длительным, начавшимся в доисторическом каменном веке [9].

Первые селекционные сорта, получившие широкое распространение, были раннеспелыми или среднеранними. Начиная с 1960-х годов преобладающим становится среднеспелый биотип. Диапазон продолжительности вегетационного периода в рамках экологической группы современных сортов, относящихся к среднеспелому биотипу, невелик [10]. Для селекции на адаптивность твердой пшеницы немаловажное значение имеют засухоустойчивые генотипы, которые характеризуются широкой нормой реакции и формируют высокий урожай в более благоприятных условиях. Их использование в гибридизации позволит создать пластичные сорта со стабильной урожайностью [11]. Дефицит влаги в почве приводит к снижению показателей газообмена, площади, сухого веса, фотосинтетических пигментов флагового листа у генотипов яровой твердой и яровой мягкой пшеницы [12]. Селекция способствовала адаптации корневых признаков к местным почвенно-климатическим условиям. Это может быть использовано, например, для определения местного идеотипа, адаптированного к будущим климатическим условиям [13]. Этим занимаются селекционеры пшеницы, которые при отборе сортов обращают внимание на показатель массы зерна с растения, учитываемый для подсчета зерна при определении показателя массы 1000 зерен [7,14].

Из-за засухи, глобального потепления, заморозков и инфекционных болезней урожайность и адаптивность пшеницы снижаются. Таким образом, селекционеры пытаются найти более подходящие сорта для изменяющихся условий. Эффективность селекции повышается за счет применения молекулярных маркеров, более целенаправленного использования физиологических признаков формирования урожая, генетики растений, биостатистики и биоинформатики [15]. Селекция яровой мягкой пшеницы и яровой твердой пшеницы различается. Это зависит от их места возделывания, географических особенностей выращивания, исходного материала. Негативное влияние на сорта оказывают грибные и бактериальные заболевания [16]. В некоторых случаях селекционеры используют диких сородичей пшеницы. Однако использование диких форм для улучшения урожая приводит к появлению значительного количества чужеродной ДНК в геноме сортов пшеницы [4]. Важно учитывать, что нельзя создать универсальный сорт, который с одинаковой эффективностью использует ресурсы среды и, прежде всего, запасы про-

дуктивной влаги, как в годы с обилием весенних осадков, так и в годы с летними осадками, различным их сочетанием, фонами температур и засухами. Это связано с тем, что скорость развития растений контролируется генетическими системами, которые реагируют с условиями среды таким образом, что ранги сортов при значительном колебании погоды практически не меняются [10].

Данное исследование основано на экспериментах, проведенных в четырех научных учреждениях-участниках Казахстанско-Сибирской сети по улучшению яровой пшеницы (КАСИБ). Карабалыкская сельскохозяйственная опытная станция (СХОС), основанная в 1929 году, является одним из старейших научных учреждений Казахстана. Станция специализируется на создании сортов, адаптированных к условиям Северного Казахстана. Актюбинская сельскохозяйственная опытная станция была основана в 1957 году. Станция занимается в основном селекцией сортов, адаптированных к засушливым условиям Западного Казахстана. Алтайский научный центр агробиотехнологии (НЦА) берет начало с XIX века и после нескольких реорганизаций получил нынешнее название в 2016 году. В Алтайском научном центре агробиотехнологий (НЦА) занимаются селекцией сортов и изучением таких культур как яровая мягкая пшеница, яровая твердая пшеница, озимая пшеница и овес. Омский аграрный научный центр (АНЦ) ведет свою историю с начала XIX века и был образован в нынешнем виде в 2018 году. В научном центре занимаются селекцией яровой твердой пшеницы, яровой мягкой пшеницы, селекцией озимых культур, качеством зерна, биохимией и биотехнологией растений.

Материалы и методы исследования

Основная научная гипотеза настоящего исследования заключалась в том, что яровая мягкая и твердая пшеницы имеют различную адаптацию к условиям возделывания в регионе Северного Казахстана и Западной Сибири, которая проявляется в различной продуктивности, что следует учитывать при размещении этих двух культур в производстве, а также при разработке и реализации стратегии селекции для региона.

Исследования проводились в рамках Казахстанско-Сибирской сети по улучшению яровой пшеницы, в которой участвуют 15-18 научных и селекционных учреждений. Тем не менее, для

проведения данного анализа были выбраны четыре учреждения, которые имеют длительный период участия в программе с момента ее основания по яровой мягкой и твердой пшенице. В данный анализ включены результаты полевых опытов двух учреждений Казахстана: Карабалыкская и Актюбинская СХОС и двух учреждений России: Алтайский научный центр агробιοтехнологий и Омский аграрный научный центр (Таблица 1). Они расположены в Евразийской полосе возделывания яровой пшеницы от Поволжья до Западной Сибири, включая западный и северный Казахстан, и расстояние между Актюбе и Барнаулом превышает 2000 км. Все четыре селекционных пункта расположены в разных агроклиматических зонах и существенно различаются по природным и климатическим ресурсам, а также по системе земледелия.

Материалом для исследований послужили результаты сортоиспытания сети КАСИБ по яровой мягкой и твердой пшенице, проведенного в

четырёх научных учреждениях в 2005-2024 годах. В каждом сортоиспытании по мягкой пшенице изучалось от 44 до 55 образцов, по твердой пшенице – от 20 до 30 образцов. Каждые два года состав сортоиспытания КАСИБ менялся за исключением долговременных стандартов. Сортоиспытания КАСИБ проводились на делянках площадью 3-5 м² в 2-3-кратной повторности в зависимости от пункта проведения опыта. Агротехника проведения опытов следовала местным рекомендованным практикам: посев после черного пара в оптимальные сроки, защита растений от сорняков. Удобрения и средства защиты от болезней не применялись. В период вегетации проводились наблюдения и оценка материала по признакам адаптации (высота растений, число дней от всходов до колошения и от колошения до созревания) согласно методике СИММИТ [17]. По достижении спелости все делянки убирались для учета урожайности с последующим определением массы 1000 зерен.

Таблица 1 – Характеристика условий пунктов проведения опытов КАСИБ

Научное учреждение	Местонахождение	Географические координаты	Число лет исследований	Среднегодовая температура, °С*	Среднегодовое количество осадков, мм*
Карабалыкская СХОС	п. Карабалык, Костанайская обл., РК	53.850809N 62.126478E	18	4.3	385
Актюбинская СХОС	г. Актюбе, РК	50.290666N 57.558675E	20	6.2	326
Алтайский научный центр агробιοтехнологий	г. Барнаул, РФ	53.413739N 83.493739E	20	2.9	445
Омский аграрный научный центр	г. Омск, РФ	55.053115N 73.360883E	20	1.8	418

* – средние за 2005–24 г.

Результаты каждого сортоиспытания заносились в таблицу Excel и определялись средние значения сортоиспытания по всем изучаемым образцам отдельно по мягкой и по твердой пшенице. Обычно сортоиспытания КАСИБ по этим двум культурам размещаются недалеко друг от друга в одном поле, и сравнение продуктивности и признаков адаптации между опытами мягкой и твердой пшеницы вполне обосновано. В некоторых случаях опыты проводились только по одной культуре – в этом случае данные для анализа не использовались. Таким образом, всего было

использовано 78 сортоиспытаний КАСИБ, в которых одновременно изучались образцы мягкой и твердой пшеницы, позволяя провести адекватное сравнение двух культур.

Метеоданные (температура воздуха и осадки по месяцам) в годы проведения опытов были получены из соответствующих научных учреждений на основе данных местных метеостанций.

Статистический анализ проводился путем расчета средних и их ошибок, коэффициентов корреляции в программе Excel.

Результаты исследования и их обсуждение

Характеристика погодных условий пунктов селекции

Самая высокая среднегодовая температура составила 6,2°C в Актюбинской СХОС, а самая низкая зафиксирована в Омском аграрном научном центре – 1,8°C (Таблица 1). В Карабалыкской СХОС среднегодовая температура составила 4,3°C, а в Алтайском научном центре агробиотехнологий – 2,9°C. Среднегодовое количество осадков в Алтайском научном центре агробиотехнологий оказалось самым высоким – 445 мм, а в Актюбинской СХОС зафиксировано самое низкое среднегодовое количество осадков – 326 мм. Среднегодовое количество осадков в Карабалыкской СХОС составило 385 мм, а в Омском аграрном научном центре – 418 мм.

Таким образом, на Актюбинской СХОС наблюдается самая высокая среднегодовая температура и самое низкое среднегодовое количество осадков. Чем выше среднегодовая температура и чем ниже осадки, тем суше почва, что отрицательно влияет на урожайность. Чем ниже среднегодовая температура, тем выше среднегодовое количество осадков и, соответственно, урожайность, что показано в Омском АНЦ и в Алтайском НЦА. В Карабалыкской СХОС на-

блюдались относительно средние показатели среднегодовой температуры и количества осадков по сравнению с другими научными учреждениями.

Урожайность и агрономические признаки в пунктах селекции в 2005–2024 гг.

Средние значения за все годы наблюдений по урожайности и другим признакам приведены в Таблице 2. В Алтайском НЦА была самая высокая урожайность – 3823 кг/га, а самая низкая на Актюбинской СХОС составила 1058 кг/га. В Омском АНЦ среднее значение высоты растений за 20 лет наблюдений составило 99,1 см, что является самым высоким показателем среди четырех пунктов. Самая низкая высота растений – 55,2 см, наблюдалась в Актюбинской СХОС. Также в Актюбинской СХОС зафиксирован самый длинный период всходы-колошение яровой твердой пшеницы – 44,4 дня, и минимальный период всходы-колошение яровой мягкой пшеницы – 41,4 дня. Самый длинный период от колошения до созревания – 46,1 дня, наблюдался в Омском АНЦ, а самый короткий – 36 дней в Актюбинской СХОС. По массе 1000 зерен Алтайский НЦА показал самое высокое среднее значение – 44 г, а Актюбинская СХОС – самое низкое – 31 г.

Таблица 2 – Средние значения агрономических признаков яровой мягкой и твердой пшеницы в четырех селекционных программах за 2005–2024 гг.

Научное учреждение	Культура	Высота растений, см	Число дней всходы-колошение	Число дней колошение-созревание	Масса 1000 зерен, г	Урожайность, кг/га
Карабалыкская СХОС	ЯМП	82.9±2.1 ^{b*}	41.5±0.5	38.6±1.2 ^a	33.6±0.9 ^b	2759±297
	ЯТП	88.6±3.2 ^a	41.7±0.6	42.8±1.6 ^b	39.1±1.0 ^a	2559±325
Актюбинская СХОС	ЯМП	55.2±2.0 ^b	41.4±0.5 ^a	36.0±0.7	31.0±0.6 ^b	1339±128 ^b
	ЯТП	60.0±2.3 ^a	44.4±0.6 ^b	37.0±0.7	34.9±0.8 ^a	1058±114 ^b
Алтайский НЦА	ЯМП	91.8±3.2	43.3±0.7	40.3±0.7	35.5±0.5 ^b	3492±231
	ЯТП	87.8±2.5	44.0±0.6	39.5±0.9	44.0±0.7 ^a	3823±243
Омский АНЦ	ЯМП	99.1±2.4 ^a	43.5±0.5 ^a	44.4±0.8	35.0±0.8 ^b	2997±230
	ЯТП	88.9±2.1 ^b	42.3±0.5 ^b	46.1±0.9	40.3±0.7 ^a	2985±245
Все пункты	ЯМП	82.2±2.5	42.4±0.4	39.8±0.7	33.7±0.5 ^a	2646±144
	ЯТП	81.3±2.1	43.1±0.4	41.3±0.9	39.6±0.7 ^b	2616±165

* – средние значения по ЯМП и ЯТП в каждом пункте селекции и по всем пунктам, обозначенные разными буквами, достоверно различаются при уровне вероятности более 95%.

На Карабалыкской СХОС у яровой мягкой пшеницы урожайность была 2759 кг/га, что выше, чем у яровой твердой пшеницы на 7,8%, хотя разница была не достоверной. Разница по высоте растений имела положительную достоверность в пользу твердой пшеницы и составляла 5,7 см. Достоверное различие также отмечено по периоду колошения – созревание, у ЯТП этот период составил 42,8 дней в сравнении с 38,6 дней у ЯМП. По массе 1000 зерен твердая пшеница достоверно превысила мягкую на 16,3%. Таким образом, на Карабалыкской СХОС у яровой твердой пшеницы ушло больше дней на период от всходов до колошения и от колошения до созревания, чем у мягкой яровой пшеницы, растения были более высокими, но урожайность оказалась немного ниже, чем у мягкой яровой пшеницы.

На Актюбинской СХОС у яровой мягкой пшеницы урожайность составила 1339 кг/га, в сравнении с 1058 кг/га у яровой твердой пшеницы, что достоверно меньше на 21%. У яровой твердой пшеницы высота растений составила 60,0 см, а у яровой мягкой пшеницы – 55,2 см, разница между ними составляет 4,8 см и имеет достоверную зависимость. Разница в числе дней от всходов до колошения у яровой мягкой и яровой твердой пшеницы достоверна и составила 3 дня. Масса 1000 зерен у яровой твердой пшеницы – 34,9 г, а у мягкой яровой пшеницы – 31,0 г, что достоверно выше на 11,2%. Следовательно, в Актюбинской СХОС у яровой твердой пшеницы среднее значение высоты растений, числа дней от всходов до колошения и массы 1000 зерен оказались достоверно выше, чем у яровой мягкой пшеницы. При этом урожайность у яровой твердой пшеницы была ниже, чем у мягкой яровой пшеницы.

В Алтайском НЦА урожайность яровой мягкой пшеницы была ниже на 8,6% и составила 3492 кг/га, а урожайность яровой твердой пшеницы – 3823 кг/га. Тем не менее разница по урожайности недостоверна. Достоверным оказалась разница только по массе 1000 зерен, которая составила 8,5 г или 19,3% в пользу твердой пшеницы.

В Омском АНЦ разница урожайности яровой мягкой и твердой пшеницы незначительна. Высота растений яровой мягкой пшеницы составила 99,1 см, что достоверно выше на 10,3% в сравнении с яровой твердой пшеницей. Число

дней от всходов до колошения яровой твердой пшеницы составляет 46,1 дня, а у яровой мягкой пшеницы – 44,4 дня и показывает достоверную разницу. Масса 1000 зерен у яровой твердой пшеницы была достоверно больше на 13,2%, чем у яровой мягкой пшеницы. Она составила 40,3 г у яровой твердой пшеницы и 35,0 г у яровой мягкой пшеницы. Таким образом, в Омском АНЦ яровая мягкая пшеница выше, ей потребовалось больше дней на период от всходов до колошения и меньше дней на период от колошения до созревания, чем у яровой твердой пшеницы. Но урожайность двух культур одинакова.

Сходные исследования по сравнению урожайности и адаптивности яровой мягкой и твердой пшеницы проводились в Тюмени в 2015-2018 гг [18]. Авторы сравнивали урожайность пяти среднеранних, пяти среднеспелых сортов яровой мягкой пшеницы и пяти сортов твердой пшеницы. Самую высокую среднюю урожайность продемонстрировала твердая пшеница (3,26 т/га), затем среднеспелая мягкая (2,79 т/га) и среднеранняя (2,74 т/га). То есть аналогично данному исследованию, в более влажном регионе Тюмени преимущество имела твердая пшеница.

Зависимость урожайности от агрономических признаков

Корреляционная зависимость урожайности и агрономических признаков яровой мягкой пшеницы и яровой твердой пшеницы в научных учреждениях представлена в Таблице 3. В Карабалыкской СХОС корреляция урожайности и высоты растений имеет положительную достоверную зависимость. Этот показатель у яровой мягкой пшеницы был выше (0,76), чем у яровой твердой пшеницы (0,63). У яровой твердой пшеницы также отмечена более высокая положительная достоверная зависимость урожайности от числа дней от колошения до созревания и от массы 1000 зерен.

На Актюбинской СХОС коэффициент корреляции между урожайностью и высотой растений, а также массой 1000 зерен у яровой мягкой пшеницы выше, чем у яровой твердой пшеницы. Негативная достоверная зависимость урожайности с числом дней всходы-колошение отмечена у яровой твердой пшеницы со значением -0,65, в то время как у мягкой эта зависимость была не достоверной.

Таблица 3 – Корреляционная зависимость урожайности и агрономических признаков яровой мягкой и твердой пшеницы в четырех селекционных программах за 2005–2024 гг.

Научное учреждение	Культура	Коэффициенты корреляции урожайности с агрономическими признаками:			
		Высота растений, см	Число дней всходы-колошение	Число дней колошение-созревание	Масса 1000 зерен, г
Карабалыкская СХОС	ЯМП	0,76***	0,59**	0,55*	0,71***
	ЯТП	0,63**	0,50*	0,67**	0,55*
Актюбинская СХОС	ЯМП	0,71***	-0,35	-0,06	0,68***
	ЯТП	0,48*	-0,65**	-0,02	0,44*
Алтайский НЦА	ЯМП	0,65**	0,40	0,26	0,73***
	ЯТП	0,83***	-0,12	0,29	0,87***
Омский АНЦ	ЯМП	0,42	0,06	0,04	0,59**
	ЯТП	0,78***	0,13	0,29	0,60**
Все пункты	ЯМП	0,79***	0,46***	0,50***	0,68***
	ЯТП	0,74***	-0,07	0,40***	0,71***

*, **, *** – коэффициенты корреляции достоверно значимы при вероятности 95%, 99% и 99,9%, соответственно.

В Алтайском НЦА коэффициент корреляция урожайности с массой 1000 зерен у яровой мягкой пшеницы был 0,73, а у яровой твердой пшеницы 0,87, демонстрируя в обоих случаях высокую достоверную зависимость. Высота растений у яровой мягкой пшеницы показала положительную достоверную зависимость 0,65, а у яровой твердой пшеницы – 0,83. Корреляция урожайности и числа дней от всходов до колошения и от колошения до созревания у обеих пшениц была недостоверной.

В Омском АНЦ коэффициент корреляции между урожайностью и высотой растений у яровой твердой пшеницы показал более высокий достоверный результат (0,78), чем у яровой мягкой пшеницы (0,42). Корреляция урожайности с массой 1000 зерен была достоверной и практически равной у обеих пшениц: у яровой твердой пшеницы составила 0,60, а у яровой мягкой пшеницы – 0,59. Корреляция урожайности с периодами вегетации пшеницы была недостоверной.

Таким образом, урожайность яровой пшеницы практически во всех точках имела положительную зависимость с высотой растений. Тем не менее, в Карабалыке и Актобе эта зависимость была выше у мягкой пшеницы, а в Барнауле и Омске – у твердой пшеницы. Соответственно, в селекционном процессе следует отдавать предпочтение более высокорослым образцам, хотя селекция на короткостебельность остается актуальной. Масса 1000 зерен повсеместно и у обоих видов пшеницы оказывала положитель-

ный и достоверный эффект на урожайность, что следует учитывать при отборе. Эта зависимость была существенно выше у мягкой пшеницы в Карабалыке и Актобе. Длительность периода всходы-колошение и колошение-созревание имела положительный достоверный эффект на урожайность только в условиях Карабалыкской СХОС. У твердой пшеницы в условиях Актобе наблюдалась негативная связь урожайности и числа дней всходы-колошение. Расчеты по средним всех четырех пунктов показали достоверную среднюю зависимость урожайности и периода колошение-созревание у обеих пшениц, а зависимость с периодом всходы-колошение – только у мягкой пшеницы.

Зависимость урожайности яровой пшеницы от метеоусловий

Корреляционная зависимость урожайности яровой мягкой и твердой пшеницы от погодных условий в научных учреждениях представлена в Таблице 4. В процессе анализа данных нами были рассчитаны коэффициенты корреляции между урожайностью в каждом пункте и в каждый год оценки и соответствующими погодными данными в период вегетации: среднемесячной температурой воздуха и количеством осадков, а также этими показателями за период вегетации. В Карабалыкской СХОС урожайность имела достоверную негативную зависимость от средней температуры воздуха в мае-июле, причем эта зависимость была выше у мягкой пшеницы (-0,55) в

сравнении с твердой (-0,45). По осадкам достоверная положительная корреляция была обнаружена только в июле у яровой мягкой пшеницы (0,51). Все остальные корреляции были недостоверны.

На Актюбинской СХОС достоверная негативная корреляция обнаружена между урожай-

ностью и температурой воздуха в июне и за период май-июль. Причем эта зависимость была выше у мягкой пшеницы в сравнении с твердой. Достоверная корреляция урожайности с осадками наблюдалась только за период май-август, причем практически равная у двух культур.

Таблица 4 – Корреляционная зависимость урожайности от температуры и осадков у яровой мягкой и твердой пшеницы в четырех селекционных программах за 2005–2024 гг.

Научное учреждение	Культура	Коэффициент корреляции между урожайностью и:					
		Температурой воздуха			Осадками		
		Июнь	Июль	Май-Июль	Июнь	Июль	Май-Август
Карабалыкская СХОС	ЯМП	-0.38	-0.25	-0.55*	0.51*	-0.07	0.13
	ЯТП	-0.30	-0.30	-0.45*	0.39	0.18	0.20
Актюбинская СХОС	ЯМП	-0.59**	-0.40	-0.67**	0.23	0.06	0.44*
	ЯТП	-0.54*	-0.36	-0.50*	0.25	0.06	0.45*
Алтайский НЦА	ЯМП	-0.48*	-0.27	-0.30	0.70***	-0.44*	0.04
	ЯТП	-0.38	-0.43	-0.29	0.63**	-0.45*	0.06
Омский АНЦ	ЯМП	-0.15	-0.20	0.05	-0.22	-0.35	-0.37
	ЯТП	-0.29	-0.07	-0.36	0.23	0.08	0.40
Все пункты	ЯМП	-0.10	-0.05	-0.14	0.49***	0.08	0.30***
	ЯТП	-0.13	-0.10	-0.08	0.54***	0.25*	0.49***

*, **, *** – коэффициенты корреляции достоверно значимы при вероятности 95%, 99% и 99,9%, соответственно.

В Алтайском НЦА только в июне наблюдалась негативная достоверная корреляция между урожайностью и температурой воздуха. В этом же месяце положительная достоверная корреляция была между урожайностью и осадками. У яровой твердой пшеницы зависимость была выше, чем у мягкой яровой пшеницы. Также достоверная негативная корреляция была в июле, причем зависимость у мягкой и твердой пшеницы была одинакова.

В Омском АНЦ достоверной корреляции между урожайностью и температурой или осадками не выявлено, тем не менее исследованиями проведены в «Омском АНЦ» в 1981–2019 гг. на яровой твердой пшенице установлено, что ее урожайность положительно связана с осадками мая и 1-й декады июля, относительной влажностью мая, июня; отрицательная связь отмечена с температурой воздуха в июне [19].

Если рассматривать все 78 сорто-опытов, достоверная зависимость между урожайностью и осадками наблюдалась в июне, в июле и за период май-август (Рис.1), за исключением июля у яровой мягкой пшеницы. Причем эта зависимость оказалась выше у яровой твердой пшеницы в сравнении с мягкой. В целом можно констатировать, что твердая пшеница более отзывчива на количество осадков в период вегетации в сравнении с мягкой.

Аналогичный анализ урожайности яровой мягкой и твердой пшеницы провели Азизов и др. [20] для условий засушливого Поволжья за период 1986-2019 годов. Оказалось, что урожайность твердой пшеницы превышает мягкую во влажные годы, равная в средние по увлажнению года и ниже мягкой в засушливые сезоны.

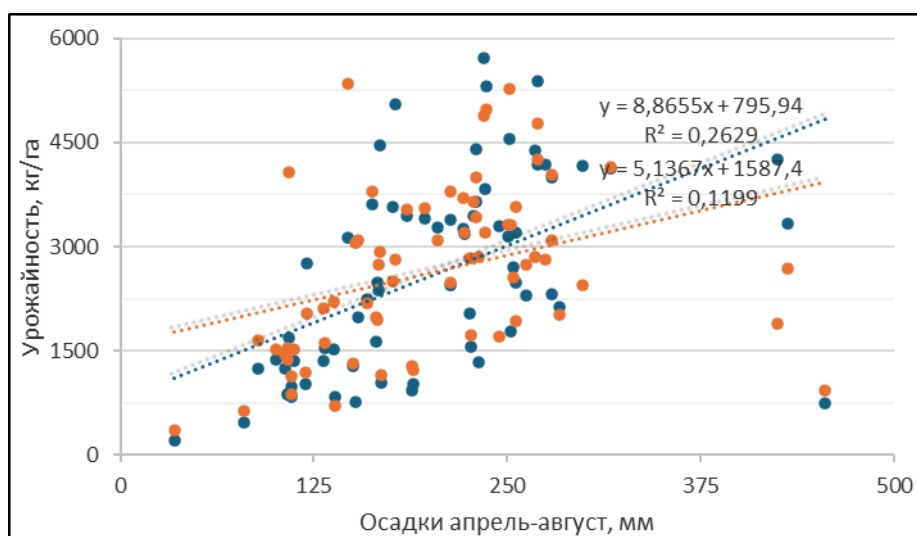


Рисунок 1 – Зависимость урожайности яровой мягкой (коричневый цвет) и твердой (синий цвет) пшеницы от осадков апреле-августе

Закключение

Проведенный нами многолетний сравнительный анализ яровой мягкой и твердой пшеницы в четырех эколого-географических пунктах Казахстана и России позволил выявить ряд важных закономерностей в адаптации и продуктивности этих культур. Установлено, что яровая мягкая пшеница превосходит твердую по урожайности в условиях Казахстана на 7-21%, что может быть связано с ее лучшей адаптацией к засушливым условиям региона благодаря наличию генома D. В более благоприятных условиях увлажнения Западной Сибири (Алтайский край) твердая пшеница, напротив, демонстрирует преимущество в урожайности (на 8,6%), что подтверждает различную реакцию этих видов пшеницы на условия выращивания.

Твердая пшеница во всех изучаемых пунктах формирует более крупное зерно – масса 1000 зерен у нее на 11-19% выше, чем у мягкой. Высота растений твердой пшеницы в Казахстане также превышает высоту мягкой на 4,8-5,7 см, в то время как в России в некоторых случаях наблюдается обратная зависимость. Это свидетельствует о неодинаковой реакции видов на почвенно-климатические и агротехнические условия выращивания.

Выявлена высокая положительная корреляция урожайности с высотой растений и массой 1000 зерен у обоих видов пшеницы во всех пунктах исследования, что подтверждает важность

этих признаков для формирования продуктивности. Продолжительность периодов вегетации также оказывает влияние на урожайность, но в меньшей степени и с различными эффектами в зависимости от региона выращивания.

Урожайность пшеницы в условиях Казахстана и Алтайского края имеет достоверную отрицательную корреляцию с температурой воздуха и положительную с осадками в июне, что подтверждает критическую важность этого периода для формирования продуктивности. Интересно отметить, что яровая мягкая пшеница проявляет большую чувствительность к температурному фактору, чем твердая. В селекции обоих видов пшеницы следует уделять внимание высоте растений и массе 1000 зерен как важным компонентам продуктивности. Для яровой твердой пшеницы необходимо акцентировать селекцию на засухоустойчивость, что позволит расширить ареал ее возделывания в регионах с недостатком влаги.

Данное исследование впервые предоставляет комплексное сравнение двух видов пшеницы в идентичных условиях и имеет большое значение для оптимизации размещения этих культур, совершенствования стратегий селекции и повышения эффективности производства зерна.

Источник финансирования

Исследования выполнены в рамках Программно-целевого финансирования Министер-

ства сельского хозяйства Республики Казахстан 2024-2026 гг по программе BR24892821 «Селекция и первичное семеноводство зерновых куль-

тур для повышения потенциала продуктивности, качества и стрессоустойчивости в различных почвенно-климатических зонах Казахстана»

References

1. Dubcovsky J., Dvorak J. Genome plasticity a key factor in the success of polyploid wheat under domestication // *Science*. – 2007. – Vol. 316. – P. 1862–1866.
2. Гончаров Н.П. Происхождение, доместикация и эволюция пшениц // Информационный вестник ВОГиС. – 2008. – Т. 12, № 1-2. – С. 159-179.
3. Mazzucotelli E., Mastrangelo A.M., Desiderio F., Barabaschi D., Maccaferri M., Tuberosa R., Cattivelli L. Gene flow between tetraploid and hexaploid wheat for breeding innovation // In: Appels R., Eversole K., Feuillet C., Gallagher, D. (eds) *The Wheat Genome*. Springer, Cham. – 2024. – P. 135-164.
4. Balfourier F., Bouchet S., Robert S., Oliveira R.D., Rimbart H., Kitt J., Paux E. Worldwide phylogeography and history of wheat genetic diversity // *Science Advances*. – 2019. – Vol. 5. – eaav0536.
5. Mastrangelo A.M., Cattivelli L. What makes bread and durum wheat different? // *Trends Plant Sci.* – 2021. – Vol. 26. – P. 7-15.
6. Сулейменов М.К. Агротехника яровой пшеницы // Алмата. – Кайнар. – 1981. 181 С.
7. Малицкая Н.В., Пучкова С.Ю., Сыздыкова Г.Т., Аленов Ж.Н., Айдарбекова Т.Ж., Рукавицина И.В., Галиуллин А.А. Урожайность и качество зерна различных сортов яровой мягкой пшеницы в условиях Акмолинской области Казахстана // *Известия ТСХА*. – 2020. – № 1. – С. 33-48.
8. Мамыкин Е.В., Назарова П.Е. Урожайность яровой мягкой пшеницы при нулевой технологии возделывания в условиях Акмолинской области // *Молодежь и наука – взгляд в будущее*. – 2022. – Т.1. – С. 152-155.
9. Adhikari L., Raupp J., Wu S., Wilson D., Evers B., Koo D.H., Poland J. Genetic characterization and curation of diploid A-genome wheat species // *Plant Physiology*. – 2022. – Vol. 188(4). – P. 2101–2114.
10. Мальчиков П.Н., Мясникова М.Г. Возможности создания сортов яровой твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.) с широкой изменчивостью параметров вегетационного периода // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. – 2015. – Т.19(2). – С.176-184.
11. Евдокимов М.Г., Юсов В.С., Моргунов А.И., Зеленский Ю.И. Засухоустойчивый генофонд твердой яровой пшеницы, идентифицированный в многолетних испытаниях питомников казахстанско-сибирской селекции пшеницы // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. – 2017. – Т. 21(5). – С.515-522.
12. Allahverdiyev T.I., Talai M., Huseynova J., Aliyev J. Effect of drought stress on some physiological parameters, yield, yield components of durum (*Triticum durum* desf.) and bread (*Triticum aestivum* L.) wheat genotypes // *Ekin Journal of Crop Breeding and Genetics*. – 2022. – Vol.1(1). – P.50-62.
13. Colombo M., Roumet P., Salon C., Jeudy C., Lamboeuf M., Lafarge S., Dumas A.V., Dubreuil P., Ngo W., Derepas B., Beauchêne K., Allard V., Le Gouis J., Rincet R. Genetic analysis of platform-phenotyped root system architecture of bread and durum wheat in relation to agronomic traits // *Front. Plant Sci.* – 2022. – Vol. 13. – 853601.
14. Fischer R.A. The importance of grain or kernel number in wheat: A reply to Sinclair and Jamieson // *Field Crops Research*. – 2008. – Vol.105(1-2). – P.15–21.
15. Мальчиков П.Н., Розова М.А., Моргунов А.И., Мясникова М.Г., Зеленский Ю.И. Величина и стабильность урожайности современного селекционного материала яровой твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.) из России и Казахстана // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. – 2018. – Т.22(8). – С.939-950.
16. Евдокимов М.Г., Юсов В.С., Кирьякова М.Н., Мешкова Л.В., Пахотина И.В., Глушаков Д.А. Перспективные генетические источники для селекции яровой твердой пшеницы в Западной Сибири // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. – 2022. – Т.26(7). – С.609-621.
17. Pask A.J.D., Pietragalla J., Mullan D.M., Reynolds M.P. Physiological breeding II: A field guide to wheat phenotyping // *CIMMYT*, Mexico City, Mexico. – 2012. – P. 135-261.
18. Сапега В.А., Турсумбекова Г.Ш. Урожайность, экологическая пластичность и стабильность сортов яровой мягкой и твердой пшеницы в южной лесостепи Тюменской области // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. – 2020. – Т.21(2). – С.114-123.
19. Евдокимов М.Г., Юсов В.С., Пахотина И.В. Зависимость урожайности и качества зерна твердой яровой пшеницы от метеорологических факторов в южной лесостепи Западной Сибири // *Зерновое хозяйство России*. – 2020. – 71(5). – С.26–31.
20. Азизов З. М., Архипов В. В., Имашев И. Г. Урожайность проса, яровой мягкой пшеницы и яровой твердой пшеницы в условиях засушливого Поволжья // *Аграрный вестник Юго-Востока*. – 2020. – № 1. – С. 11-17.

References

1. Adhikari L., Raupp J., Wu S., Wilson D., Evers B., Koo D.H., Poland J. Genetic characterization and curation of diploid A-genome wheat species. *Plant Physiology*, 2022, vol. 188, no. 4, p. 2101–2114.
2. Allahverdiyev T.I., Talai M., Huseynova J., Aliyev J. Effect of drought stress on some physiological parameters, yield, yield components of durum (*Triticum durum* desf.) and bread (*Triticum aestivum* L.) wheat genotypes. *Ekin Journal of Crop Breeding and Genetics*, 2022, vol.1, no. 1, p. 50-62.

3. Azizov Z.M., Arkhipov V.V., Imashev I.G. Productivity of millet, spring soft and durum wheat in the conditions of arid Volga Region. Agrarian newsletter of South-East, 2020, no. 1, p. 11-17.
4. Balfourier, F., Bouchet, S., Robert, S., Oliveira, R. D., Rimbart, H., Kitt, J., Paux, E. Worldwide phylogeography and history of wheat genetic diversity. Science Advances, 2019, vol. 5, no. 5, eaav0536.
5. Colombo M., Roumet P., Salon C., Jeudy C., Lamboeuf M., Lafarge S., Dumas A.V., Dubreuil P., Ngo W., Derepas B., Beauchêne K., Allard V., Le Gouis J., Rincet R. Genetic analysis of platform-phenotyped root system architecture of bread and durum wheat in relation to agronomic traits. Front. Plant Sci, 2022, vol. 13, 853601.
6. Dubcovsky J, Dvorak J (2007) Genome plasticity a key factor in the success of polyploid wheat under domestication. Science 316:1862–1866. <https://doi.org/10.1126/science.1143986> (In English)
7. Evdokimov M. G., Yusov V. S., Kiryakova M. N., Meshkova L. V., Pakhotina I. V., Glushakov D. A. Promising genetic sources for the creation of varieties of durum spring wheat in Western Siberia. Vavilov Journal of Genetics and Breeding, 2022, vol. 26, no. 7, p. 609–621.
8. Evdokimov M.G., Yusov V.S., Morgounov A.I., Zelensky, Y.I. Drought tolerance gene pool in developing adaptive varieties of durum wheat identified in study nurseries under the Kazakhstan-Siberian program. Vavilov Journal of Genetics and Breeding, 2017, vol. 21, no. 5, p. 515–522.
9. Evdokimov M. G., Yusov V. S., Pakhotina I. V. Dependence of yield and grain quality of hard spring wheat on meteorological factors in the southern forest-steppe of Western Siberia. Grain farming of Russia, 2020, vol. 71, no. 5, p. 26–31.
10. Fischer R.A. The importance of grain or kernel number in wheat: A reply to Sinclair and Jamieson. Field Crops Research, 2008, vol.105, no. 1-2, p.15–21.
11. Goncharov N.P. Wheat origin, domestication and evolution. VOGIS Newsletter, 2008, vol. 12, no. 1-2, p. 159-179.
12. Malchikov P.N., Myasnikova M.G. Approaches to the development of durum wheat cultivars (*Triticum durum* Desf.) with wide variability of the growing season. Vavilov Journal of Genetics and Breeding, 2015, vol. 19, no. 2, p. 176-184.
13. Malchikov P. N., Rozova M. A., Morgunov A. I., Myasnikova M. G., Zelensky, Y. I. Yield performance and stability of modern breeding stock of spring durum wheat (*Triticum durum* Desf.) from Russia and Kazakhstan. Vavilov Journal of Genetics and Breeding, 2018, vol. 22, no. 8, p. 939–950.
14. Malitskaya N.V., Puchkova S.Yu., Syzdykova G.T., Alenov Zh.N., Aydarbekova T.Zh., Rukavitsina I.V., Galiullin A.A. Relationship between the yield of spring soft wheat varieties and technological grain quality in the conditions of Akmola region of North Kazakhstan. Newsletter of Timiryazev Agricultural Academy, 2020, no. 1, p. 33-48.
15. Mamykin E.V., Nazarova P.E. Spring bread wheat yield under zero tillage in Akmola region. Youth and science – future perspective, 2022, vol. I, no. II, p. 152-155.
16. Mastrangelo AM, Cattivelli L What makes bread and durum wheat different? Trends Plant Sci., 2021, vol. 26, no. 7, p. 7-15.
17. Mazzucotelli E., Mastrangelo A.M., Desiderio F., Barabaschi D., Maccaferri M., Tuberosa R., Cattivelli L. Gene flow between tetraploid and hexaploid wheat for breeding innovation. In: Appels R., Eversole K., Feuillet C., Gallagher, D. (eds) The Wheat Genome. Springer, Cham, 2024, p. 135-164.
18. Pask A.J.D., Pietragalla J., Mullan D.M., Reynolds M.P. Physiological breeding II: A field guide to wheat phenotyping. CIMMYT, Mexico City, Mexico, 2012, p. 135-261.
19. Sapega V. A., Tursumbekova G. S. Yield, ecological plasticity and stability of varieties of spring soft and durum wheat in the southern forest steppe of the Tyumen region. Agricultural Science Euro-North-East, 2020, vol. 21, no. 2, p. 114-123.
20. Suleymenov M.K. Agrotechnology of growing of spring wheat. Alma-Ata, Kajnar, 1981, 181 p.

Сведения об авторах:

Алтыбаева Дина Доненбаевна – магистрант кафедры биоразнообразия КазНУ им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: dina.altymbayeva@gmail.com).

Чудинов Владимир Анатольевич – руководитель отдела селекции Карабалыкской СХОС (Костанайская область, Казахстан, e-mail: ch.den@mail.ru).

Шаманин Владимир Петрович – доктор с.-х. наук, профессор кафедры агрономии, селекции и семеноводства, директор Международного селекционно-генетического центра Омского ГАУ (Омск, Россия, e-mail: vp.shamanin@omgau.org).

Савин Тимур Владимирович – кандидат биологических наук, руководитель программы НИЦ зернового хозяйства им. А.И. Бараева (п. Шортанды, Акмолинская обл., Казахстан, e-mail: savintimur_83@mail.ru).

Белан Игорь Александрович – кандидат с.-х. наук, заведующий лабораторией селекции яровой мягкой пшеницы ФГБНУ «Омский АНЦ» (Омск, Россия, e-mail: belan_skg@mail.ru).

Коробейников Николай Иванович – кандидат биологических наук, руководитель Алтайского селекцентра и лаборатории селекции яровой мягкой пшеницы Алтайского научного центра агробиотехнологий (Барнаул, Научный городок, Россия, e-mail: korobeinikovni@mail.ru).

Розова Маргарита Анатольевна – кандидат с.-х. наук, заведующая лабораторией селекции яровой твердой пшеницы Алтайского научного центра агробиотехнологий (Барнаул, Научный городок, Россия, e-mail: mrosova@yandex.ru).

Цыганков Владимир Игоревич – кандидат с.-х. наук, член-корр. НААН РК, зав. отделом селекции и первичного семеноводства, ТОО «Актюбинская с.-х. опытная станция» (Актобе, Казахстан, e-mail: zigan60@mail.ru).

Юсов Вадим Станиславович – доктор сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией селекции яровой твердой пшеницы, ФГБНУ «Омский АНЦ» (Омск, Россия, e-mail: yusov@anc55.ru).

Моргунов Алексей Иванович (корреспондентный автор) – кандидат с.-х. наук, преподаватель кафедры ботаники КазНУ им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: alexey.morgounov@gmail.com).

Information about the authors:

Altybaeva Dina Donenbaevna – Master's Degree Student of the Department of Biodiversity, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: dina.altybayeva@gmail.com)

Chudinov Vladimir Anatolyevich – Head of the Breeding Department of the Karabalyk Agricultural Experimental Station (Kostanay region, Kazakhstan, e-mail: ch.den@mail.ru).

Vladimir P. Shamanin – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Agronomy, Breeding and Seed Production, Director of the International Breeding and Genetic Center of the Omsk State Agrarian University (Omsk, Russia, e-mail: vp.shamanin@omgau.org).

Savin Timur Vladimirovich – Candidate of Biological Sciences, Program Manager of the Scientific and Practical Center of Grain Farming named after A.I. Barayev (Shortandy village, Akmola region, Kazakhstan, e-mail: savintimur_83@mail.ru).

Igor A. Belan – Ph.D. in Agriculture, Head of the Laboratory of Spring Bread Wheat Breeding (Omsk ASC, Omsk, Russia, e-mail: belan_skg@mail.ru).

Korobeynikov Nikolay Ivanovich – Candidate of Biological Sciences, Head of the Altai Breeding Center and the Laboratory of Spring Bread Wheat Breeding of the Altai Scientific Center of Agrobiotechnology (Barnaul, Scientific City, Russia, e-mail: korobeynikovni@mail.ru).

Rozova Margarita Anatolyevna – Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory of Spring Durum Wheat Breeding of the Altai Scientific Center of Agrobiotechnology (Barnaul, Scientific City, Russia, e-mail: mrosova@yandex.ru).

Tsygankov Vladimir Igorevich – Candidate of Agricultural Sciences, Corresponding Member. NAAS of the Republic of Kazakhstan, Head of the Department of Breeding and Primary Seed Production, Aktobe Agricultural Experimental Station (Aktobe, Kazakhstan, e-mail: zigan60@mail.ru).

Yusov Vadim Stanislavovich – Doctor of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory of Spring Durum Wheat Breeding (Omsk ASC, Omsk, Russia, e-mail: yusov@anc55.ru)

Morgunov Alexey Ivanovich (corresponding author) – Candidate of Agricultural Sciences, Lecturer of the Department of Botany, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: alexey.morgounov@gmail.com).

Авторлар туралы мәлімет:

Альтыбаева Дина Доненбаевна – Аль-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің биоалуантүрлік кафедрасының магистранты (Алматы, Қазақстан, e-mail: dina.altybayeva@gmail.com).

Чудинов Владимир Анатольевич – Қазақстандағы Қарабалық ауыл шаруашылығы кәсіпорнының селекция бөлімінің басшысы (e-mail: ch.den@mail.ru).

Владимир П. Шаманин – ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, агрономия, селекция және тұқым өндірісі кафедрасының профессоры, Омск мемлекеттік аграрлық университетінің Халықаралық селекция және генетика орталығының директоры (Омск, Ресей, e-mail: vp.shamanin@omgau.org.).

Савин Тимур Владимирович – биологиялық ғылымдар кандидаты, А.И. Бараев атындағы Астық шаруашылығы ғылыми-практикалық орталығының бағдарлама менеджері (Қысқанды ауылы, Ақмола облысы, Қазақстан, e-mail: savintimur_83@mail.ru).

Игорь А. Белан, ауыл шаруашылығы бойынша Ph.D., Омск АСК, Омск АСК, Көктемгі жұмсақ бидай селекциясы зертханасының меңгерушісі (Омск, Ресей, e-mail: belan_skg@mail.ru).

Колобейников Николай Иванович, биология ғылымдарының кандидаты, Алтай селекция орталығының және көктемгі жұмсақ бидай селекциясы зертханасының меңгерушісі (Барнаул, Ғылыми қала, Ресей, e-mail: korobeynikovni@mail.ru).

Розова Маргарита Анатольевна, ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, Алтай агробиотехнология ғылыми орталығының көктемгі қатты бидай селекциясы зертханасының меңгерушісі (Барнаул, Ғылыми қала, Ресей, e-mail: mrosova@yandex.ru).

Цыганков Владимир Игоревич, ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, Қазақстан Республикасы ҰАҒ-ның корреспондент-мүшесі, Aktobe Agricultural Production ЖШС-ның Селекция және бастапқы тұқым өндірісі бөлімінің басшысы (Тәжірибелік станция, Ақтөбе, Қазақстан; e-mail: zigan60@mail.ru).

Юсов Вадим Станиславович, ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, көктемгі қатты бидай селекциясы зертханасының меңгерушісі (Омск АСК, Омск, Ресей, электрондық пошта: yusov@anc55.ru).

Моргунов Алексей Иванович (корреспондент автор), ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, ботаника кафедрасының оқытушысы, Әл-Фараби Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан, e-mail: alexey.morgounov@gmail.com).

Поступило 1 мая 2025 года
Принято 20 ноября 2025 года

4-бөлім
БИОТЕХНОЛОГИЯ

Section 4
BIOTECHNOLOGY

Раздел 4
БИОТЕХНОЛОГИЯ

FTAMP 34.39.15; 60.13.23

<https://doi.org/10.26577/bb20251057>

И.С. Савицкая¹, Д.Х. Шокатаева¹, И.И. Абашидзе^{2*},
А.Б. Талипова¹, С.Д. Жантлессова¹, Ж. Хамитқызы¹

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

²«AMD клиникасы» ЖШС, Алматы, Қазақстан

*e-mail: inara_abashidze@mail.ru

БАКТЕРИЯЛЫҚ ЦЕЛЛЮЛОЗА НЕГІЗІНДЕГІ НАНОҚҰРЫЛЫМДЫ БИОМАТЕРИАЛДЫ СТЕРИЛДЕУ ӘДІСІН ТАҢДАУ

Бактериялық целлюлоза (БЦ), гидроксипатит (ГАП) және МХене негізіндегі нанокөпозиттер биосәйкестік, механикалық тұрақтылық, электрөткізгіштік және ИҚ-сәулені қарқынды сіңіру қабілетінің үйлесіміне байланысты регенеративті медицина мен фототермикалық технологиялар үшін перспективалы биоматериалдар класына жатады. Алайда МХене компонентінің және целлюлозалық матрицаның физика-химиялық әсерлерге жоғары сезімталдығы олардың негізгі функционалдық қасиеттерін жоғалтпай стерильдеуге мүмкіндік беретін әдісті мұқият таңдауды талап етеді.

Осы жұмыста БЦ/ГАП/МХене нанокөпозитіне қатысты тоғыз стерильдеу әдісінің – автоклавтау, құрғақ ауада қыздыру, этиленоксидпен өңдеу, үсәулендіру, электрондық шоқпен (E-beam) сәулендіру, Ультракүлгін сәуле, озондау, аса критикалық CO₂ және суық плазма – салыстырмалы зерттеуі жүргізілді. Үлгілердің стерильдігін қоректік орталарға тікелей егу әдісімен анықтап, микроб өсуінің болуына қарай стерилизация тиімділігі есептелді. Толық стерильдік ультракүлгін сәулені қоспағанда (50 %) және аса критикалық CO₂ өңдеуді қоспағанда (90 %), барлық әдістер үшін қамтамасыз етілді.

Стерилизация әдістерінің материалдың құрылымы мен қасиеттеріне әсері SEM-микроскопия, кеуектілікті анықтау, механикалық сынақтар, сондай-ақ электрөткізгіштік пен фототермикалық белсенділікті өлшеу арқылы бағаланды. Ең күшті құрылымдық бұзылулар мен беріктік сипаттамаларының төмендеуі термиялық өңдеу және озондау кезінде байқалды. Радиациялық әдістер орташа деңгейдегі өзгерістерге әкелді, ал этиленоксид, аса критикалық CO₂ және суық плазма өңдеуі морфологияның минималды деградациясын көрсетті. Суық плазма және EtO бастапқы өткізгіштік пен фототермикалық жауаптың 94–98 % дейін сақталуын қамтамасыз етті, ал термиялық өңдеу МХене-нің термо-тотықтырғыш деградациясына байланысты функционалдылықтың айқын төмендеуіне алып келді.

Жалпы бағалау суық плазма мен этиленоксидтің БЦ/ ГАП /МХене көпозитінің стерильдігін қамтамасыз ету және оның құрылымдық-функционалдық қасиеттерін сақтау арасындағы оңтайлы теңгерімді ұсынатынын көрсетті. Бұл әдістер материалды биомедициналық қолдануға дайындау үшін ең перспективалы болып табылады.

Түйін сөздер: БЦ/ГАП/МХене, нанокөпозит, стерилизация әдістері, суық плазма, этиленоксид, аса критикалық CO₂.

I.S. Savitskaya¹, D.Kh. Shokatayeva¹, I.I. Abashidze^{2*},
A.B. Talipova¹, S.D. Zhantlessova¹, Zh. Khamitkyzy¹

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²LLP «AMD Clinic», Almaty, Kazakhstan

*e-mail: inara_abashidze@mail.ru

Selection of a method for sterilization of nanostructured biomaterial based on bacterial cellulose

Nanocomposites based on bacterial cellulose (BC), hydroxyapatite (HAp), and MXene represent a promising class of biomaterials for regenerative medicine and photothermal technologies due to their combination of biocompatibility, mechanical stability, electrical conductivity, and strong infrared absorption capability. However, the high sensitivity of MXene phases and the cellulose matrix to physicochemical impacts requires careful selection of sterilization approaches that provide sterility without substantial loss of key functional properties.

This study presents a comparative evaluation of nine sterilization methods – autoclaving, dry heat, ethylene oxide treatment, γ -irradiation, electron beam (E-beam) irradiation, ultraviolet irradiation, ozonation, supercritical CO₂ treatment, and cold plasma – applied to BC/HAp/MXene nanocomposites. Sterility was assessed by direct plating on nutrient media; sterilization efficiency was calculated based on microbial growth. Complete sterility was achieved for all methods except UV (50%) and CO₂ treatment (90%).

The effects of sterilization on material structure and properties were analyzed using SEM imaging, porosity measurement, mechanical testing, electrical conductivity assessment, and photothermal activity evaluation. Thermal treatment and ozonation caused the most pronounced structural damage and reduction in mechanical strength. Radiation-based methods induced moderate changes, whereas ethylene oxide, supercritical CO₂, and cold plasma treatment resulted in minimal morphological degradation. Cold plasma and EtO preserved up to 94–98% of the initial conductivity and photothermal response, while thermal treatment led to significant loss of functional performance due to thermo-oxidative degradation of MXene.

Comprehensive analysis demonstrated that cold plasma and ethylene oxide provide the best balance between sterility and preservation of structural–functional properties of BC/HAp/MXene nanocomposites. These methods are the most promising for preparing such materials for biomedical applications.

Keywords: BC/HAp/MXene, nanocomposite, sterilization methods, cold plasma, ethylene oxide, supercritical CO₂.

И.С. Савицкая¹, Д.Х. Шокатаева¹, И.И. Абашидзе^{2*},
А.Б. Талипова¹, С.Д. Жантлесова¹, Ж. Хамиткызы¹

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

²ТОО «Клиника AMD», Алматы, Казахстан

*e-mail: inara_abashidze@mail.ru

Подбор способа стерилизации наноструктурированного биоматериала на основе бактериальной целлюлозы

Наноккомпозиты на основе бактериальной целлюлозы (БЦ), гидроксиапатита (ГАП) и MXene представляют перспективный класс биоматериалов для регенеративной медицины и фототермических технологий благодаря сочетанию биосовместимости, механической стабильности, электропроводности и выраженной способности к поглощению ИК-излучения. Однако высокая чувствительность компонента MXene и целлюлозной матрицы к физико-химическим воздействиям требует тщательного выбора стерилизационных подходов, позволяющих достичь стерильности без существенной потери ключевых функциональных свойств.

В настоящей работе проведено сравнительное исследование девяти методов стерилизации – автоклавирования, сухого жара, этиленоксидной обработки, γ -облучения, электронно-пучкового (E-beam) облучения, УФ-излучения, озонирования, обработки сверхкритическим CO₂ и холодной плазмой – применительно к наноккомпозиту БЦ/ГАП/MXene. Стерильность образцов определяли методом прямого посева на питательные среды; по результатам регистрации роста рассчитывали эффективность стерилизации. Полная стерильность была достигнута для всех методов, кроме УФ-облучения (50 %) и CO₂-обработки (90 %).

Влияние методов на структуру и свойства материала оценивали с помощью SEM-микроскопии, определения пористости, механических испытаний, а также измерений электропроводности и фототермической активности. Максимальные структурные нарушения и снижение прочностных характеристик наблюдались после термической обработки и озонирования. Радиационные методы вызывали умеренные изменения, тогда как обработка этиленоксидом, сверхкритическим CO₂ и холодной плазмой обеспечивала минимальную деградацию морфологии. Холодная плазма и EtO позволили сохранить до 94–98 % исходной проводимости и фототермического отклика, в то время как термическая обработка приводила к выраженной потере функциональности вследствие термо-окислительной деградации MXene.

Комплексная оценка показала, что холодная плазма и этиленоксид представляют наилучший баланс между стерильностью и сохранением структурно-функциональных характеристик БЦ/ГАП/MXene. Эти методы являются наиболее перспективными для подготовки материала к биомедицинскому применению.

Ключевые слова: БЦ/ГАП/ MXene, наноккомпозит, методы стерилизации, холодная плазма, этиленоксид, сверхкритический CO₂.

Қысқартулар: БЦ – бактериалды целлюлоза, ГАП – гидроксипатит, МХеке – өтпелі металдардың екіөлшемді карбидтері/нитридтері, EtO – этилен оксиді, γ – гамма-сәулелендіру, E-beam – электрондық сәулелендіру, UV – ультракүлгін сәулелендіру, ScCO₂ – аса критикалық көмірқышқыл газы

Кіріспе

Медициналық құрылғылар мен биоматериалдардың стерилизациясы – олардың қауіпсіздігін және нормативтік құжаттар талаптарына сәйкестігін қамтамасыз етудегі негізгі кезең. Тіндермен немесе жара бетімен тікелей жанауға арналған бұйымдар үшін стерильділік жай ғана ұсыныс емес – ол міндетті талап болып табылады (мысалы, медициналық бұйымдарды радиациямен стерилдеу жөніндегі ISO 11137 стандартына сәйкес) [1]. Бұл ретте стерилдеу әдісін таңдау материалдың ерекшеліктерін ескеруі тиіс: температура, ылғалдылық, радиациялық әсер немесе химиялық агенттер полисахаридті матрицалар үшін аса өзекті болып табылатын олардың құрылымында, механикалық және функционалдық қасиеттерінде өзгерістер тудыруы мүмкін [2].

Полисахарид материалдар – бактериялық целлюлоза, хитозан, альгинат және басқа да биополимерлер – жоғары биосәйкестікке, биоыдырағыштыққа және тіндердің регенерациясын стимулдауға қабілеттілігіне байланысты медицинада белсенді түрде қолданылып келеді. Алайда олардың жылу, ылғал, реактивтер және иондаушы сәулелену әсеріне сезімталдығы стерилизация әдісін таңдауда ерекше ұқыптылықты талап етеді [2]. Мысалы, Мооре және басқалар көрсеткендей, иондаушы сәулелену, автоклавтау және басқа да әдістер полисахаридті материалдардың полимерлік тізбектерінің үзілуіне, молекулалық массасының төмендеуіне, оптикалық қасиеттерінің өзгеруіне және механикалық беріктігінің төмендеуіне әкелуі мүмкін [3].

Бактериялық целлюлоза, гидроксипатит және МХеке негізіндегі биокөмпозит – бұл полимерлі-наноқұрылымды күрделі матрица. Мұндай көпкомпонентті жүйе толық стерильділікті қамтамасыз етіп қана қоймай, материалдың құрылымы, морфологиясы, фототермикалық және антибактериалдық қасиеттерін бұзбайтын стерилизация әдісін таңдауды қажет етеді. Әсіресе МХеке наноматериалы мен органикалық компоненттердің болуы стерилизация

процесін таңдауды одан әрі күрделендіреді: жоғары температуралы және агрессивті химиялық әдістер полисахарид матрицасының деградациясына және нанобөлшектердің тотығуына әкелуі мүмкін.

Осыған байланысты, зерттеудің мақсаты – берілген биокөмпозиттің құрылымдық, механикалық және функционалдық сипаттамаларын сақтай отырып, оның стерилизациясына арналған оңтайлы әдісті ғылыми тұрғыдан негіздеп, таңдау болып табылады.

Зерттеу материалдары мен әдістері

1. Стерилизация әдістері

Стерилизацияға дейін биокөмпозит үлгілері (қалыңдығы 1 мм пленкалар) бастапқы ылғалдылықты теңестіру және материал құрылымын тұрақтандыру мақсатында 20 °C температурада және 50 % салыстырмалы ылғалдылықта 48 сағат бойы кондиционерленді [4]. Одан кейін төменде сипатталған 9 стерилизация әдісі қолданылды:

1.1 Автоклавтау. Үлгілер пергамент қағазынан жасалған герметикалық қаптарға салынып, ISO 17665-1 стандартына сәйкес 121 °C температурада және 1 атм қысымда 20 минут бойы автоклавта өңделді [5]. Цикл аяқталғаннан кейін конденсат толық жойылғанша үлгілер бөлме температурасында кептірілді.

1.2 Құрғақ қыздырумен стерилизация. Үлгілер 160 °C температурада 1 сағат бойы кептіргіш шкафқа орналастырылды. Бұл режим Munarin және басқалар (2013) ұсынған, спораларды минималды экспозицияда тиімді инактивациялайтыны көрсетілген деректерге сүйене отырып таңдалды [2]. Өңдеуден кейін үлгілер эксикаторда салқындалды.

1.3 Этиленоксидпен (EtO) стерилизация. Үлгілер Steri-VAC 3М стерилизаторының герметикалық камерасына орналастырылды. Газ 450 мг/л концентрацияда, 37 °C температурада және 60 % ылғалдылықта 4 сағат бойы берілді. Одан кейін ISO 11135-1 стандарты бойынша қалған EtO-ны шығару үшін 40 °C температурада 12 сағаттық аэрация жүргізілді [6].

1.4 Гамма-сәулелендіру. Стерилизация ⁶⁰Co көзі бар қондырғыда ISO 11137-2 стандартына сәйкес 10 кГр дозада (сәулелендіру жылдамдығы ≈ 1 кГр/сағ) жүргізілді. Дозиметриялық бақылау термоллюминесцентті детекторлар (TLD-100) арқылы қамтамасыз етілді. Сәулеленгеннен кейін үлгілер талдау жүргізілгенге дейін 20°C температурасында сақталды.

1.5 Электрондық-сәулелі сәулелендіру (E-beam). Үлгілер электрондық үдеткіште (энергиясы 10 МэВ, ток 0,5 мА) азот атмосферасында, тотығуды болдырмау үшін, өңделді. Доза 5 кГр құрады, ал өңдеу кезіндегі температура 35 °С-тан аспады [8].

1.6 Ультракүлгін сәулелендіру. Үлгілер бактерицидтік лампы бар камераға (254 нм, TUV G15T8, Philips) 20 см қашықтықта орналастырылып, 25 °С температурада әр жағынан 30 минуттан сәулелендірілді [9].

1.7 Озонмен стерилизация. Өңдеу озонаторда (O_3 генерациясы = 10 г/сағ) 20 °С температурада және 60 % салыстырмалы ылғалдылықта 30 минут бойы жүргізілді. Экспозициядан кейін үлгілер қалған озонды жою үшін бөлме температурасында 1 сағат бойы желдетілді [10].

1.8 Аса критикалық CO_2 ($ScCO_2$) арқылы стерилизация. Үдеріс 30 °С температурада және 38 МПа қысымда 60 минут бойы этанолдың керіткіші (5 көлем %) қатысында реакторда жүргізілді. Өңдеуден кейін камера баяу түрде атмосфералық қысымға дейін декомпрессияланды [11].

1.9 Суық плазмамен стерилизация. Стерилизация PICO Plasma System (Германия) қондырғысында O_2/Ar (1:1) қоспасында, 0,2 мбар қысымда, 50 Вт қуатта және бөлме температурасында 15 минут экспозициямен жүргізілді [12].

2. Стерилизация тиімділігін бағалау

Өңделген үлгілердің стерильділігін бағалау үшін коректік орталарға тікелей дақылдау әдісі қолданылды [13]. Стерилизациядан кейін әрбір үлгі (1×1 см) асептикалық жағдайда коректік агармен толтырылған Петри табақшасына орналастырылды. Инкубация 37 °С температурада 48 сағат жүргізілді.

Колониялардың өсуі визуалды түрде тіркелді. Агар бетінде колониялардың көрінбеуі үлгінің толық стерильді екенін көрсетті. Бақылау үшін өңделмеген үлгілер және бос табақшалар (теріс бақылау) қолданылды.

Тиімділік келесі формуламен есептелді: Стерилизация тиімділігі (%) = $(1 - N_{\text{тәжірибе}} / N_{\text{контроль}}) \times 100$, мұндағы $N_{\text{тәжірибе}}$ – өңделгеннен кейінгі колониялар саны, $N_{\text{контроль}}$ – бақылау үлгілеріндегі колониялар саны.

3. Морфология және сыртқы түрі

Морфологияны сканерлеуші электрондық микроскопия (SEM) әдісімен JEOL JSM-7610F микроскопында 5 кВ үдеткіш кернеуінде зерттелді. Талдау алдында үлгілер алтынмен шашу әдісі арқылы қапталды. Бағалау жүргізілді: MXene-п-

ластиналардың таралуы, НАр-бөлшектерінің адгезиясы, микротрещиналар және бетінің кеуектілігі.

4. Механикалық қасиеттерді анықтау

БЦ/ГАП/MXene биокөмпозитінің механикалық сипаттамалары бір осьті созылу әдісімен анықталды. Сынақтар Instron 3345 сынақ машинасында (Instron, АҚШ) ISO 527-1:2019 стандартына сәйкес 5 мм/мин деформация жылдамдығында жүргізілді. Сынақ алдында үлгілер (10 × 50 мм, қалыңдығы ≈ 1 мм) 23 ± 2 °С температурада және 50 ± 5 % ылғалдылықта 48 сағат бойы кондицияланды. Алынған «кернеу–деформация» диаграммалары бойынша есептелді: Юнг модулі (Е, МПа) – қисықтың сызықтық бөлігінің көлбеуі ретінде; созу беріктігі (σ_u , МПа) – үзілу алдындағы максималды кернеу ретінде.

Әрбір өлшеу үш қайталауда жүргізілді. Орташа мәндер мен стандартты ауытқулар OriginPro 2023b бағдарламалық қамтамасыз етуін пайдалана отырып есептелді.

5. Кеуектілікті анықтау

Кеуектілік (%) этанолды сымдамайтын агент ретінде қолдану арқылы гравиметриялық әдіспен анықталды.

Үлгілерді бастапқыда кеуектілік құрылымын сақтау үшін лиофильді кептіру арқылы өңдеп, содан кейін тұрақты массасына дейін кептірді (m_1). Одан кейін үлгілерді 24 сағат бойы этанолға батырып, қайтадан салмақтарын өлшеді (m_2). Кеуектілік (Р, %) келесі формула арқылы есептелді: $P = (m_2 - m_1) / \rho_{\text{этанол}} \cdot V \times 100$, мұндағы V – үлгінің көлемі, ρ – этанолдың тығыздығы.

6. Электрөткізгіштік

Электрөткізгіштік (σ , S/cm) төрт-зондты контакт әдісімен Keithley 2400 SourceMeter қондырғысында өлшенді. Үлгілер 10 × 10 мм квадраттар түрінде кесіліп, 25 °С температурада және 50 % ылғалдылықта өлшенді. Сенімді контактты қамтамасыз ету үшін стандартты күміс пасталары қолданылды. Электрөткізгіштік формуласы: $\sigma = I/V \cdot l/A$, мұндағы I – ток, V – кернеу түсуі, l – зондтар арасындағы қашықтық, A – үлгінің қимасының ауданы.

7. Фототермиялық белсенділік

Фототермиялық тиімділік 808 нм ИҚ-лазер (интенсивтілігі 1 Вт/см²) көмегімен зерттелді. Беткі температураның жоғарылауы 10 минут бойы үздіксіз сәулелендіру кезінде жанаспайтын термометрмен өлшенді.

Температуралық жауап (ΔT) – бастапқы және максималды температуралар айырмашылығы ретінде анықталды.

Статистикалық деректерді өңдеу

Барлық эксперименттер кемінде үш қайталаымда ($n = 3$) жүргізілді. Нәтижелер орташа мән $\pm$ стандартты ауытқу ($M \pm SD$) түрінде берілді. Топтар арасындағы айырмашылықтардың маңыздылығы бір факторлы дисперсиялық талдау (ANOVA) және кейінгі Тьюки пост-хок тестімен бағаланды. Статистикалық маңыздылық деңгейі $p < 0,05$ деп қабылданды.

Зерттеу нәтижелері және оларды талдау

Тоғыз стерилизация әдісінің тиімділігін анықтау үшін БЦ/ГАП/МХене композитінің стерильдігі тікелей егу әдісі арқылы тексерілді. Әрбір үлгі (1×1 см) асептикалық жағдайда ет-пептонды агардың және тиісті қоректік ортаның бетіне орналастырылып, 37°C температурада 48 сағат инкубацияланды. Микробтық өсу визуал-

ды түрде бағаланды. Колониялардың болмауы толық стерильділікті көрсетті. Бақылау ретінде өңделмеген үлгілер және материал салынбаған стерильді Петри табақшалары пайдаланылды. Нәтижелер 1-кестеде келтірілген.

Композиттің стерилдеу тиімділігі мен морфологиясының сақталу дәрежесіндегі айырмашылықтар әрбір әдіске тән физика-химиялық әсер сипатына байланысты. Мысалы, гамма-сәулелену және электронды-шоғырлы сәуле ағымымен өңдеу полисахаридтердің радиолизін белсендіреді, нәтижесінде бос радикалдар түзіледі, бұл макромолекулалық тізбектердің ішінара бұзылуына және кросс-сілтемелердің түзілуіне әкеледі [14; 15]. Мұндай өзгерістер материалдың механикалық қасиеттеріне әсер етуі мүмкін, алайда микроорганизмдерді іс жүзінде толық инактивациялауды қамтамасыз етеді.

1-кесте – БЦ/ГАП/МХене композитін әртүрлі стерилизация әдістерімен өңдеу тиімділігі

№	Стерилизация әдісі	Агарға дақылдау нәтижелеріндегі бақылаулар	Стерилизация тиімділігі
1	Автоклавтау (121°C , 20 мин)	Өсу байқалмады	100 %
2	Құрғақ қыздыру (160°C , 1 сағ)	Өсу байқалмады	100 %
3	Этиленоксид (37°C , 4 сағ + 12 сағ аэрация)	Өсу байқалмады	100 %
4	Гамма-сәулелену (10 кГр)	Өсу байқалмады	100 %
5	Электронды-шоғырлы сәулелену (5 кГр)	Өсу байқалмады	100 %
6	Ультракүлгін сәуле (254 нм, 30 мин $\times$ 2 жақ)	Микробтық жүктеме бақылаумен салыстырғанда екі есе төмендеді	50 %
7	Озон (10 г/сағ, 30 мин)	Өсу байқалмады	100 %
8	Аса критикалық CO_2 (38 МПа, 30°C , 60 мин)	Аздаған өсу (2–3 колония)	90 %
9	Суық плазма (O_2/Ar , 15 мин)	Өсу байқалмады	100 %

Ионизирлейтін әдістерден айырмашылығы, суық плазма негізінен композит бетіне әсер етеді: оттегі мен азоттың активті түрлері жасушалық құрылымдарды тиімді түрде бұзады, матрицаның айтарлықтай термиялық деструкциясына жол бермей [16].

Ультракүлгін сәулелену айтарлықтай төмен тиімділікті көрсетеді (50 %), бұл сәулеленің ену тереңдігінің шектеулігі және полимерлік матрицаның ішінара экрандауымен байланысты. Мұндай эффект табиғи түрде ультракүлгін сәулеге төзімді биополимерлердің фотолизін эксперименттік зерттеулермен расталады [17].

Химиялық агенттер (этиленоксид және озон) әртүрлі механизмдер арқылы жоғары стерили-

зация деңгейін қамтамасыз етеді: сәйкесінше алкилрлеу және тотығу жолымен. Осылайша, озон қанттардың жеңіл беттік тотығуын тудыруы мүмкін, ал EtO өңдеуі қалдық улы газды жою үшін міндетті аэрацияны талап етеді [18].

Термиялық әдістер (автоклавтау және құрғақ қыздыру) сенімді стерилизацияны қамтамасыз еткенімен, жоғары температура әсерінен гликозидтік байланыстардың гидролизімен, кристалдылықтың төмендеуімен және полисахарид матрицасының жалпы деградациясымен қатар жүреді. Бұған қосымша, құрғақ қыздыру үлгінің қарқынды сусыздануына әкеледі, бұл кеуектердің коллапсын және бастапқы гидрогельдік үшөлшемді кеуекті құрылымның жоғалуын тудырады.

Бұл термотұрақсыз композиттер үшін олардың қолданылуын айтарлықтай шектейді [19].

Құрылымды сақтауды есепке алғанда ең жұмсақ әдіс – аса критикалық CO_2 : стерильділік шамамен 90 % деңгейінде қол жеткізіледі, бұл акуыздардың денатурациясы және бактериялардың липидтерін экстракциялау есебінен [20].

Осылайша, стерилизациялау қабілеті мен материалдың құрылымын сақтау дәрежесінің үйлесімі бойынша ең тиімді әдістер – суық плазма, этиленоксид, озон және гамма-сәулелендіру, ал УФ-сәулелендіру және термиялық әдістерді қосалқы ретінде қарастыруға болады.

БЦ/ГАП/МХене композитінің әртүрлі физика-химиялық әсерлерге төзімділігін кешенді бағалау үшін стерилдеуден кейінгі оның құрылымдық-функционалдық қасиеттерінің салыстырмалы сипаттамасы жүргізілді. Қолданылған әдістер әсер ету механизмі бойынша айтарлықтай ерекшеленетіндіктен (термиялық, радиациялық, химиялық, плазмалық және аса критикалық фаза әсері), олардың материалдың морфологиясына, механикалық параметрлеріне және функционалдық қасиеттеріне ықпалы да бірдей болмайды деп күтілді.

Зерттеу аясында композиттің бактериалды целлюлозаның бастапқы үшөлшемді құрылы-

мын және толтырғыштардың (ГАП және МХене) таралуын сақтайтыны, сондай-ақ өңдеуден кейін оның пайдалану сипаттамаларының өзгеретіндігі бағаланды. Талдау өзгерістерді микроқұрылымдық ұйымдасу деңгейінде (кеуектілік, морфология) және макроскопиялық сипаттамалар деңгейінде (механика, электрөткізгіштік) модельдеуді қамтыды, бұл бақылаған құбылыстарды сәйкес стерилизация әсерінің табиғатымен байланыстыруға мүмкіндік берді.

Атап айтқанда, әртүрлі стерилизация әдістерін қолданғаннан кейін келесі параметрлер бағаланды: сыртқы көрінісі және морфологиясы; механикалық қасиеттер: Юнг модулі (Е), созылуға беріктік (σ_u); құрылымдық өзгерістер: кеуектілік; функционалдық қасиеттер: электрөткізгіштік және фототермикалық белсенділік.

Ең айқын морфологиялық зақымданулар БЦ/ГАП/МХене-де термиялық стерилизация және озон өңдеуден кейін байқалды (қысқару, жарықтар түзілуі, түс өзгеруі), ал γ - және электрондық сәулелену, EtO, ScCO_2 және әсіресе суық плазма бастапқы құрылымды минималды визуалды өзгерістермен сақтады.

Стерилизациядан кейін материалдардың механикалық қасиеттерінің нәтижелері 2-кестеде келтірілген.

2-кесте – Әртүрлі зарарсыздандыру әдістерінің БЦ/ГАП/МХене биоккомпозитінің механикалық қасиеттеріне әсері

№	Стерилизация әдісі	Температура / доза / экспозиция	Е-модульдің өзгеруі, %	σ_u өзгеруі, %
I. Термиялық әдістер				
1	Автоклав	121 °C, 1 атм, 20 мин	–28 %	–33 %
2	Құрғақ қыздыру	160 °C, 60 мин	–35 %	–40 %
II. Радиациялық әдістер				
3	Г- сәулелену	10 кГр (^{60}Co)	–12 %	–15 %
4	E-beam сәулелену	5 кГр (10 МэВ)	–10 %	–12 %
III. Химиялық әдістер				
5	Этиленоксид (EtO)	37 °C, 4 сағ + аэрация 12 сағ	–5 %	–8 %
6	Озон	10 г/ сағ, 30 мин	–22 %	–26 %
IV. Фото-химиялық/плазмалық әдістер				
7	Ультракүлгін сәулелену	254 нм, 30 мин × 2	–15 %	–18 %
8	Суық плазма (O_2/Ar)	50 Вт, 0.2 мбар, 15 мин	–3 %	–4 %
9	Аса критикалық CO_2 (ScCO_2)	30 °C, 38 МПа, 60 мин	–7 %	–9 %

Салыстырмалы талдау БЦ/ГАП/МХене биокөмпитінің механикалық қасиеттерінің өзгеруі стерильдеу әдісінің табиғатына айтарлықтай тәуелді екенін көрсетті. БЦ/ГАП/МХене материалдарына механикалық тұрғыдан теріс әсер ету дәрежесі бойынша әдістер келесі ретпен орналасады: термиялық (күрғақ қыздыру > автоклав) $\approx$ озон > орташа әсер ететін (Ультракүлгін сәулелену, γ -, E-beam) > жұмсақ (ScCO_2 , EtO, суық плазма). Механикалық қасиеттер мен морфологияның сақталуы тұрғысынан БЦ/ГАП/МХене үшін ең оңтайлы әдістер – суық плазма,

EtO және ScCO_2 ; γ - және E-beam әдістері төмен дозаларда қолдануға жарамды; ал термиялық әдістер мен озон ең жоғары деградиацияны көрсетіп, сақтықпен қолдануды немесе қосалқы әдіс ретінде қарастыруды талап етеді.

Материалдың стерилизациядан кейінгі тұрақтылығын неғұрлым толық бағалау үшін оның құрылымдық сипаттамаларының (кеуектілік) сақталуы (3-кесте), сондай-ақ көмпиттің қолданбалы әлеуетін айқындайтын негізгі функционалдық қасиеттері – электрөткізгіштігі мен фототермиялық белсенділігі қосымша бағаланды.

3-кесте – Әртүрлі стерилизация әдістерін қолданғаннан кейінгі БЦ/ГАП/МХене-нің кеуектілігі

№	Стерилизация әдісі	Температура / доза / экспозиция	Кеуектіліктің өзгерісі, %
I. Термиялық әдістер			
1	Автоклав	121°C, 1 атм, 20 мин	+8 %
2	Күрғақ қыздыру	160°C, 60 мин	+12 %
II. Радиациялық әдістер			
3	Г- сәулелену	10 кГр (^{60}Co)	+4 %
4	E-beam сәулелену	5 кГр (10 МэВ)	+5 %
III. Химиялық әдістер			
5	Этиленоксид (EtO)	37 °C, 4 сағ + аэрация 12 сағ	+3 %
6	Озон	10 г/сағ, 30 мин	+6 %
IV. Фото-химиялық/плазмалық әдістер			
7	Ультракүлгін сәулелену	254 нм, 30 мин $\times$ 2	+2 %
8	Суық плазма (O_2/Ar)	50 Вт, 0.2 мбар, 15 мин	+2 %
9	Аса критикалық CO_2 (ScCO_2)	30 °C, 38 МПа, 60 мин	+3 %

Деректерді талдау көрсеткендей, стерилизация әдістері БЦ/ГАП/МХене биокөмпитінің кеуектілігіне әсер ету дәрежесі бойынша ерекшеленеді: ең үлкен кеуектілік өсуі термиялық әдістерде тіркелді (автоклав +8 %, күрғақ қыздыру +12 %), ал радиациялық әдістер (γ +4 %, E-beam +5 %) және жұмсақ процестер (EtO +3 %, ScCO_2 +3 %) тек орташа деңгейде өсуге әкелді, ең төменгі көрсеткіш – Ультракүлгін және суық плазма (+2 %). Бұл агрессивті стерилизация режимдері құрылымның айтарлықтай бұзылуына және екінші реттік қуыс немесе микрожарылулардың түзілуіне әкелетінін көрсетеді, ал жұмсақ әдістер бастапқы кеукті архитектураны жақсы сақтайды.

Стерилизациядан кейінгі кеуектіліктің өзгерісі әр әдістің көмпит құрылымына әсерін жақсы көрсетеді. Кеуектіліктің ең үлкен өсуі

термиялық өңдеу кезінде байқалды, бұл, әдетте, материалдың дегидратациясы және жиырылуына байланысты, нәтижесінде ірі кеуктер коллапс болып, микрожарылулар қалыптасады. Ұқсас механизм биополимерлер үшін де сипатталған, олардың құрылымы қыздырылғанда тұрақсызданып, жергілікті бұзылуға бейім болады. Нәтижесінде кеуектілік формальды түрде артады, алайда іс жүзінде бұл толық ішкі желі түзілуімен емес, ақаулардың пайда болуымен байланысты [21].

Сәулелендіру кезінде (γ -сәулелер, электрондық сәулелік шоғыр) кеуектілікке әсер әлдеқайда әлсіз. Ионизацияланған сәуле радиолизді және тізбектердің жартылай ыдырауын тудырады, бұл құрылымның аздап «қалқуымен» қатар жүре алады, бірақ күшті термиялық әсердің болмауы кеңістіктік тордың айтарлықтай бұзылуын

болдырмайды. Сондықтан кеуектіліктің өсуі орташа деңгейде қалыптасады, ал бастапқы архитектура термиялық стерилизацияға қарағанда жақсы сақталады.

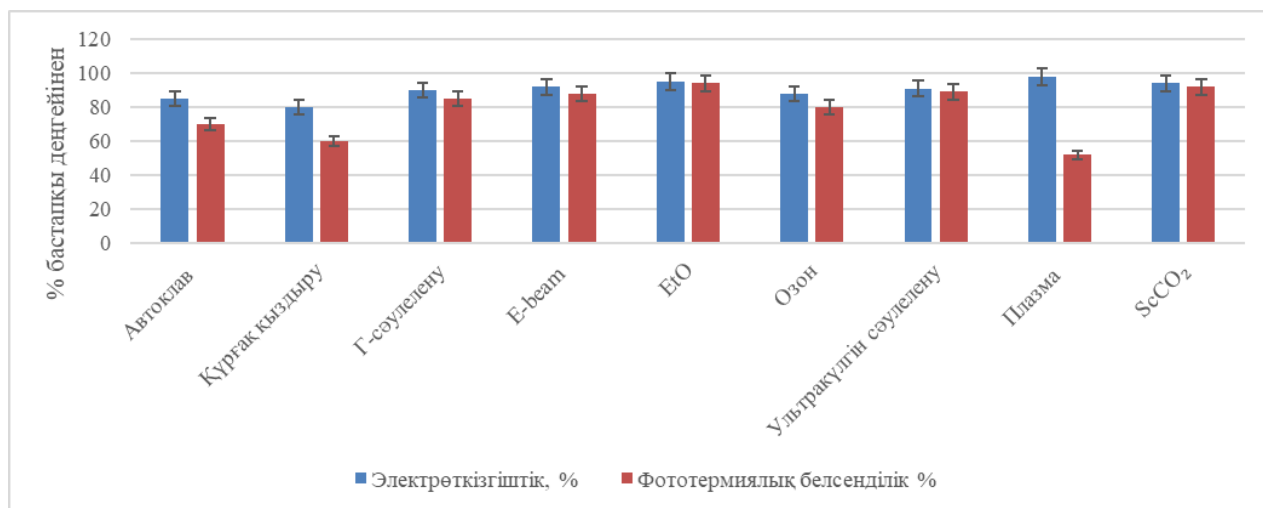
Этиленоксидпен өңдеу, аса критикалық CO_2 және суық плазма сияқты төмен температурадағы химиялық және физика-химиялық әсер ету әдістері кеуектілікке минималды әсер көрсетеді. Олар композиттің терең құрылымын бұзбай, негізінен бетіне әсер етеді, сондықтан кеңістік ұйымдасуы дерлік өзгеріссіз сақталады.

Сондықтан кеуектіліктің өсуін әрдайым он нәтиже деп қарастыруға болмайды: термиялық әдістерде оның айтарлықтай өсуі көбіне матрицаның бұзылуы мен ақаулардың пайда болуына байланысты, ал жеңіл әдістерден кейін байқалатын аз өзгерістер бастапқы кеуекті құрылымның жақсы сақталғанын көрсетеді. Әдебиеттерде тек

кеуектіліктің мөлшерін ғана емес, оның табиғатын да ескеру маңызды деп атап көрсетіледі, себебі ақаулы қуыстар мен жарықтар бастапқы ұйымдасқан кеуекті желіге функционалды түрде тең емес.

БЦ/ГАП/МХене көпкомпонентті материал ретінде жасалғандықтан, МХене-фазалардың болуы арқылы электрөткізгіштік және айқын фототермикалық қасиеттерге ие, осы параметрлер оның биомедицинада әрі қарай қолданылуы үшін (мысалы, локалды фототермотерапияда және электро-активті имплантаттар мен биоэлектродтарды жасау үшін) шешуші мәнге ие.

Әрбір стерилизация әдісі үшін электрөткізгіштік пен фототермикалық белсенділіктің сақталу мөндері (бастапқы деңгейдің %) алынған және олар 1-суретте көрсетілген.



1-сурет – БЦ/ГАП/МХене композитінің функционалдық қасиеттеріне әртүрлі стерилизация әдістерінің әсері

БЦ/ГАП/МХене композитінің функционалдық қасиеттеріне әртүрлі стерилизация әдістерінің әсерін салыстырғанда, олардың сипаты оның электрөткізгіштігі және фототермикалық жауаптылық деңгейінің сақталуына тікелей әсер ететіні анықталды.

Функционалдық қасиеттердің ең көп төмендеуі термиялық әдістер кезінде байқалады: автоклавтау және әсіресе күрғақ қыздыру электрөткізгіштікті айтарлықтай төмендетеді (80–85 %-ға дейін) және фототермикалық жауапты 60–70%-ға дейін азайтады. Бұл МХене материалдарының термооксидативтік деструкциясына бай-

ланысты, нәтижесінде $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ бетінде оксидтер (TiO_2) түзіледі, ол оның фотосіңіру және электрөткізгіштік қасиеттерін төмендетеді [22].

Радиациялық әдістер (γ -сәулелер, электрондық сәуле шоғыры) айтарлықтай аз өзгерістер туғызады. Электрөткізгіштік шамамен 90–92 % деңгейінде сақталады, фототермикалық жауап – 85–88 %. Бұл төмен дозалар МХене бөлшектерінің бетінде тек жартылай тотығу процесін тудыратынын, бірақ өткізгіш желінің құрылымын бұзбайтынын көрсетеді.

Озондық өңдеу орташа теріс әсер көрсетеді (электрөткізгіштік 88 %, фототермика 80 %),

бұл $Ti_3C_2T_x$ бетінің жылдам беткі тотығуымен түсіндіріледі, алайда құрылымдық деградация шектеулі болып қалады.

Ең жұмсақ әдістер төмен температурада қолданылатын – этиленоксид (EtO), аса критикалық CO_2 ($ScCO_2$) және суық плазма болып шықты. Олар функционалдық қасиеттерді дерлік толық сақтауға мүмкіндік береді: электрөткізгіштік 94–98 %, фототермикалық белсенділік 92–95 %. Әсіресе суық плазма ерекшеленеді: ол материалдың функционалдылығын минималды төмендетеді, бұл беткі гидрофилділіктің артуы мен MXene бөлшектерінің целлюлозалық матрицадағы біркелкі таралуымен түсіндіріледі [23–25].

Жалпы алғанда, композиттің функционалдық қасиеттерінің тұрақтылығы тікелей термиялық және агрессивті химиялық әсердің жоқты-

ғына байланысты. 60 °C жоғары температураны қоспайтын стерилизация әдістері MXene бөлшектерінің электрондық өткізгіштік пен фототермикалық белсенділігін барынша сақтауға мүмкіндік береді, ал жоғары температуралық процестер MXene-нің тотығуы және оның қабаттық құрылымының мүмкін болатын деструкциясына байланысты функционалдылықтың жартылай жоғалуына әкеледі.

Төменде БЦ/ГАП/MXene композитін стерилизациялау әдістерінің салыстырмалы рейтингі көрсетілген, ол мына көрсеткіштерге негізделген: (1) механикалық қасиеттердің сақталуы, (2) құрылымдық өзгерістердің минималды болуы (кеуектілік), (3) функционалдық қасиеттердің – электрөткізгіштіктің және фототермикалық белсенділіктің – сақталуы (Кесте 4).

4-кесте – БЦ/ГАП/MXene композитін стерилизациялау әдістерінің интегралдық бағасы

Ранг	Әдіс	Жалпы баға	Қысқаша негіздеме
1	Суық плазма	5	Механикалық қасиеттердің минималды деградациясы (–3/–4 %), кеуектіліктің аз өзгеруі (+2 %), электрөткізгіштіктің шамамен толық сақталуы (98 %) және фототермикалық белсенділіктің жоғары деңгейде сақталуы (95 %).
2	EtO (Этиленоксид)	5	Құрылым мен механиканың аз өзгеруі, өткізгіштік (95%) және фототермика (94%) жоғары деңгейде сақталған. Аэрация қажет.
3	$ScCO_2$ (аса критикалық CO_2)	4	Құрылым мен функционалдың жақсы сақталуы (94/92 %), кеуектіліктің аз өзгеруі (+3 %).
4	E-beam	4	Механиканың орташа төмендеуі, кеуектілік +5 %, фототермика 88 %, өткізгіштік 92 %
5	γ - сәулелену	3	E-beam-ге қарағанда сәл нашар: механика –12/–15 %, фототермика 85 %, кеуектілік +4 %.
6	Ультракүлгін сәулелену	3	Параметрлердің орташа төмендеуі, беткі әсері айқын, фототермика 89 %, өткізгіштік 91 %.
7	Озон	2	Матрицаның айқын деградациясы (–22/–26 %); функционалдық көрсеткіштер орташа төмендеген (88/80 %)
8	Автоклав	1	Механиканың күшті деградациясы (–28/–33 %), кеуектілік +8 %, фототермика 70 %, өткізгіштік 85 %.
9	Құрғақ қыздыру	1	Ең нашар әдіс: құрылым мен функционалдың елеулі деградациясы (–35/–40 %), кеуектілік +12 %, фототермика 60 %, өткізгіштік 80 %.
Ескерту: көрсеткіштер өңделмеген үлгілермен салыстырғанда пайыздық өзгерістер (%) ретінде берілген.			

БЦ/ГАП/MXene композитін стерилдеудің ең жұмсақ әдістері – суық плазма, EtO және аса критикалық CO_2 , олар құрылымдық, механикалық және функционалдық сипаттамаларды бастапқы деңгейге жақын сақтауға мүмкіндік береді.

Радиациялық әдістер (γ және E-beam) аралық позицияны алады – олар қолдануға жарамды, бірақ төмен температуралы химико-физикалық әдістерге қарағанда қасиеттердің деградациясына әкеледі.

Ультракүлгін өңдеу параметрлердің орташа нашарлауын береді, бірақ ол озон және термиялық әдістерге қарағанда агрессивті емес.

Ең нашар нәтижелерді құрғақ қыздыру және автоклавтау көрсетті, бұл БЦ матрицасының айтарлықтай деградациясына, дефекттердің түзілуіне және өткізгіштік пен фототермикалық қасиеттердің айқын жоғалуына әкелді – ең алдымен МХене-нің термо-тотығу трансформациясы мен БЦ құрылымының бұзылуы салдарынан.

Қорытынды

Осы зерттеуде БЦ/ГАП/МХене нанокомпозиіне арналған тоғыз стерилизация әдісінің жан-жақты салыстырмалы бағасы жүргізілді. Бағалау стерильділік, құрылым мен морфологияның сақталуы, механикалық сипаттамалар, сондай-ақ функционалдық қасиеттерді (электроөткізгіштік пен фототермикалық белсенділік) ескере отырып жасалды. Алынған нәтижелер көрсеткендей, стерилизация әдісін таңдау материалдың жұмыс қабілетіне және биомедицинада қолданылу мүмкіндігіне тікелей әсер етеді.

Негізгі қорытындылар:

Барлық әдістерде толық стерильділік қамтамасыз етілген, тек ультракүлгін сәулелену (50 %) және ScCO_2 өңдеуі (90 %) ерекшеленеді. Сондықтан бастапқы конфигурациядағы Ультракүлгін стерилизация тек қосымша процедура ретінде қарастырылуы тиіс, ал ScCO_2 параметрлерін оңтайландыру қажет.

Ең айқын деградацияны (кеуектіліктің өсуі, микрожарылыстар, Е-модуль мен σ_c төмендеуі) термиялық әдістер (құрғақ қыздыру, автоклав) және озон өңдеуі тудырады. Радиациялық әдістер (γ және E-beam) орташа өзгерістерге әкеледі.

EtO , ScCO_2 және суық плазма минималды құрылымдық бұзылуларды қамтамасыз етеді.

Термикалық өңдеу электроөткізгіштік пен фототермикалық жауапты МХене-нің термо-окислитті деградациясы салдарынан айтарлықтай төмендетеді. Суық плазма мен EtO бастапқы өткізгіштіктің және фототермикалық белсенділіктің 94–98 % дейін сақталуын қамтамасыз етеді. Радиациялық әдістер төмен дозада стерильділік пен функционалдық қасиеттерді сақтаудың қабилданатын компромисін береді.

Жалпы, БЦ/ГАП/МХене үшін стерилизация әдісін таңдау стерильділік тиімділігі мен функционалдық сипаттамалардың сақталуы арасындағы балансты ескере отырып жүргізілуі тиіс: ең оңтайлы әдістер – суық плазма және EtO , ал термиялық әдістер материалдың 100 % стерильділігін қамтамасыз етсе де, олардың қасиеттерді айтарлықтай нашарлатуы салдарынан сезімтал көпкомпонентті композиттерге қолдануға ұсынылмайды.

Қаржыландыру көзі

Жұмыс 2024–2026 жылдарға арналған Қазақстан Республикасының Ұлттық гранттар бағдарламасының қолдауымен жүзеге асырылды. Қаржыландыру Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің 217 «Ғылымды дамыту» бюджеттік бағдарламасы және 102 «Ғылыми зерттеулерді гранттық қаржыландыру» қосымша бағдарламасы аясында берілді, келісім-шарт №190, 2024 жылғы 9 қыркүйек, ИРН АР23488697 «Инфекцияланған жараларды емдеуге арналған антибактериялық және регенерациялық қасиеттері күшейтілген, гидрогельді фототермиялық платформаны құрудың стратегиясы».

Әдебиеттер

1. ISO 11137-1:2025. Sterilization of health care products – Radiation – Part 1: Requirements for development, validation and routine control of a sterilization process for medical devices. Geneva: International Organization for Standardization, 2006. – 37 p.
2. Munarin F., Tanzi M. C., Petrini P. Sterilization treatments on polysaccharides: effects and implications. // Carbohydrate Polymers. – 2013. – Vol. 98, № 1. – P. 2-12.
3. Moore E., Cortese Y. J., Colbert D. M. A review of sterilization methods and their commercial impacts on polysaccharide-based biomaterials // Macromol. – 2025. – Vol. 5, № 4. – Article 45.
4. ISO 291:2008. Plastics – Standard atmospheres for conditioning and testing. Geneva: International Organization for Standardization; 2008.
5. ISO 17665:2024. Sterilization of health care products – Moist heat – Requirements for the development, validation and routine control of a sterilization process for medical devices. Geneva: ISO; 2006.
6. ISO 11135:2014. Sterilization of health care products – Ethylene oxide – Requirements for the development, validation and routine control of a sterilization process for medical devices. Geneva: ISO; 2014.
7. ISO 11137-2:2013. Sterilization of health care products – Radiation – Part 2: Establishing the sterilization dose. Geneva: ISO; 2013.

8. Iuliano A., Fabiszewska A., Kozik K., Rzepna M., Ostrowska J., Plichta A. Effect of electron-beam radiation and other sterilization techniques on structural, mechanical and microbiological properties of thermoplastic starch blend // *Journal of Polymers and the Environment*. – 2021. – Vol. 29. – P. 1489–1504.
9. Souza P.R., Nascimento G.F., Almeida A. et al. Polysaccharide-Based Materials Created by Physical Processes // *Polymers (Basel)*. 2021. 13(9):1427.
10. Tyubaeva P., Zykova A., Podmasteriev V., Olkhov A., Popov A., Iordanskii A. The investigation of the structure and properties of ozone-sterilized nonwoven biopolymer materials for medical applications // *Polymers*. – 2021. – Vol. 13, № 8. – 1268.
11. Pavelić S.K., Žuntar I., Tomašković M. et al. A new era for sterilization based on supercritical CO₂ // *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2022. 10:961423.
12. Karthik C., Gnanaraj M., Kumar R. et al. Cold Plasma Technology-Based Eco-Friendly Food Packaging Biomaterials: A Review // *Polymers (Basel)*. 2024. 16(1):89.
13. ISO 11737-2:2019. Sterilization of health care products – Microbiological methods – Part 2: Tests of sterility performed in the definition, validation and maintenance of a sterilization process. Geneva: ISO; 2019.
14. International Atomic Energy Agency (IAEA). Radiation Chemistry of Polysaccharides. Vienna: IAEA, 2015. 164 p.
15. Ahmed M. S., Alshareef A. H., Al-Hadeethi Y. A Comprehensive Review of Radiation-Induced Hydrogels // *Gels*. 2024. Vol. 10, № 1: 2.
16. Mahmoud Y. A. G., El-Sylmawy N. M., El-Gendy A. O. Cold Plasma as a Revolutionary Antimicrobial Modality // *Pharmaceutics*. 2025. 17(6):688.
17. Herczeg C. K., Dzeichciarz P., Raut V. P., Dunn A. S. Sterilization of Polymeric Implants: Challenges and Opportunities // *Polymers (Basel)*. 2022. 14(21):4531.
18. Vink P., Pleijsier K. Aeration of ethylene oxide-sterilized polymers // *Polymer Degradation and Stability*. 1986. Vol. 14, № 3. P. 313–321.
19. Xue H., et al. Preparation, properties, and applications of polysaccharide-based materials. // *Advanced Food and Nutrition Research*. 2025. Vol. 100. P. 75–112.
20. Bernhardt A., Wehrl M., Paul B., Hochmuth T., Schumacher M., Schütz K., Gelinsky M. Improved sterilization of sensitive biomaterials with supercritical carbon dioxide at low temperature // *PLoS ONE*. – 2015. – Vol. 10, No 6: e0129205.
21. Bento C.S.A., Gaspar M.C., Coimbra P., de Sousa H.C., Braga M.E.M. A review of conventional and emerging technologies for hydrogels sterilization // *International Journal of Pharmaceutics*. – 2023. – PII: S0378-5173(23)00091-1. – DOI:10.1016/j.ijpharm.2023.122671.
22. Habib T., Yang S., Wang Q., et al. Oxidation stability of Ti₃C₂T_x MXene nanosheets in air, liquid and solid media // *npj 2D Materials and Applications*. – 2019. – Vol. 3, № 1, Article 8. DOI:10.1038/s41699-019-0089-3.
23. Kawano T., Matsuda Y., Uesugi Y., et al. Surface Modification of a Regenerated Cellulose Film Using Atmospheric-Pressure Low-Temperature Plasma // *ACS Omega*. – 2022. – Vol. 7, № 50. – P. 46063–46071.
24. Chiper A. S., Ursu C.-E., Vasilache V., et al. Stable Surface Modification by Cold Atmospheric-Pressure Plasma for Enhanced Adhesion and Hydrophilicity of Polymer Substrates // *Polymers (Basel)*. – 2023. – Vol. 15, № 20. – Article 4172.
25. Naysmith A., Mativenga P., et al. The effect of plasma pre-treatment on the electrical resistance of MXene-based coatings // *Materials Advances*. – 2025.

References

1. Ahmed M. S., Alshareef A. H., Al-Hadeethi Y. (2024) A comprehensive review of radiation-induced hydrogels. *Gels*, 10(1): 2.
2. Bento C. S. A., Gaspar M. C., Coimbra P., de Sousa H. C., Braga M. E. M. (2023) A review of conventional and emerging technologies for hydrogels sterilization. *Int. J. Pharmaceutics*, DOI:10.1016/j.ijpharm.2023.122671.
3. Bernhardt A., Wehrl M., Paul B., Hochmuth T., Schumacher M., Schütz K., Gelinsky M. (2015) Improved sterilization of sensitive biomaterials with supercritical carbon dioxide at low temperature. *PLoS ONE*, 10(6): e0129205.
4. Chiper A. S., Ursu C.-E., Vasilache V. et al. (2023) Stable surface modification by cold atmospheric-pressure plasma for enhanced adhesion and hydrophilicity of polymer substrates. *Polymers*, 15(20): 4172.
5. Habib T., Yang S., Wang Q. et al. (2019) Oxidation stability of Ti₃C₂T_x MXene nanosheets in air, liquid and solid media. *npj 2D Mater. Appl.*, 3: 8.
6. Herczeg C. K., Dzeichciarz P., Raut V. P., Dunn A. S. (2022) Sterilization of polymeric implants: challenges and opportunities. *Polymers*, 14(21): 4531.
7. IAEA (2015) Radiation Chemistry of Polysaccharides. Vienna, 164 p.
8. Iuliano A., Fabiszewska A., Kozik K., Rzepna M., Ostrowska J., Plichta A. (2021) Effect of electron-beam radiation and other sterilization techniques on structural, mechanical and microbiological properties of thermoplastic starch blend. *J. Polym. Environ.*, 29: 1489–1504.
9. ISO (2008) ISO 291: Plastics – Standard atmospheres for conditioning and testing. Geneva.
10. ISO (2025) ISO 11137-1: Sterilization of health care products – Radiation – Part 1: Requirements for development, validation, and routine control. Geneva.
11. ISO (2013) ISO 11137-2: Sterilization of health care products – Radiation – Part 2: Establishing the sterilization dose. Geneva.

12. ISO (2014) ISO 11135: Sterilization of health care products – Ethylene oxide – Requirements for development, validation and routine control. Geneva.
13. ISO (2024) ISO 17665-1: Sterilization of health care products – Moist heat – Requirements for development, validation and routine control. Geneva.
14. ISO (2019) ISO 11737-2: Sterilization of health care products – Microbiological methods – Part 2: Tests of sterility performed in the definition, validation and maintenance of a sterilization process. Geneva.
15. Karthik C., Gnanaraj M., Kumar R. et al. (2024) Cold plasma technology-based eco-friendly food packaging biomaterials: a review. *Polymers*, 16(1): 89.
16. Kawano T., Matsuda Y., Uesugi Y. et al. (2022) Surface modification of regenerated cellulose film using atmospheric-pressure low-temperature plasma. *ACS Omega*, 7(50): 46063–46071.
17. Mahmoud Y. A. G., El-Sylmawy N. M., El-Gendy A. O. (2025) Cold plasma as a revolutionary antimicrobial modality. *Pharmaceutics*, 17(6): 688.
18. Moore E., Cortese Y. J., Colbert D. M. (2025) A review of sterilization methods and their commercial impacts on polysaccharide-based biomaterials. *Macromol.*, 5(4): 45.
19. Munarin F., Tanzi M. C., Petrini P. (2013) Sterilization treatments on polysaccharides: effects and implications. *Carbohydr. Polym.*, 98(1): 2–12.
20. Naysmith A., Mativenga P. et al. (2025) The effect of plasma pre-treatment on the electrical resistance of MXene-based coatings. *Materials Advances*.
21. Pavelić S. K., Žuntar I., Tomašković M. et al. (2022) A new era for sterilization based on supercritical CO₂. *Front. Bioeng. Biotechnol.*, 10: 961423.
22. Souza P. R., Nascimento G. F., Almeida A. et al. (2021) Polysaccharide-based materials created by physical processes. *Polymers*, 13(9): 1427.
23. Tyubaeva P., Zykova A., Podmasteriev V., Olkhov A., Popov A., Iordanskii A. (2021) The investigation of the structure and properties of ozone-sterilized nonwoven biopolymer materials for medical applications. *Polymers*, 13(8): 1268.
24. Vink P., Pleijsier K. (1986) Aeration of ethylene oxide-sterilized polymers. *Polym. Degrad. Stabil.*, 14(3): 313–321.
25. Xue H. et al. (2025) Preparation, properties, and applications of polysaccharide-based materials. *Adv. Food Nutr. Res.*, 100: 75–112.

Авторлар туралы мәлімет:

Ирина Станиславовна Савицкая – биология ғылымдарының докторы, профессор, биотехнология кафедрасы, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (ҚР, Алматы, e-mail: irasava_2006@mail.ru).

Дина Хабдулманатовна Шокатаева – PhD докторы, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің биотехнология кафедрасының аға оқытушысы (ҚР, Алматы, e-mail: irasava_2006@mail.ru) Әл-Фараби атындағы Фараби (ҚР, Алматы, e-mail: shokatayeva.dina@kaznu.kz).

Абашидзе Инара Исрафиловна – медицина ғылымдарының магистрі, Денсаулық сақтау академиясы клиникасының (AMD Clinic LLP) жетекші пластикалық хирургы (Алматы, e-mail: inara_abashidze@mail.ru).

Талипова Айжан Бериковна – PhD докторанты, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің биотехнология кафедрасының аға оқытушысы (ҚР, Алматы, e-mail: talipova.aizhan@gmail.com).

Жанлесова Сирина Дүйсеновна – PhD докторы, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің биотехнология кафедрасының аға оқытушысы (ҚР, Алматы, e-mail: sirina.zhantlessova@mail.ru).

Хамитқызы Жазира Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің биотехнология кафедрасының PhD докторанты (ҚР, Алматы, e-mail: bailovazhazira@gmail.com).

Information about authors:

Savitskaya Irina Stanislavovna – Doctor of Biological Sciences, Professor, Department of Biotechnology, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan; e-mail: irasava_2006@mail.ru).

Shokatayeva Dina Khabdulmanatovna – PhD, Senior Lecturer, Department of Biotechnology, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan; e-mail: shokatayeva.dina@kaznu.kz).

Abashidze Inara Israfilovna – Master of Medical Sciences, leading plastic surgeon at the Academy of Health Clinic (AMD Clinic LLP) (Almaty, e-mail: inara_abashidze@mail.ru).

Talipova Aizhan Berikovna – PhD student, Senior Lecturer, Department of Biotechnology, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan; e-mail: talipova.aizhan@gmail.com).

Zhantlessova Sirina Duissenovna – PhD, Senior Lecturer, Department of Biotechnology, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan; e-mail: sirina.zhantlessova@mail.ru).

Khamitkyzy Zhazira – PhD student, Department of Biotechnology, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan; e-mail: bailovazhazira@gmail.com).

Сведения об авторах:

Савицкая Ирина Станиславовна – доктор биологических наук, профессор кафедры биотехнологии Казахского национального университета им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: irasava_2006@mail.ru).

Шокатаева Дина Хабдулманатовна – PhD, старший преподаватель кафедры биотехнологии Казахского национального университета им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: shokataeva.dina@kaznu.kz).

Абашидзе Инара Исрафиловна – магистр медицинских наук, ведущий пластический хирург клиники «Академия Здоровья» (ТОО «Клиника АМД») (Алматы, Казахстан, e-mail: inara_abashidze@mail.ru).

Талипова Айжан Бериковна – PhD-докторант, старший преподаватель кафедры биотехнологии Казахского национального университета им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: talipova.aizhan@gmail.com).

Жантлесова Сирина Дүйсеновна – PhD, старший преподаватель кафедры биотехнологии Казахского национального университета им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: sirina.zhantlessova@mail.ru).

Хамиткызы Жазира – PhD-докторант кафедры биотехнологии Казахского национального университета им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: bailovazhazira@gmail.com).

Келін түсті: 23 тамыз 2025 жыл

Қабылданды: 20 қараша 2025 жыл

FTAMP 62.33.29

<https://doi.org/10.26577/bb20251058>

Н.К. Динанова^{1*}, К.П. Аубакирова², А. Рахатқызы²,
Л.С. Ерболова^{2,4}, Ж.Н. Бақытжанова², М. Георгиева³,
Н.Н. Галиакпаров²

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

²М.А. Айтхожин атындағы Молекулалық биология және
биохимия ғылыми-зерттеу институты, Алматы, Қазақстан

³Мал шаруашылығы және егіншілік институты, Троян, Болгария

⁴С.Д. Асфендияров атындағы Қазақ мемлекеттік медицина университеті, Алматы, Қазақстан

*e-mail: njumad581@gmail.com

ҚҰЛПЫНАЙ (*FRAGARIA ANANASSA DUCH.*) СОРТТАРЫН *IN VITRO* ЖАҒДАЙЫНДА ЕНГІЗУ ШАРТТАРЫН ОҢТАЙЛАНДЫРУ

Құлпынайды (*Fragaria ananassa Duch.*) *in vitro* жағдайында өсіру – вегетативті көбейтудің тиімді әдісі болып табылады. Бұл тәсіл қысқа уақыт ішінде генетикалық біртекті және вируссыз өсімдік материалын алуға мүмкіндік береді. Әдістің негізі – өсімдік экспланттарын, негізінен меристемаларды, асептикалық жағдайда арнайы қоректік ортада өсіру арқылы олардың регенерациясына және толыққанды өсімдікке айналуына жағдай жасау.

Бұл мақалада құлпынайды *in vitro* жағдайында өсірудің жекелеген кезеңдерін оңтайландыру, стерильдеуші агенттерді таңдау және экспланттарды қоректік ортаға отырғызу нәтижелері келтірілген. Зерттеу нысандары ретінде Федерика (Federica), Сан-Андреас (San-Andreas), Брин (Brin) сорттары пайдаланылды. Экспланттарды *in vitro* культурасына енгізу үшін әртүрлі концентрация мен экспозиция уақытындағы стерильдеуші заттар қолданылды: 0,1% сынап хлориді (HgCl₂) (3, 4, 5 минут), натрий гипохлориді (3, 4, 5 минут) және 12% сутегі асқын тотығы (5, 7, 9 минут). Зерттеу нәтижелері бойынша, 0,1% HgCl₂ ерітіндісін 5 минут қолдану кезінде өміршең экспланттардың ең жоғары шығымдылығы байқалды, олардың тіршілік ету көрсеткіші шамамен 85%-ды құрады. Кейінірек апикальді меристемалар Мурасиге–Скуг (МС) қоректік ортасына отырғызылды, оған бензиламинопурина (БАП) әртүрлі концентрацияларда қосылды. Экспланттарды өсіру үшін ең тиімді орта – құрамында 0,5 мг/л 6-БАП бар МС ортасы болып анықталды. Бұл ортада құлпынай экспланттарының өміршеңдігі 70–80% аралығында болды.

Түйін сөздер: стерильдеуші агенттер, қоректік орта, *in vitro* культурасына енгізу, экспланттар, сорт, құлпынай (*Fragaria ananassa Duch.*)

N.K. Dinanova^{1*}, K.P. Aubakirova², A. Rakhatkizy², L.S. Yerbolova^{2,4},
Zh.N. Bakytzhanova², M. Georgieva³, N.N. Galiakparov²

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²M.A. Aitkhozhin Institute of Molecular Biology and Biochemistry, Almaty, Kazakhstan

³Institute of Animal Science and Crop Production, Troyan, Bulgaria

⁴S.D. Asfendiyarov Kazakh National Medical University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: njumad581@gmail.com

Optimization of *in vitro* introduction conditions for strawberry (*Fragaria ananassa Duch.*) varieties

The introduction of strawberry (*Fragaria ananassa Duch.*) into *in vitro* culture is an effective method of vegetative propagation. This method allows for the rapid production of genetically uniform and virus-free plant material. The principle of the method involves the cultivation of plant explants—primarily meristems—under aseptic conditions on specialized nutrient media that promote their regeneration and further development into complete plants.

This article presents the results of optimizing the stages of *in vitro* culture introduction, the selection of sterilizing agents, and the planting of explants on nutrient media. The study focused on the strawberry varieties: Federica, San Andreas, and Brin. For explant introduction, the following sterilizing agents were used: 0.1% HgCl₂ (3 min, 4 min, 5 min), sodium hypochlorite (3 min, 4 min, 5 min), and 12% hydrogen peroxide (5 min, 7 min, 9 min) at different concentrations and exposure times. Based on the results of the study, the use of 0.1% HgCl₂ for 5 minutes as the sterilizing agent resulted in the highest number

of viable explants, with a survival rate of approximately 85%. Subsequently, the apical meristems were cultured on Murashige and Skoog (MS) medium supplemented with various concentrations of 6-benzyl-aminopurine (BAP). The optimal medium for *in vitro* cultivation of strawberry explants was MS medium supplemented with 0.5 mg/L of 6-BAP, ensuring an explant survival rate of 70–80% across the tested varieties.

Keywords: sterilizing agents, nutrient medium, *in vitro* introduction, explants, variety, strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.)

Н.К. Динанова^{1*}, К.П. Аубакирова², А. Рахаткызы², Л.С. Ерболова^{2, 4},
Ж.Н. Бакытжанова², М. Георгиева³, Н.Н. Галиакпаров²

¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

²Научно-исследовательский институт молекулярной биологии и биохимии
им. М.А. Айтхожина, Алматы, Казахстан

³Институт животноводства и земледелия, Троян, Болгария

⁴Казахский государственный медицинский университет имени С.Д. Асфендиярова, Алматы, Казахстан

*e-mail: njumad581@gmail.com

Оптимизация условий введения сортов земляники (*Fragaria ananassa* Duch.) в условиях *in vitro*

Введение земляники (*Fragaria ananassa* Duch.) в культуру *in vitro* является эффективным методом вегетативного размножения. Этот метод позволяет получить генетически однородный и безвирусный материал для выращивания в короткие сроки. Принцип метода заключается в культивировании растительных эксплантов – преимущественно меристем – в асептических условиях на специализированных питательных средах, способствующих их регенерации и последующему развитию полноценных растений.

В данной статье приведены результаты по оптимизации этапов введения в культуру *in vitro*, по подбору стерилизующих агентов и посадке эксплантов в питательные среды. Объектами исследования служили сорта земляники: Федерика (Federica), Сан-Андреас (San-Andreas), Брин (Brin). Для введения в культуру экспланта использовали стерилизующие препараты: 0,1% HgCl_2 (3 мин., 4 мин., 5 мин.), гипохлорит натрия (3 мин., 4 мин., 5 мин.) и 12% (5 мин., 7 мин., 9 мин.) перекись водорода в разных концентрациях и экспозициях времени. По результатам данного исследования использование 0,1% HgCl_2 (5 мин.) в качестве стерилизующего препарата показало наибольший выход жизнеспособных эксплантов, приживаемость эксплантов составила около 85%. В дальнейшем апикальные меристемы высаживали в питательную среду Мурасиге–Скуга (МС) с добавлением различных концентрации бензиламинопурина (БАП). Оптимальной питательной средой для культивирования эксплантов в культуре *in vitro* является среда МС с добавлением 0,5 мг/л 6-БАП, обеспечившая выживаемость эксплантов земляники в эксперименте 70–80%.

Ключевые слова: стерилизующие агенты, питательная среда, введение в культуру *in vitro*, экспланты, сорт, земляника, (*Fragaria ananassa* Duch.)

Қысқартулар: H_2O_2 – сутегі асқын тотығы, HgCl_2 – сынап бихлориді, 6-БАП – бензиламинопурин, ГҚ – гиббереллин қышқылы, МС – Мура-сиге – Скуг

Кіріспе

Қазіргі кезде заманауи ауыл шаруашылығының дамуына байланысты тұтынушыларды құнды, қауіпсіз және сапалы өніммен қамтамасыз ету өзекті мәселелердің бірі болып отыр. Заманауи бақ шаруашылығында маңызды міндеттердің бірі – жидек дақылдарының ассортиментін кеңейту. Бұл салада жеміс-жидектер ерекше маңызға ие, себебі олардың құрамында бай биохимиялық қосылыстар мен адам ағзасына қажетті дәрумендер мол.

Құлпынай (*Fragaria ananassa* Duch.) – бүкіл әлемде ең кең таралған, пайдалы, шипалы әрі экономикалық тұрғыдан тиімді жидек болып саналады. Құлпынай жемістері С, В₁, В₂ дәрумендеріне, ақуызға, кальцийге, калийге, мысқа, темірге және адам ағзасына қажетті көптеген қоректік элементтерге бай [1,2,3]. Құлпынай суық тию, туберкулез, қант диабеті, несеп-тас ауруы сияқты ауруларға қарсы қолдануға ұсынылады. Аталған пайдалы қасиеттері құлпынайды жидек өсіру, көшет шаруашылығы және құнды сорттарды өсіру салаларында жоғары сұранысқа ие етеді. Соңғы жылдары құлпынай әлем бойынша кеңінен өсірілетін мәдени дақылдардың біріне айналды. Бүгінгі таңда оның әлемдік өндірісі жыл сайын артып, шамамен 400 мың гектар алқаптан 9 миллион тоннаға жуық өнім алынууда [4].

Қазақстанда органикалық ауыл шаруашылығы қарқынды дамып келеді. Құлпынайдың егіс алқаптарының ұлғаюы мен кең таралуы сапалы отырғызу материалына деген сұранысты арттырып отыр [5,6]. Вируссыз отырғызу материалын алу және оны жедел көбейту мақсатында биотехнологиялық әдістер қолданылады [7]. Солардың ішінде микроклональды көбейту – болашағы зор, тиімді әдістердің бірі болып саналады.

Микроклональды көбейту – вируссыз жоғары сапалы өсімдіктерді өндірудің ең тиімді әдісі. Құлпынайды вегетативті көбейтудің негізгі әдісі дәстүрлі түрде (мүртшаларды) қолдану болып табылады, алайда бұл әдіс көбінесе фитопатогендермен зақымдануға бейім өсімдіктердің алынуына әкеледі [8]. Микрокөбейту вирус ауруларының таралуына ықпал ететін дәстүрлі көбейту әдісімен салыстырғанда вируссыз, генетикалық тұрақты өсімдік алуға мүмкіндік береді [9,10]. Осы әдіс арқылы өсімдіктің көбею жылдамдығы мен өнімділігі артады [11]. Микроклональды көбейтудің негізгі және маңызды кезеңі – *in vitro* културасына енгізу. Тиісті зарарсыздандырушы агентті және өсу реттегіштерін дұрыс таңдау регенеранттың қоректік ортада әрі қарай дамуына әсер етеді. Эксплантты *in vitro* културасына енгізу тиімділігі тек зарарсыздандырушы агентке ғана емес, сонымен қатар генотипке, оқшаулау уақытына және экспланттың физиологиялық күйіне де байланысты [12].

Ғылыми зерттеулер көрсеткендей, зарарсыздандырушы агентті оңтайландыру және оны дұрыс таңдау өсімдіктердің микрокөбейтілуіндегі маңызды кезең болып табылады. Ғылыми зерттеулерге сәйкес, зарарсыздандырушы агенттер экспланттың өміршеңдігіне және оқшаулау маусымдарына байланысты табыстылыққа әртүрлі әсер етеді. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, 1,0%-дық NaClO ерітіндісімен 5 минут өңделген экспланттарда зарардану пайызы төмен, ал өміршеңдік, биіктік және жапырақ саны жоғары болды [13]. Сынапқұрамды агент – 0,1% сулема қолданылғанда, экспланттарды қыс мезгілінде оқшаулау өнімділікті арттырады, ал орташа тіршілікке бейімділік 74,4–80,7% құрайды [14]. Осы автордың басқа зерттеулеріне сәйкес, эксплантты култураға енгізудің қолайлы мерзімі – маусым айындағы белсенді өсу фазасы болып табылады. Жемісті дақылдар экспланттарының тіршілікке бейімділігі бастапқы өсімдік материалының физиологиялық күйіне, оны *in vitro* културасына енгізу мерзіміне және сорт-

тардың генотиптік ерекшеліктеріне байланысты. Зарарсыздандырудың әртүрлі әдістеріне жүргізілген зерттеу мынадай дезинфекциялық заттардың жоғары тиімділігін көрсетті: 12,0% сутегі тотығы, 0,01% мертиолят, 0,1% сулема (сынап бихлориді) 0,2% күміс нитраты [15]. Күміс нано бөлшектері эксплантты тиімді зарарсыздандырып қана қоймай, *in vitro* жағдайындағы өркендердің өсуіне әсер етеді және микрокөбейту кезеңінде этиленнің мөлшерін төмендетеді [16]. 33% пергидроль – стерильді апекстердің 63% тіршілікке бейімділігімен ерекшеленетін тиімді зарарсыздандырушы агент болып табылады. Сондай-ақ 6% хлоргексединді қолдану култураға енгізілген экспланттардың 51,9% өміршеңдігін қамтамасыз етеді [17].

Меристемаларды *in vitro* културасына енгізу үшін стерилизация кезеңдері, өсу реттегіштерін (мысалы, 6-бензиламинопурин, кинетин) оңтайлы таңдау және фенолдардың тотығуын төмендететін заттарды, мысалы, аскорбин қышқылы немесе поливинилпирролидон қосу маңызды [1, 5, 6]. Апикальды меристемалар құлпынайды *in vitro* өсіруде негізгі рөл атқарады, өйткені олар вируссыз және генетикалық тұрақты өсімдіктер алуға мүмкіндік береді. Апикальды меристемаларды бастапқы материал ретінде қолдану жоғары регенерациялық қабілеттілік пен соматоклональдық өзгерістердің ең төменгі деңгейін қамтамасыз етеді, бұл сорттық белгілерді сақтау және коммерциялық көбейту үшін өте маңызды [18,19]. Меристемалық култура вирустар мен фитоплазмаларды жою үшін де тиімді, бұл отырғызу материалының сапасын молекулалық бақылау әдістерімен дәлелденген [20, 21, 22]. Меристема мөлшері тіршілікке бейімділікке және сауықтыру тиімділігіне әсер етеді: оңтайлысы – 0,2–0,3 мм көлеміндегі фрагменттер болып саналады [10]. Қоректік ортаға аминқышқылдар мен дәрумендерді қосу регенерацияны қосымша арттырып, тіндердің тотығуын азайтады. Осылайша, апикальды меристемалар *in vitro* културасында құлпынайдың сау, біртекті және сапалы өсімдіктерін жаппай алу үшін сенімді құрал [20,21,22].

Осы зерттеудің мақсаты – *in vitro* културасына енгізу әдістерін оңтайландыру, зарарсыздандырушы агенттерді іріктеу және экспланттарды қоректік ортаға отырғызу болды. Қазақстанда құлпынайды микроклональды көбейту кезінде қоректік ортаны жетілдіруге бағытталған зерттеулер жүргізілді. Бұл зерттеулердің нәтижесіне сәйкес, жеміс-жидек дақылдарын микрокөбейту

үшін химиялық құрамдары модификацияланған Мурасиге-Скуга ортасын қолдану ұсынылады [23]. Мурасиге-Скуга ортасы өсу гормондары – 6-бензиладенин (БА), нафталинсірке қышқылы (НАА), индол-3-май қышқылы (ИМК) қосылған түрде құлпынайды микрокөбейту, өркендердің пролиферациясы және өртүрлі құлпынай сорттарының тамырлануы үшін жиі қолданылады [3,10, 23].

Зерттеу материалдары мен әдістері

2.1 Зерттеу нысандары сипаттамасы

Зерттеу нысандары ірі жемісті құлпынай сорттары болды: Федерика, Сан-Андреас, Брин (итальяндық және калифорниялық селекционерлер шығарған). Зерттелген сорттар шаруашылыққа маңызды белгілерінің жоғары көрсеткіштерімен сипатталады және Қазақстандағы көшет өсірушілер арасында кеңінен қолданылады.

Федерика (Federica) сорты – жоғары тауарлық және дәмдік қасиеттерге, жақсы сақталғыштыққа және ауруларға төзімділікке ие болашаққа үміт артатын ремонтантты бақша құлпынайының сорты. Ұзақ жеміс беру кезеңі мен жидектердің тұрақты жоғары сапасына байланысты бұл сорт коммерциялық өндіріс үшін ерекше қызығушылық тудырады. Жидектерінің орташа салмағы – 35 г, әдемі конус тәрізді пішінді, тәтті, целлюлозасы жеткілікті тығыз әрі шырынды. Бір түптен алынатын өнім 700–1000 г.

Сан-Андреас (*San-Andreas*) сорты – Калифорния селекционерлерінің сорты. Сан-Андреас (*San Andreas*) – жоғары өнімді, бейтарап күн ұзақтығына жауап беретін бақша құлпынайының сорты (*Fragaria* × *ananassa*), АҚШ-тың Калифорния университетінде (UC Davis) шығарылған. Жидектері ірі (25–35 г), ұзынша-конусты пішінді, тығыз, біркелкі қызыл түсті және жақсы дәмдік қасиеттерге ие. Тамыр жүйесі мен жапырақ ауруларына жоғары төзімділігімен ерекшеленеді, тасымалдауға шыдамды және қарқынды өсіру технологияларына, оның ішінде гидропоника мен субстраттық жүйелерге қолайлы.

Брин сорты (*Brin*) – италиялық селекцияға жататын қазіргі заманғы бейтарап күн ұзақтығына бейімделген бақша құлпынайының сорты (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) жабық және ашық топырақ жағдайында жыл бойы өсіруге арналған. Жидектері ірі (орташа салмағы 25–30 г), біртекті, ұзынша-конус тәрізді пішінді, ашық қызыл түсті, жылтырлығымен ерекшеленеді, целлюлозасы тығыз, шырынды және үйлесімді

дәмге ие. Бұл сорт тасымалдауға және сақтауға төзімділігімен ерекшеленеді, (*Botrytis cinerea* және *Oidium fragariae*) секілді негізгі саңырауқұлақ ауруларына төзімді және қарқынды өсіруге, оның ішінде жылыжайлық және тік жүйелерге жақсы бейімделген.

2.2 Экспланттарды зарарсыздандыру

Зерттеу жұмысы М.Ә.Айтхожин атындағы молекулалық биология және биохимия ғылыми-зерттеу институтының молекулалық генетика және биотехнология зертханасында жүргізілді. Эксплант ретінде қысқы кезеңде (желтоқсан айында) оқшауланған апикальды меристемалар қолданылды.

Стерилизация келесі схема бойынша кезең-кезеңімен жүргізілді:

1. Ағынды суда жуу – 30 минут
2. Сілтілі (сабынды) ерітіндіде жуу – 30 минут
3. Сутегі тотығымен өңдеу – 5 минут
4. Автоклавталған суда жуу – 10 минут
5. Негізгі зарарсыздандырғышпен өңдеу – 3–9 минут

Автоклавталған суда үш мәрте жуу – әрқайсысы 10 минуттан. Негізгі зарарсыздандырғыш ретінде келесі заттар қолданылды: 0,1% сынап хлориді (HgCl_2), су негізіндегі ағартқыш зат – натрий гипохлориді («Белизна») 1:4 концентрациясында, және 12% сутегі тотығы (H_2O_2) өртүрлі өңдеу уақытымен.

In vitro культурасына енгізу кезеңінде фитогормондардың өртүрлі комбинациясы қосылған Мурасиге–Скуга (МС) ортасы қолданылды. Ортаның құрамына БАП (6-бензиламинопурин) 0,2, 0,4 және 0,5 мг/л концентрацияларында, кинетин 0,5 мг/л және гиббереллин 0,5 мг/л қосылды. Көміртек көзі ретінде 30 г/л концентрациясында сахароза қолданылды. Жартылай қатты қоректік орта алу үшін 6–8 г/л мөлшерінде агар-агар пайдаланылды.

Қоректік орталар ыдыстарға құйылып, автоклавта +120°C температурада және 0,8–1 атм қысымда 30 минут бойы стерилденді. Культивирленген өсімдіктер 24°C температурада, жарықтандыру деңгейі 25 мкмоль, 16 сағаттық фотопериодта жарықтық өсіру бөлмесіне орналастырылды.[23]

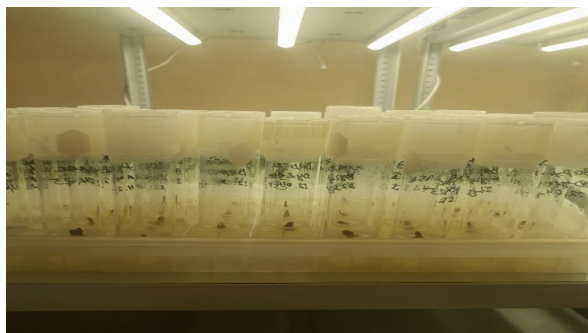
Тәжірибелер үш мәрте қайталанып орындалды. Алынған деректердің статистикалық өңдеуі мен талдауы Microsoft Excel бағдарламасын пайдаланылып жүргізілді. Зерттеу нәтижелері орташа мәндер түрінде және олардың стандартты қателіктерімен бірге ұсынылды.

Зерттеу нәтижелері және оларды талдау

Өсімдіктерді *in vitro* культурасына тиімді енгізуге стерилизация әдісі, оқшаулау уақыты мен экспланттың физиологиялық күйі, сорттың генетикалық ерекшеліктері, ауа райы жағдайлары және өсімдіктің жалпы денсаулығы әсер етеді. Зерттеушілердің пікірінше, экспланттың тіршілікке бейімділігіне стерилизация агенті мен қоректік орта да әсер етеді. Олардың зерттеулері бойынша, 1% күміс нитратымен стерилизациялау және меристеманы құрамында 1 мг/л БАП бар қоректік ортаға отырғызу жақсы нәтижелер көрсетті [23]. Ғалымдардың зерттеулеріне сәйкес, құлпынайды *in vitro* культурасына енгізу кезінде

белсенді өсу фазасында (маусым айында) оқшаулау және 0,1% сулемамен стерилизациялау (64,7–71,7%) өміршең экспланттардың ең жоғары шығымын қамтамасыз етті [24].

Құлпынай экспланттарын зарарсыздандырудың оңтайлы әдісін таңдау үш түрлі нұсқада жүргізілді. Бұл нұсқаларда стерильдеуші агенттер ретінде 0,1% сулема, натрий гипохлориті, сутегі асқын тотығы және олардың әртүрлі концентрациялары, сондай-ақ зарарсыздандыру кезеңдерінің ұзақтығы қарастырылды. Әрбір нұсқада алғашқы кезең сабынды ерітіндіде жуу болды (1-сурет, А). Зарарсыздандырылған экспланттар МС қоректің ортаға енгізілді (1-сурет, Б).



А



Б

1-сурет – Экспланттарды дайындау және қоректік ортаға енгізу
А – зарарсыздандыру кезеңі, Б – енгізілген экспланттар

Құлпынай экспланттарын зарарсыздандырудың оңтайлы әдісін таңдау үш нұсқада жүргізілді:

1-нұсқа – экспланттарды 3% сутегі тотығы ерітіндісімен 5 минут өңдеу, кейін 5 минут бойы автоклавталған сумен жуу, содан кейін экспланттарды 0,1% HgCl_2 ерітіндісімен әртүрлі өңдеу уақытында (3, 4, 5 минут) зарарсыздандыру.

2-нұсқа – экспланттарды 3% сутегі тотығы ерітіндісімен 5 минут өңдеу, кейін 5 минут автоклавталған сумен жуу, содан кейін экспланттарды натрий гипохлоритімен әртүрлі экспозиция уақыттарында (3, 4, 5 минут) өңдеу.

3-нұсқа – экспланттарды 3% сутегі тотығы ерітіндісімен 5 минут өңдеу, кейін 5 минут автоклавталған сумен жуу, содан кейін 12% сутегі тотығы ерітіндісімен әртүрлі экспозиция уақыттарында (5, 7, 9 минут) өңдеу.

Біздің зерттеулерімізде құлпынайдың апикальды меристемаларын *in vitro* культурасы-

на енгізу кезінде әртүрлі зарарсыздандырушы агенттердің тиімділігіне жүргізілген талдау нәтижесінде ең жоғары регенерация пайызы (85%) 0,1% HgCl_2 ерітіндісін 5 минут қолданғанда байқалды. (1-кесте) Алайда экспланттардың регенерация деңгейі жоғары болғанына қарамастан, некроз жиілігінің артуы (2 дана) да тіркелді, бұл препараттың ұзақ әсер ету жағдайында уыттылығын көрсетеді. 0,1% HgCl_2 ерітіндісін 4 минут қолданған нұсқада бұл жағдайда апикальды меристемалардың 75% регенерациясы қамтамасыз етілді, ал инфекцияланған (3 дана) және некрозға ұшыраған (2 дана) үлгілердің саны төмен деңгейде болды. Экспозиция уақытын 3 минутқа дейін қысқарту экспланттардың зарардану санының артуына (7 дана) әкеліп, регенерация тиімділігін 35%-ға дейін төмендетті. 1:4 қатынастағы («Белизна») натрий гипохлориді ерітіндісімен жүргізілген стерилизация тұрақсыз нәтижелер көрсетті: 3–4 минуттық экспозиция кезінде реге-

нерация 35%-дан 45%-ға дейін өзгеріп отырды. бұл ретте некроз деңгейі жоғары болды (12 дана-ға дейін). Экспозиция уақытын 5 минутқа дейін арттырғанда, некроз деңгейі жоғары болды (12 данаға дейін) экспланттар «Белизна» ағартқышының химиялық күйдіру әсерінен жойылып кетті. Сол сияқты, 12% сутегі тотығын (H_2O_2) әртүрлі экспозиция ұзақтығында қолдану реге-

нерацияның өте төмен көрсеткіштерін (25–35%) көрсетті, бұл бұл агенттің құлпынай апекстерін *in vitro* культурасына енгізуге жарамсыз екенін дәлелдейді. Зерттеу нәтижелері бойынша, 1-нұсқа стерилизация (0,1% $HgCl_2$, 5 минут экспозиция) оңтайлы болып танылып, құлпынай өсімдігінің экспланттарын әрі қарай зарарсыздандыру үшін қолданылды (1-кесте).

1 кесте – Құлпынай сорттарының апикальды меристемаларын залалсыздандыру

	Зарарсыздандырушы препараттар	Енгізілген апикальді меристемалар саны, дана	Залалданған, дана	Некроз, дана	Өңдеу уақыты, мин.	Регенерацияға қабілеттілері, дана	
						дана	%
1.	0,1% $HgCl_2$	20	9	4	3	7	35
2.	0,1% $HgCl_2$	20	3	2	4	15	75
3.	0,1% $HgCl_2$	20	1	2	5	17	85
4.	Натрий гипохлориті+ H_2O (1:4)	20	10	3	3	7	35
5.	Натрий гипохлориті + H_2O (1:4)	20	8	3	4	9	45
6.	Натрий гипохлориті + H_2O (1:4)	20	3	12	5	5	25
7.	12% H_2O_2	20	15	-	5	5	25
8.	12% H_2O_2	20	14	-	7	6	30
9.	12% H_2O_2	20	12	1	9	7	35

Әртүрлі құлпынай сорттарының апекстерінің регенерациялық қабілетін салыстырмалы талдау нәтижесінде ең жоғары регенерация Федерика сортында байқалды – 51% (35 апекстің 18-сі). Сан-Андреас сортында бұл көрсеткіш 40% (35-тен 14 апекс), ал Брин сорты ең төменгі регенерациялық қабілеттілікті көрсетті – 31% (35-тен

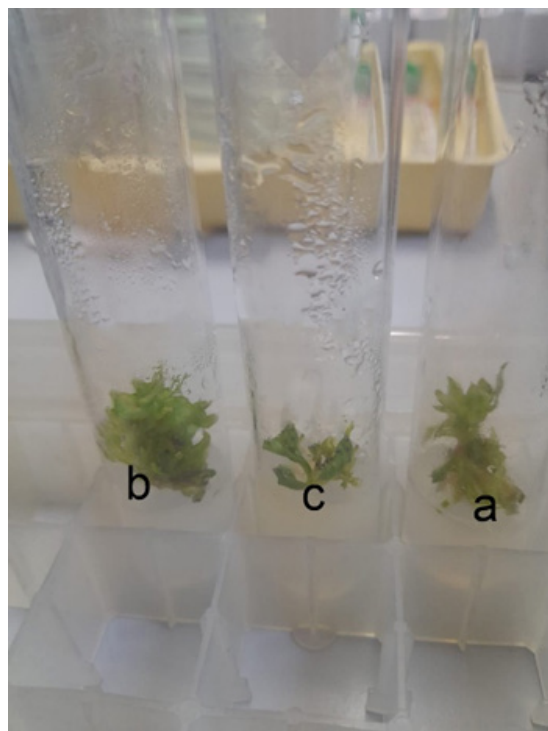
11 апекс). Осылайша, зерттелген сорттардың ішінде Федерика сорты *in vitro* культурасына енгізуге ең перспективті сорт ретінде ұсынылады. Зерттеу нәтижелері бойынша регенерацияланатын апекстердің жоғары пайызы Федерика сортында байқалды, ал ең төменгісі – Брин сортында тіркелді (2-кесте).

2 кесте – Құлпынайдың апикальды меристемаларын *in vitro* культурасына енгізу

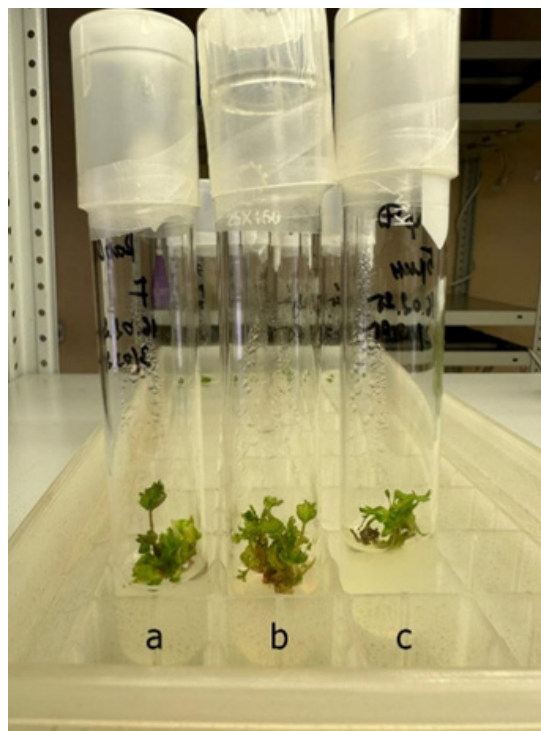
Құлпынай сорттары	Енгізілген экспланттар	Регенерация қабілеті	
		дана	%
Федерика	35	18	51
Сан -Андреас	35	14	40
Брин	35	11	31

Зерттеуіміздің келесі кезеңі *in vitro* жағдайында құлпынай өсімдігінің регенерациялық қабілетін анықтау болды. Басқа ғалымдардың зерттеулері бойынша 0,5 мг/л кинетин қосылған қоректік ортада өсірілген экспланттардан регенерацияланған өскіндер қосылмаған ортада өсірілген өскіндермен

салыстырғанда жоғары өсу көрсеткіштерін көрсетті. [25]. Біздің зерттеуімізде де кинетин қосылған орта жақсы нәтиже көрсетті. Құлпынай экспланттары фитогормондардың әртүрлі концентрациялары қосылған әмбебап Мурасиге–Скуга (МС) ортасында өсірілді (2-сурет).



А



Б

2 сурет – *In vitro* жағдайында құлпынай апикальды меристемаларының регенерациясының басталуы (А-4 аптадан кейінгі регенерация а-Сан-Андреас, в-Федерика, с-Брин; Б-6 аптадан кейінгі регенерация а-Сан-Андреас, в-Федерика, с-Брин)

Экспланттар қоректік ортаға енгізу үшін оптимальді қоректік орта таңдалды. Барлығы үш түрлі қоректік орта нұсқасы сынақтан өткізілді:

1-нұсқа: МС – 4,4 г/л, сахароза – 30 г/л, БАП (бензиламинопурин) – 0,5 мг/л, кинетин – 0,2 мг/л, ГҚ-0,5 мг/л, агар – 7 г/л, рН = 5,8

2-нұсқа: МС–4,4г/л, сахароза–30г/л, БАП–0,4 мг/л, ГҚ-0,3мг/л агар–7г/л, рН=5,8

3-нұсқа: МС–4,4 г/л, сахароза – 30г/л, БАП–0,2 мг/л, ГҚ- 0,3 мг/л, , агар –7г/л, рН=5,8

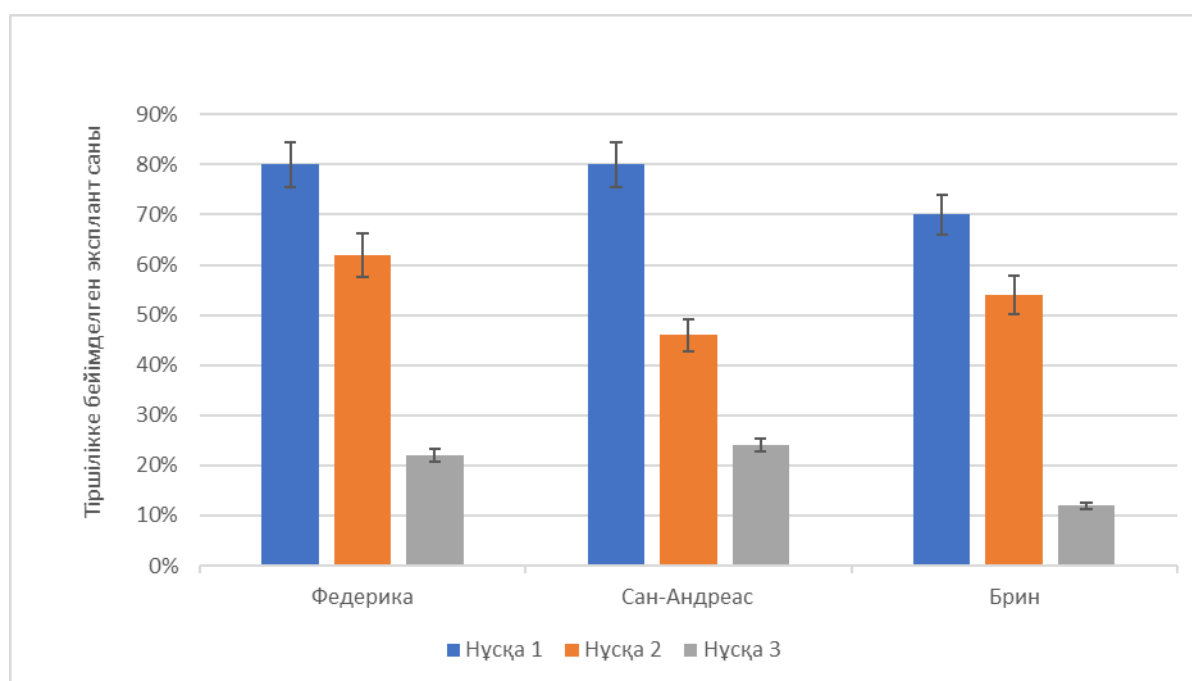
Белгілі болғандай, апикальды меристемалардың регенерациясы ең ерте мерзімде барлық сорттарда 0,5 мг/л БАП қосылған МС қоректік ортасында 9–10-шы тәулікте байқалды, ал екі нұсқада бүршіктердің алғашқы регенерациясы тек 14–16-шы тәулікте тіркелді. 3-кестеде келтірілген деректерге сәйкес, өсу реттеушілері құлпынай экспланттарының тіршілікке бейімділігіне едәуір әсер етеді. Бірінші нұсқада (Н-1) *in vitro* жағдайында «Федерика» және «Сан-Анд-

реас» сорттарының экспланттарының тіршілікке бейімділігі жоғары болды және тиісінше 80% және 70% (Брин сорты) құрады. Екінші нұсқада (Н-2) экспланттардың тіршілікке бейімділігі төмен болды: «Федерика» сорты – 62%, «Сан-Андреас» – 46%, «Брин» – 54%. Ал үшінші нұсқада (Н-3) қоректік ортада экспланттардың тіршілікке бейімділігі ең төмен көрсеткіш көрсетті: «Федерика» үшін – 22%, «Сан-Андреас» үшін – 24%, ал «Брин» сорты үшін – небәрі 12% (3-кесте).

Осылайша, зерттеу нәтижелері бойынша құлпынай экспланттарын *in vitro* культурасына енгізудің оңтайлы нұсқасы ретінде құрамында 0,5 мг/л БАП қосылған Мурасиге-Скуг (МС) қоректік ортасы анықталды. Осы ортада барлық сорттарда регенерация 9–10-шы күндері байқалды. Сонымен қатар, экспланттардың тіршілікке бейімділігі жоғары болып, зерттелген барлық сорттар үшін 70–80% аралығында болды (3-сурет).

3 кесте – Құлпынай өсімдіктері экспланттарының әртүрлі қоректік орталардағы тіршілікке бейімділігі

Сорт атауы	Экспланттардың өміршеңдігі, дана								
	Нұсқа – 1			Нұсқа – 2			Нұсқа – 3		
	Эксплант саны, дана	Тіршілікке бейімделген эксплант саны		Эксплант саны, дана	Тіршілікке бейімделген эксплант саны		Эксплант саны, дана	Тіршілікке бейімделген эксплант саны	
		дана	%		дана	%		дана	%
Федерика	50	40	80±5,7	50	30	60±6,9	50	11	22±5,9
Сан-Андреас	50	40	80±5,7	50	24	48±7,07	50	12	24±6
Брин	50	35	70±6,5	50	27	54±7,05	50	6	12±4,6



3 сурет – Құлпынай өсімдіктерінің әртүрлі қоректік орталарда өсу динамикасы

Алынған нәтижелер *in vitro* культураның дағы сорттардың өзіндік ерекшеліктеріне, генотипіне және гормондар концентрациясына байланысты болатынын растады. *In vitro* культураның дағы өсімдіктердің регенерациялық қабілеті әртүрлі болғандықтан зерттелетін сорттар үшін тиімді қоректік ортаны таңдау жұмысы жүргізілді. Зерттеу нәтижелері бірінші нұсқа аталған үш сорт үшін тиімді екенін көрсетті.

Қорытынды

Өткізілген зерттеулер нәтижесінде әртүрлі стерильдеуші заттардың құлпынайдың *in vitro*

жағдайындағы пролиферациясына әртүрлі әсер ететіні анықталды. Ең тиімді стерильдеуші зат ретінде 0,1% сынап хлориді ($HgCl_2$) ерітіндісі 5 минуттық экспозициямен танылды. Бұл препарат жоғары стерильдік деңгейін көрсетіп, экспланттардың тіршілікке бейімділігі мен регенерациялық қабілетін арттырды – өңделген үлгілердің 85%-ына дейін өміршеңдік қабілеттері байқалды.

Зерттеу барысында қоректік орта құрамының әсері қарастырылып, 6-бензиламинопуриннің (БАП) 0,5 мг/л мөлшерде қосылуы экспланттардың тіршілікке бейімділігін жақсартып, морфогенез үдерістерін жеделдететі-

ні анықталды. Федерико, Сан-Андреас және Брин үш құлпынай сорттары үшін *in vitro* жағдайында экспланттарды өсіруге арналған оңтайлы қоректік орта болып, 0,5 мг/л БАП қосылған Мурасиге-Скуга (МС) ортасы танылды. Бұл ортада экспланттардың тіршілікке бейімділігі Федерико және Сан-Андреас сорттары үшін 80%, ал Брин сорты үшін 70% құрады. Мұндай БАП концентрациясы экспланттардың өсуі мен дамуы үшін қолайлы жағдай жасап, белсенді пролиферацияға және жаңа

өркендердің түзілуіне ықпал етті. Осылайша, стерилизация үшін 0,1% HgCl₂ (5 минут) ерітіндісін және қоректік ортада 0,5 мг/л БАП қосылуын қолдану құлпынайды *in vitro* жағдайында көбейтуге арналған ең тиімді протокол ретінде ұсынылады.

АЛҒЫС

Зерттеу BR28712245 бағдарламасы аясында жүргізілді.

Әдебиеттер

1. Nehra N.S., Kartha K.K., Stushnoff C., Giles K.L. Effect of *in vitro* Propagation Methods on Field Performance of Two Strawberry Cultivars // *Euphytica*. – 1994. – Vol.76.- No 1-2, – P.107-115.
2. Kulikov I.M. Innovative technologies of cultivation of strawberry // Moscow: Rosinformagrotech. (in Russian). – 2010. – P.88.
3. Hermendes-Martinez, N.B., Bianchard, C., Weles D., Salazan-Gultierrez, M.R. Текущее состояние и перспективы коммерческого производства клубники: обзор // *Sci. Hort.* – 2023. – Vol 312.
4. Barth E., E. Barth, J.T.V. de Resende, A.F.P. Moreira, K.H. Marigule, A.R. Zeist, M.B. Silva, G.C.G. Stulzer, J.G.M. Mafra, L.S.A. Gonçalves, S.R.Roberto, K. Youssef Selection of Experimental Hybrids of Strawberry Using Multivariate Analysis // *Agronomy*. – 2020. – Vol. 12. – No 4. – P.598.
5. Линник Т.А. Повышение эффективности способов размножения сортов земляники садовой (*Fragaria ananassa* Duch.), характеризующийся низкой усообразующей способностью // дис. на соиск. учен. степ. канд. с.-х. наук (06.01.05). Линник Татьяна Александровна; ФГБНУ ВНИИО. – Москва. 2014. – С141.
6. Batukaev A.A., Kornatsky S.A. Garden Strawberry plants: From Test-Tubes to Plantation // *AgroSmart*.- 2019. – P.861.
7. Suleymanova, S.D. Microclonal propagation of fruit crops // *Wschodnioeuropean Czasopismo Naukowe*, Vol. 11. – No 2. – 2016.- P.47-54. (In Russian, English abstract).
8. Сингх, В., Банерджи, Д. и Тхакур, Р. Микроразмножение клубники обзор // *E3S Web of Conferences*. – 2023. – Vol 453. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202345301019>
9. M. Parades, A. Lavin Massive Micropropagation of Chilean Strawberry // *HortScience HortSci*. – 2005. – Vol. 40. – No 6.- P. 16-46.
10. Valliath Sanjay Akash, Mondal Radhajogita. Micropropagation of Strawberry Crop (*Fragaria ananassa*):A Review. // *Bhartiya Krishi Anusandhan Patrika*. – 2023. Vol. 38. – No 1.- p. 41-44.
11. Kryukov L., D.I. Vodolazhsky, R. Kamenetsky-Goldstein. Micropropagation of Grapevine and Strawberry from South Russia: Production and Genetic Uniformity. // *Agronomy*. – 2022. – Vol. 12. – No 2.- P 308.
12. Boxus P.H. The production of strawberry plants by *in vitro* micropropagation // *Journal of Horticultural Science*. 1974- Vol. 49. – No3. -P. 209–210.
13. Нери, Дж., Гоньяс, М., Уаман-Уаман, Э., Техада-Альваро, Дж., Мелендес-Мори, Дж., Вилька-Вальки, Н. и Олива, М. Оптимизированный протокол микроразмножения и акклиматизации клубники (*Fragaria × ananassa* Duch.) // *Agronomy*. – 2022. – Vol. 12. – No 4. – P 968, <https://doi.org/10.3390/agronomy12040968>.)
14. Мацнева О.В., Ташматова Л.В., Хромова Т.М., В. Шахов. Разработка протокола введения растений земляники в культуру *in vitro* // *Bulletin of Agrarian.- Science*. – 2020. Vol. 5. – No 86.- P. 45-50.
15. Хромова Т., Мацнева О. Оптимизация систем регенерации генотипов ягодных культур на этапе инициации *in vitro* // *BIO Web of Conferences*. – 2022 <https://doi.org/10.1051/bioconf/20224704004>.)
16. Tung H., Tran Thi Thuong, D.M. Cuong, Vu Quoc Luan, V. Hieu, Nguyen Ba Nam, H.T. Phuong, Dui Han The Vinh, H. Khai, D. Nhut. Silver nanoparticles improved explant disinfection, *in vitro* growth, runner formation and limited ethylene accumulation during micropropagation of strawberry // *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 2021- Vol.145. – P. 393-403.
17. Маркова М.Г., Е.Н. Сомова. Оптимизация приёмов введения садовых растений в стерильную культуру *in vitro* // *Известия ТСХА*. – 2020. выпуск 4, – С. 71–81.
18. Хашеми-Петрудди С., Гасеми Ю. и Хагпана М. Выявление соматической изменчивости в растениях, регенерированных из различных тканей земляники (*Fragaria x ananassa*), с помощью маркера ISSR // *Iranian Journal of Genetics and Plant Breeding (IJGPB)*.-2018.-Vol7.-P.65-72. <https://doi.org/10.30479/IJGPB.2019.10481.1241>.
19. Ким, К., Наинг, А., Чунг, М., Парк, С. и Ким, С. Метод размножения *in vitro* для получения морфологически и генетически стабильных растений различных сортов клубники // *Plant Methods*, – 2019. – vol 15. <https://doi.org/10.1186/s13007-019-0421-0>
20. Саршаева М., Ташкенбаева А., Билибаева А., Ирсалиева З. и Устемирова А. Технологические аспекты размножения органической клубники *in vitro* // *Журнал селекции и генетики САБРАО*. 2024.- Vol. 56, No 1 С. 246–257 <https://doi.org/10.54910/sabrao2024.56.1.22>

21. Кирос К., Берриос М., Карраско Б., Ретамалес Х., Калигари П. и Гарсия-Гонсалес Р. Культура меристем и последующее микроразмножение чилийской земляники (*Fragaria chiloensis* (L.) Duch.) // Биологические исследования. – 2017.-vol 50. P 20.<https://doi.org/10.1186/s40659-017-0125-8>.
22. Мокбель С. и Хедер А. Размножение растений клубники, свободных от фитоплазмы, в лабораторных условиях и молекулярная характеристика патогена // Ближневосточный журнал прикладных наук. 2020 – Vol. 10. – No 3. – (July–Sept 2020), С. 490–500. <https://doi.org/10.36632/mejas/2020.10.3.43>.
23. Дольгих С.Г. Технология производства безвирусного посадочного материала плодовых ягодных культур винограда. Алматы, 2020 – С. 90.
24. Matsneva O.V., Tashmatova L.V., Khromova T.M., Shakhov V.V. The introduction of strawberry varieties into in vitro culture // Pomiculture and small fruits culture in Russia. -2019.-Vol.56-P.28-34. (In Russ.) <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2019-56-28-34>
25. А. Х. Наинг, Си Хён Ким, М. Чун, Сун Ки Пак и Ч. Ким. Метод размножения *in vitro* для получения морфологически и генетически стабильных растений различных сортов клубники // Plant Methods. – 2019. – Vol 15. (. <https://doi.org/10.1186/s13007-019-0421-0>).

References

1. Barth E., Mihaljevic Z., Gvozdanovic-Varga J., Nikolic R. Selection of experimental hybrids of strawberry using multivariate analysis. *Agronomy*, 2020, vol. 10, no. 4, p. 598.
2. Batukaev A.A., Kornatsky S.A. Garden strawberry plants: From test-tubes to plantation. *AgroSmart*, 2019, p. 861.
3. Boxus P.H. The production of strawberry plants by in vitro micropropagation. *Journal of Horticultural Science*, 1974, vol. 49, no. 3, pp. 209–210.
4. Dolgikh S.G. Tekhnologiya proizvodstva bezvirusnogo posadochnogo materiala plodovykh yagodnykh kultur vinograda [Technology of virus-free planting material production of fruit and berry crops and grapes]. Almaty, 2020, 90 p.
5. Hermendes-Martinez N.B., Bianchard C., Weles D., Salazan-Gultierrez M.R. Tekushchee sostoyanie i perspektivy kommercheskogo proizvodstva klubniki: obzor [Current status and prospects of commercial strawberry production: A review]. *Scientia Horticulturae*, 2023, vol. 312
6. Khashemi-Petrudi S., Gaseini Yu., Khagpana M. Vyyavlenie somaklonal'noy izmenchivosti v rasteniyakh, regenerirovannykh iz razlichnykh tkanei zemlyaniki (*Fragaria* × *ananassa*), s pomoshch'yu markera ISSR [Detection of somaclonal variation in regenerated strawberry plants using ISSR markers]. *Iranian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 2018, vol. 7, pp. 65–72.
7. Khromova T., Matsneva O. Optimizatsiya sistem regeneratsii genotipov yagodnykh kultur na etape initsializatsii in vitro [Optimization of regeneration systems for berry crop genotypes at in vitro initiation stage]. *BIO Web of Conferences*, 2022, vol. 47.
8. Kim K., Naing A., Chung M., Park S., Kim S. Metod razmnzheniya in vitro dlya polucheniya morfologicheskii i geneticheskii stabil'nykh rasteniy razlichnykh sortov klubniki [An in vitro propagation method to produce morphologically and genetically stable plants of various strawberry cultivars]. *Plant Methods*, 2019, vol. 15.
9. Kryukov L., Vodolazhsky D.I., Kamenetsky-Goldstein R. Micropropagation of grapevine and strawberry from South Russia: Production and genetic uniformity. *Agronomy*, 2022, vol. 12, no. 2, p. 308.
10. Kulikov I.M. Innovatsionnye tekhnologii vozdeystviya zemlyaniki [Innovative technologies of strawberry cultivation]. Moscow: Rosinformagrotech, 2010, 88 p.
11. Linnik T.A. Povishenie effektivnosti sposobov razmnzheniya sortov zemlyaniki sadovoy (*Fragaria* × *ananassa* Duch.), kharakterizuyushchikhsya nizkoy usobrazuyushchey sposobnostyu [Improving propagation methods for garden strawberry cultivars with low runner ability]. PhD Thesis. Moscow: VNIIO, 2014, 141 p.
12. Markova M.G., Somova E.N. Optimizatsiya priemov vvedeniya sadovykh rasteniy v steril'nyu kul'turu in vitro [Optimization of techniques for introducing garden plants into sterile in vitro culture]. *Izvestiya TSKhA*, 2020, no. 4.
13. Matsneva O.V., Tashmatova L.V., Khromova T.M., Shakhov V.V. The introduction of strawberry varieties into in vitro culture. *Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*, 2019, vol. 56, pp. 28–34.
14. Matsneva O.V., Tashmatova L.V., Khromova T.M., Shakhov V.V. Razrabotka protokola vvedeniya rasteniy zemlyaniki v kul'turu in vitro [Development of a protocol for introducing strawberry plants into in vitro culture]. *Bulletin of Agrarian Science*, 2020, vol. 5, no. 86, pp. 45–50.
15. Mokbel S., Kheder A. Razmnzhenie v laboratornykh usloviyakh rasteniy klubniki, svobodnykh ot fitoplazmy, i molekulyarnaya kharakteristika patogena [In vitro propagation of phytoplasma-free strawberry plants and molecular characterization of the pathogen]. *Middle East Journal of Applied Sciences*, 2020, vol. 10, no. 3.
16. Naing A.Kh., Kim S.Kh., Chung M., Pak S.K., Kim Ch. Metod razmnzheniya in vitro dlya polucheniya morfologicheskii i geneticheskii stabil'nykh rasteniy razlichnykh sortov klubniki [An in vitro propagation method for obtaining morphologically and genetically stable plants of various strawberry cultivars]. *Plant Methods*, 2019, vol. 15.
17. Nehra N.S., Kartha K.K., Stushnoff C., Giles K.L. Effect of in vitro propagation methods on field performance of two strawberry cultivars. *Euphytica*, 1994, vol. 76, no. 1–2, pp. 107–115.
18. Neri J., Gonias M., Huaman-Huaman E., Tejeda-Alvarado J., Melendez-Mori J., Vilca-Valqui N., Oliva M. Optimizirovannyi protokol mikrorazmnzheniya i akklimatizatsii klubniki (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) sorta “Aromat” [Optimized protocol for micropropagation and acclimatization of the strawberry cultivar ‘Aromat’]. *Agronomy*, 2022. vol. 12, no.4, p. 968.
19. Parades M., Lavin A. Massive micropropagation of Chilean strawberry. *HortScience*, 2005, vol. 40, no. 6, p. 1646.

20. Retamales J., Caligari P., Berrios M., Carrasco B., Garcia-Gonzalez R., Quiros K. Kultura meristem i posleduyushchee mikroklonirovanie chiliyskoy zemlyaniki (*Fragaria chiloensis* (L.) Duch.) [Meristem culture and subsequent microcloning of Chilean strawberry]. *Biological Research*, 2017, vol. 50.
21. Sarschaeva M., Tashkenbaeva A., Bilibaeva A., Irsalieva Z., Ustemirova A. Tekhnologicheskie aspekty razmnzheniya organicheskoy klubniki in vitro [Technological aspects of organic strawberry in vitro propagation]. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*, 2024, vol. 56, no. 1, pp. 246–257.
22. Singh V., Banerjee D., Thakur R. Mikrorazmnzhenie klubniki: obzor [Micropropagation of strawberry: A review]. *E3S Web of Conferences*, 2023, vol. 453.
23. Suleymanova S.D. Mikroklonal'noe razmnzhenie plodovyykh kultur [Microclonal propagation of fruit crops]. *Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe*, 2016, vol. 11, no. 2, pp. 47–54.
24. Tung H., Nguyen N., Binh N., et al. Silver nanoparticles improved explant disinfection, in vitro growth, runner formation and limited ethylene accumulation during micropropagation of strawberry. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 2021, vol. 145, pp. 393–403.
25. Valliath Sanjay Akash, Mondal Radhajogita. Micropropagation of strawberry crop (*Fragaria ananassa*): A review. *Bhartiya Krishi Anusandhan Patrika*, 2023, vol. 38, no. 1, pp. 41–44.

Авторлар туралы мәлімет:

Динанова Нагима Керимбековна – әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің биотехнология кафедрасының PhD докторанты, М.А. Айтхожин атындағы Молекулалық биология және биохимия институтының биотехнология және молекулалық генетика зертханасының зертханашысы (Алматы, Қазақстан, e-mail: njumad581@gmail.com).

Аубакирова Карлыгаш Пазилхаковна – PhD, қауымдастырылған профессор, М.А. Айтхожин атындағы Молекулалық биология және биохимия институтының биотехнология және молекулалық генетика зертханасының меңгерушісі, (Алматы, Қазақстан, e-mail: karla_78@mail.ru).

Рахатқызы Акбота – М.А. Айтхожин атындағы Молекулалық биология және биохимия институтының биотехнология және молекулалық генетика зертханасының кіші ғылыми қызметкері, (Алматы, Қазақстан, e-mail: akbotarahatkyzy1@gmail.com).

Ерболова Лаура Сериккановна – PhD, М.А. Айтхожин атындағы Молекулалық биология және биохимия институтының биотехнология және молекулалық генетика зертханасының аға ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан, e-mail: yerbolova.laura7@gmail.com).

Бакытжанова Жибек Нурланқызы – М.А. Айтхожин атындағы Молекулалық биология және биохимия институтының биотехнология және молекулалық генетика зертханасының зертханашысы (Алматы, Қазақстан, e-mail: bakytzhanovazhibek@gmail.com).

Мария Георгиева – профессор, Мал шаруашылығы және егіншілік институты жидек дақылдарын микроклональді көбейту зертханасының меңгерушісі (Троян, Болгария, e-mail: mariageo@gmail.com).

Галиакпаров Нурбол Нурпатович – PhD, қауымдастырылған профессор М.А. Айтхожин атындағы Молекулалық биология және биохимия институтының биотехнология және молекулалық генетика зертханасының жетекші ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан, e-mail: nurbol.gal@gmail.com).

Information about the authors:

Dinanova Nagima Kerimbekovna – PhD doctoral student of the Department of Biotechnology, al-Farabi Kazakh National University; laboratory assistant of the Laboratory of Biotechnology and Molecular Genetics, M.A. Aitkhozhin Institute of Molecular Biology and Biochemistry (Almaty, Kazakhstan, e-mail: njumad581@gmail.com).

Aubakirova Karlygash Pazilkhakovna – PhD, associate professor, Head of the Laboratory of Biotechnology and Molecular Genetics, M.A. Aitkhozhin Institute of Molecular Biology and Biochemistry (Almaty, Kazakhstan, e-mail: karla_78@mail.ru).

Rahatkyzy Akbota – Junior Researcher of the Laboratory of Biotechnology and Molecular Genetics, M.A. Aitkhozhin Institute of Molecular Biology and Biochemistry (Almaty, Kazakhstan, e-mail: akbotarahatkyzy1@gmail.com).

Yerbolova Laura Serikkanovna – PhD, Senior Researcher of the Laboratory of Biotechnology and Molecular Genetics, M.A. Aitkhozhin Institute of Molecular Biology and Biochemistry (Almaty, Kazakhstan, e-mail: yerbolova.laura7@gmail.com).

Bakytzhanova Zhibek Nurlankyzy – Laboratory assistant of the Laboratory of Biotechnology and Molecular Genetics, M.A. Aitkhozhin Institute of Molecular Biology and Biochemistry (Almaty, Kazakhstan, e-mail: bakytzhanovazhibek@gmail.com).

Maria Georgieva – Professor, Head of the Laboratory for Microclonal Propagation of Berry Crops, Institute of Animal Science and Agriculture (Troyan, Bulgaria, e-mail: mariageo@gmail.com).

Galiakparov Nurbol Nurpatovich – PhD, associate professor, Leading Researcher of the Laboratory of Biotechnology and Molecular Genetics, M.A. Aitkhozhin Institute of Molecular Biology and Biochemistry (Almaty, Kazakhstan, e-mail: nurbol.gal@gmail.com).

Сведения об авторах:

Динанова Нагима Керимбековна – PhD-докторант кафедры биотехнологии Казахского национального университета им. аль-Фараби, лаборант лаборатории биотехнологии и молекулярной генетики Института молекулярной биологии и биохимии имени М.А. Айтхожина (Алматы, Казахстан, e-mail: njumad581@gmail.com).

Аубакирова Карлыгаи Пазилхаковна – PhD, асс. профессор, заведующая лабораторией биотехнологии и молекулярной генетики Института молекулярной биологии и биохимии имени М.А. Айтхожина (Алматы, Казахстан, e-mail: karla_78@mail.ru).

Рахаткызы Акбота – младший научный сотрудник лаборатории биотехнологии и молекулярной генетики Института молекулярной биологии и биохимии имени М.А. Айтхожина (Алматы, Казахстан, e-mail: akbotarahatkyzy1@gmail.com).

Ерболова Лаура Сериккановна – PhD, старший научный сотрудник лаборатории биотехнологии и молекулярной генетики Института молекулярной биологии и биохимии имени М.А. Айтхожина (Алматы, Казахстан, e-mail: yerbolova.laura7@gmail.com).

Бакытжанова Жибек Нурланкызы – лаборант лаборатории биотехнологии и молекулярной генетики, Институт молекулярной биологии и биохимии имени М.А. Айтхожина (Алматы, Казахстан, e-mail: bakytzhanovazhibek@gmail.com).

Мария Георгиева – профессор, заведующая лабораторией микрклонального размножения ягодных культур Института животноводства и земледелия (Троян, Болгария, e-mail: mariageo@gmail.com).

Галиакпаров Нурбол Нурпатович – PhD, ведущий научный сотрудник лаборатории биотехнологии и молекулярной генетики Института молекулярной биологии и биохимии имени М.А. Айтхожина (Алматы, Казахстан, e-mail: nurbol.gal@gmail.com).

Келін түсті: 18 тамыз 2025 жыл
Қабылданды: 20 қараша 2025 жыл

5-бөлім
**АДАМ МЕН ЖАНУАРЛАР
ФИЗИОЛОГИЯСЫ**

Section 5
**HUMANS AND ANIMALS
PHYSIOLOGY**

Раздел 5
**ФИЗИОЛОГИЯ
ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ**

FTAMP 612.822

<https://doi.org/10.26577/bb20251059>

С.Т. Тулеуханов¹ , В.П. Зинченко^{1,2} , А.М. Малибаева^{1*} ,
С.Б. Оразова¹ , Б.Қ. Қайрат¹ 

¹«Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті» КеАҚ, Алматы, Қазақстан

²РФА ПБЗФО ФЗО «Ресей Ғылым академиясының

Жасуша биофизикасы институты» ФМБФМ, Пушкино, Ресей

*e-mail: arai_07_20@mail.ru

ГИППОКАМП НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІСІНДЕГІ ҚОЗУДЫ БАҚЫЛАУДА КАЛЬЦИЙ-ӨТКІЗГІШ КАИНАТТЫ ЖӘНЕ АМРА-РЕЦЕПТОРЛАРЫНЫҢ РОЛІ

Орталық жүйке жүйесінің функционалдық тұрақтылығы және оның эпилептиформалық белсенділіктің дамуын қоса алғанда, патологиялық гиперқозуға төзімділігі тікелей тежелу механизміне сыни түрде тәуелді. Бұл механизмнің тиімді жұмыс істеуі үшін ГАМКергиялық тежегіш интернейрондар негізгі глутаматергиялық нейрондардан бұрын белсендіріліп, медиаторды бөліп шығаруы керек, бұл ерекше молекулалық механизмді талап етеді. Ересек егеуқұйрықтардың пульстік культуралары мен гиппокамп кесінділерінде жүргізілген зерттеулер ГАМКергиялық нейрондардың жылдам Ca^{2+} -жауабын көрсететінін, ал глутаматергиялық нейрондардың кідіріспен жауап беретінін көрсетті. Жылдам жауап беретін нейрондар Ca^{2+} -өткізгіш каинатты (CP-KA) және АМРА (CP-AMPA) рецепторларын экспрессиялайтын ГАМКергиялық интернейрондар екені анықталды. GluA2 суббірлігін қамтымайтын бұл рецепторлар төмен шекті иондық каналдар ретінде қызмет етеді, бұл ГАМКергиялық жасушаларға ең аз деполяризация кезінде қозуға және ГАМК-ны дереу бөліп шығару үшін қажетті Ca^{2+} сигналын генерациялауға мүмкіндік береді. ГАМК(A)-рецепторларын бұғаттау негізгі популяцияның қозу кідірісін толығымен алып тастады, бұл осы әсерді дәл ГАМК-тәуелді тежелудің тудыратынын растады. Осылайша, CP-KA және CP-AMPA рецепторларының экспрессиясы нейрондық желінің қозуын бақылауды, кідіртуді және рассинхрондауды қамтамасыз ететін негізгі жасушалық механизм, бұл синапстық пластикалық және эпилептогенез механизмдерін түсіну үшін маңызды мәнге ие.

Түйін сөздер: медиатор, рассинхрондалу, нейрондар, гиппокамп, эпилептиформды белсенділік, әрекет потенциалы, деполяризация, тежелу, гомеостаз.

S.T. Tuleukhanov¹, V.P. Zinchenko^{1,2}, A.M. Malibayeva^{1*},
S.B. Orazova¹, B.K. Kairat¹

¹NJSC «Al-Farabi Kazakh National University», Almaty, Kazakhstan

²Institute of Cell Biophysics of the Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russian

*e-mail: arai_07_20@mail.ru

The role of calcium-permeable kainate and ampa receptors in the control of excitation in the hippocampal neural network

Functional stability of the central nervous system and its resistance to pathological hyperexcitability, including the development of epileptiform activity, critically depend on the mechanism of direct inhibition. For this mechanism to work effectively, GABAergic inhibitory interneurons must be activated and release the mediator earlier than the principal glutamatergic neurons, which requires a specific molecular mechanism for this temporal advantage. A study conducted on oscillating cultures and acute slices of the adult rat hippocampus showed that GABAergic neurons exhibit a fast Ca^{2+} response, while glutamatergic neurons respond with a delay.

It was established that the fast-responding neurons are GABAergic interneurons that express Ca^{2+} -permeable Kainate (CP-KA) and AMPA (CP-AMPA) receptors. These receptors, which lack the GluA2 subunit, function as low-threshold ion channels, allowing GABAergic cells to become excited even with minimal depolarization and generate the Ca^{2+} signal necessary for the immediate release of GABA. Pharmacological blockade of GABA(A) receptors completely abolished the delay in the excitation of the principal population, confirming that GABA-dependent inhibition is responsible for this effect. Thus, the expression of CP-KA and CP-AMPA receptors represents a key cellular mechanism ensuring the control,

ing the mechanisms of synaptic plasticity and epileptogenesis.

Keywords: mediator, desynchronization, neurons, hippocampus, epileptiform activity, action potential, depolarization, inhibition, homeostasis.

С.Т. Тулеуханов¹, В.П. Зинченко^{1,2}, А.М. Малибаева¹,
С.Б. Оразова¹, Б.Қ. Қайрат¹

¹НАО «Казахский национальный университет имени аль-Фараби», Алматы, Казахстан

²ФГБУН «Институт клеточной биофизики Российской академии наук»

ФИЦ ПНЦБИ РАН, Пущино, Российская Федерация

*e-mail: arai_07_20@mail.ru

Роль кальций-проницаемых каинатных и ампа-рецепторов в контроле возбуждения в нейрональной сети гиппокампа

Функциональная стабильность центральной нервной системы и ее устойчивость к патологическому гипервозбуждению, включая развитие эпилептиформной активности, критически зависит от механизма прямого торможения. Для эффективной работы этого механизма ГАМКергические тормозные интернейроны должны активироваться и высвобождать медиатор раньше, чем основные глутаматергические нейроны, что требует особого молекулярного механизма для временного опережения. Исследование, проведенное на пульсирующих культурах и острых срезах гиппокампа взрослых крыс, показало, что ГАМКергические нейроны демонстрируют быстрый Ca^{2+} -ответ, в то время как глутаматергические нейроны отвечают с задержкой. Установлено, что быстроотвечающие нейроны – это ГАМКергические интернейроны, которые экспрессируют Ca^{2+} -проницаемые каинатные (CP-КА) и AMPA (CP-AMPA) рецепторы. Эти рецепторы, не содержащие субъединицу GluA2, функционируют как низкопороговые ионные каналы, позволяя ГАМКергическим клеткам возбуждаться при минимальной деполяризации и генерировать Ca^{2+} сигнал, необходимый для немедленного высвобождения ГАМК. Блокада ГАМК(A)-рецепторов полностью снимала задержку возбуждения основной популяции, подтверждая, что именно ГАМК-зависимое торможение обуславливает этот эффект. Таким образом, экспрессия CP-КА и CP-AMPA рецепторов представляет собой ключевой клеточный механизм, обеспечивающий контроль, задержку и рассинхронизацию возбуждения нейронной сети, что имеет важное значение для понимания механизмов синаптической пластичности и эпилептогенеза.

Ключевые слова: медиатор, рассинхронизация, нейроны, гиппокамп, эпилептиформная активность, потенциал действия, деполяризация, гомеостаз.

Кіріспе

Орталық жүйке жүйесінің функционалдық тұрақтылығы қозу мен тежеудің дәл тепе-теңдігіне сыни түрде тәуелді. Гомеостаздың бұзылуы, яғни нейрондық желілердің шамадан тыс қозуына және гиперсинхрондалуына әкелуі эпилептогенезді қоса алғанда, бірқатар ауыр неврологиялық бұзылыстардың негізінде жатыр. Тұрақтылықты сақтау тек тежеудің болуын ғана емес, сонымен қатар өсіп келе жатқан қозу сигналын жылдам тоқтата алатын оның уақтылы белсендірілуін талап етеді. Қозуды уақытша бақылауды қамтамасыз ететін негізгі схема – бұл тікелей тежеу [1]. Бұл механизм қозушы кірістің тек басты нейронды ғана емес, сонымен қатар параллель тежегіш ГАМКергиялық интернейронды да іске қосуына мүмкіндік береді, ол кейіннен басты нейронның белсенділігін бәсеңдетеді. Осы схемаға қойылатын басты талап – интернейронның белсендірілуінің уақытша басымдығы: ГАМКергиялық жасуша

қозушы сигнал басты нейрондағы сыни шекке жеткенге дейін белсендіріліп, медиаторды шығаруы тиіс [2-4]. Тікелей тежеудің тиімділігін анықтайтын маңызды фактор – бұл ГАМКергиялық интернейрондардың ең аз қозушы кіріс кезінде белсендірілу қабілеті. Бұл қабілет глутамат рецепторларының, атап айтқанда, Ca^{2+} -өткізгіш AMPA және КА рецепторларының (CP-AMPA және CP-КА) спецификалық жиынтығымен қамтамасыз етіледі. Бұл рецепторлардың ОЖЖ-дағы көптеген қозушы синапстардан негізгі айырмашылығы – олардың төрттік құрылымында GluA2 суббірлігінің жоқтығында. Әдетте, GluA2 AMPA-рецепторына Ca^{2+} үшін іс жүзінде нөлдік өткізгіштік береді. GluA2-ге тәуелсіз рецепторлар жоғары өткізгіш каналдар ретінде қызмет етеді, тіпті әлсіз деполяризация кезінде де Ca^{2+} иондарының жылдам және қуатты ағынын қамтамасыз етеді. Дәл осы жылдам Ca^{2+} сигналы ГАМК-ның дереу босатылуына түрткі болады, бұл қажетті уақытша озып кету-

ді тудырады [5].

Зерттеудің мақсаты қозуға тікелей Ca^{2+} -реакцияны көрсететін нейрондар популяциясын идентификациялау және функционалдық сипаттамасын беру, сондай-ақ Ca^{2+} -өткізгіш қанатты (CP-КА) және АМРА (CP-АМРА) рецепторларының гиппокампын нейрондық желілерінде тікелей ГАМКергиялық тежеуді қамтамасыз ететін молекулалық механизм ретіндегі рөлін анықтау.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Зерттеу екі негізгі объектпен жүргізілді: *in vitro* (DIV) жағдайындағы 14-ші тәуліктегі пульстік нейрондық культураларда және ересек екі айлық егеуқұйрықтардың гиппокамп кесінділері. Бұл әдіс жеңілдетілген және неғұрлым физиологиялық модельдерде алынған нәтижелерді салыстыруға мүмкіндік берді.

Негізгі эксперименттік әдіс – жасушаішілік Ca^{2+} иондары концентрациясының ($[\text{Ca}^{2+}]$) өзгерістерін тіркейтін оптикалық әдіс болды. Бұл ретте, гиппокамп кесінділеріндегі жасушаларды бояу үшін Fura-2 флуоресцентті бояуы қолданылды. Жауаптардың уақытша сипаттамаларын талдау үшін сондай-ақ уақыт шкаласы бойынша кеңейтілген тіркеу әдісі де пайдаланылды. Қозушы стимулдар және деполяризациялаушы агенттер ретінде домоин қышқылы (DoA) әртүрлі концентрацияда (100 нМ, 5 мкМ, 500 нМ), бұл КА және АМРА рецепторларының агонисті болып табылады; KCl (мМ) жалпы күшті деполяризация үшін; NH_4Cl (8мМ) K^+ -каналдарға әсер ету арқылы орташа деполяризация (10-12 мВ) үшін; сондай-ақ Форсколин 70 мкМ), ол cАМФ-тың жоғарылауымен байланысты қозуды белсендіреді. Рецепторларды дифференциациялау және блокадалау үшін келесі ингибиторлар мен селективті агонистер қолданылды: бикикуллин (10мк) – ГАМК(A) рецепторларының ингибиторы; NBQX (2 мкМ) – АМРА рецепторларының ингибиторы; АТРА (50 нМ, 200 нМ) – CP-КА рецепторларының (GluK1-құрамды KARs) селективті агонисті; сондай-ақ NASPM – CP-АМРА рецепторларының спецификалық антагонисті.

Электрофизиологиялық әдістер. Зерттеудегі барлық whole-cell конфигурациясындағы электрофизиологиялық жазбалар Деректер Ахоратч 200В күшейткішін қолдана отырып Axon DigiData 1440A мәліметтерді жинақтау жүйесі мен pClamp 10 бағдарламалық жасақтамасы (Molecular Devices, San Jose, CA, АҚШ) көмегі-

мен тіркелді.

Статистика және деректерді талдау. Графиктерді құру және оларды талдау үшін Origin Pro 2016 бағдарламасы (OriginLab) қолданылды. Деректер жиынтығымен әдеттегі есептеулер Microsoft Excel (Microsoft корпорациясы) бағдарламасының көмегімен жүргізілді. Ca^{2+} жауаптарының электрофизиологиялық параметрлері мен деректері (төмендеу/жоғарылау уақыты, амплитудасы) pClampFit 10 бағдарламасы (Molecular Devices) арқылы талданды. Таймлапс сериялары мен конфокальды бейнелер ImageJ (NIH) бағдарламалық жасақтамасымен талданды.

Зерттеу нәтижелері және оларды талдау

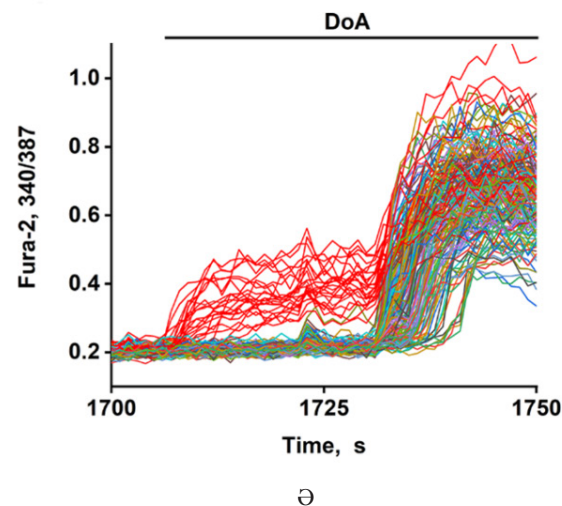
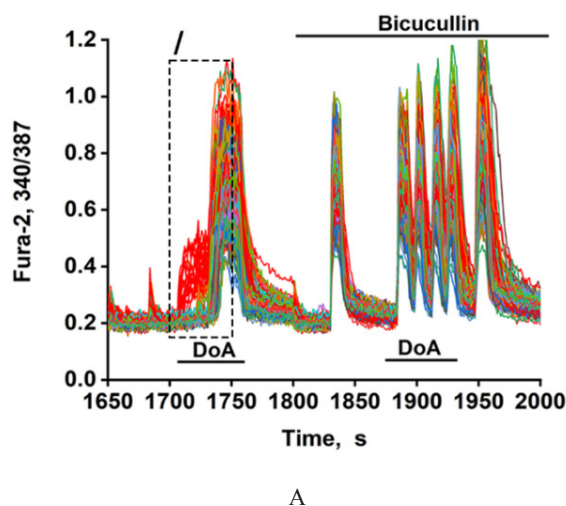
Нейрондық желілердің қозуын реттеу және қозу мен тежеу арасындағы тепе-теңдікті сақтау мәселесі қазіргі ғылымда орталық мәселе болып қала береді. Осы тепе-теңдікті қамтамасыз ететін іргелі механизм – тікелей тежеу, мұнда ГАМКергиялық тежегіш интернейрондар ортақ қозушы кіріс арқылы белсендіріледі және негізгі глутаматергиялық нейрондармен салыстырғанда уақытша тікелей жағдайда (гамма-аминмай қышқылы) ГАМК медиаторын бөледі. Кейбір зерттеушілердің пікірінше, осы уақытша басымдықтың молекулалық кілті ГАМКергиялық интернейрондардың бетіндегі Ca^{2+} -өткізгіш глутамат рецепторларының (CP-КА және CP-АМРА) спецификалық экспрессиясында жатыр [6]. Бұл рецепторлар, (α -Амино-3-гидрокси-5-метил-4-изоксазолпропион қышқылы) АМРА-рецепторларының көпшілігінен айырмашылығы, (глутаматтық рецептор, ионотропты, АМРА типті, 2-ші суббірлік) GluA2 суббірлігін қамтымайды, бұл оларды Ca^{2+} үшін жоғары өткізгіш етеді. Мұндай құрастыру ГАМКергиялық жасушаларға төмен шекті қозу сенсорлары ретінде қызмет етуге, қажетті Ca^{2+} -сигналын генерациялауға және тіпті ең аз деполяризация кезінде де белсендірілуге мүмкіндік береді, бұл GluA2-құрамды глутаматергиялық нейрондар қозатын уақыттан әлдеқайда ерте. Нейрондық культуралардағы және гиппокамп кесінділеріндегі эксперименттік модельдерде домоин қышқылы (DoA) сияқты глутаматтық рецепторлардың агонистерін қолдану екі фазалы Ca^{2+} -жауабын тудырады: минорлы ГАМКергиялық популяциядағы жедел реакция және негізгі нейрон массасындағы баяу жауап [7-9]. Бұл жағдайға ГАМК-тәуелді механизмнің қатысуының маңызды дәлелі – бикикуллин сияқ-

ты ГАМК(A) рецепторларының ингибиторларының қозуды толығымен немесе айтарлықтай дәрежеде тоқтатады, бұл бүкіл нейрондық популяцияның синхронды белсендірілуіне әкеледі. Сонымен қатар, ГАМК-тәуелді қозудың амплитудасын бақылау функциясын ғана емес, сонымен қатар нейрондық жауаптың рассинхрондалу функциясын да орындайды, бұл постсинапстық нейрондардағы Cl⁻ градиенттерінің гетерогенділігімен байланысты. Осылайша, ГАМКергиялық нейрондардың бірегей молекулалық рецепторлық құрамымен делдал болатын тікелей реакциясы гиперсинхрондалуды болдырмаудың және нейрондық желінің тұрақтылығын сақтаудың негізгі механизмі болып табылады [11-13].

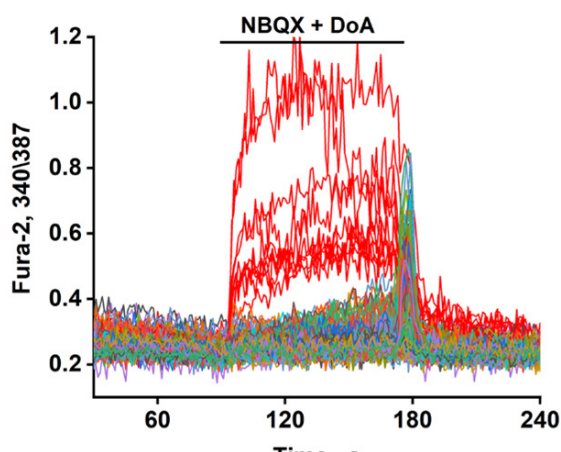
1А суретте пульстік культурадағы (14 DIV) нейрондардағы [Ca²⁺]_i өзгерісі КА және АМРА рецепторларының агонисті – DoA-ны, ГАМК(A) рецепторының ингибиторы – бикикуллинді және оның аясындағы DoA-ны кезең-кезеңімен қосуға жауап ретінде көрсетілген. Көрсетілгендей, DoA минорлы нейрон популяциясында (қызыл қисықтар) Ca²⁺-тың жылдам жоғарылауын (орташа есеппен нейрондардың 14% ± 5%) және қалған нейрондарда кідірілген жауапты тудырады. Бұрын көрсетілгендей DoA-ға жылдам жауап бер-

ген нейрондар ГАМКергиялық болып табылады және (Ca²⁺- өткізгіш Каинаттық рецепторлар) CP-КА және (Ca²⁺-өткізгіш АМРА Рецепторлары) CP-АМРА рецепторларын экспрессиялайтын нейрондар популяциясынан тұрады. ГАМК(A) рецепторларының ингибиторы – бикикуллин қалған нейрондардың қозу кідірісін айтарлықтай дәрежеде алып тастайды, бұл кідіріске ГАМК-тың қатысатындығын көрсетеді. Бикикуллин сонымен қатар постсинапстың Cl⁻-каналдарының жабылуынан болатын деполяризация есебінен (синхронды синапстық ағымдар) CCA импульстерінің амплитудасын арттырады [14-18].

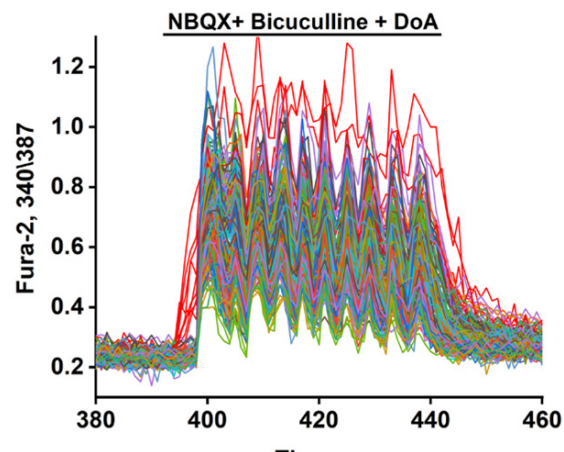
Уақыт шкаласы бойынша кеңейтілген 1А сурет қалған нейрондардың кідірілген жауабының синхронды емес екенін және ГАМК(A) каналдарының ашылуынан туындайтын потенциал ығысуының шамасын анықтайтын әр нейрондағы Cl⁻-иондарының градиентіне байланысты екенін көрсетеді. Бұрын культурадағы нейрондардың осы параметр бойынша гетерогенді екендігі көрсетілген болатын. Осылайша, ГАМК-тәуелді кідірістің қосымша функциясы гиперқозуға жауап ретінде нейрондардың жауабын рассинхрондауда болып табылады [19-21].



1-сурет – ГАМК-тәуелді қозудың уақыттық динамикасын бақылау: Гиппокамп нейрондарының DoA-ға ГАМК-арқылы кідіріспен және рассинхрондалумен (А) екі фазалы Ca²⁺-жауабы және оның бикикуллинмен жойылуы (Б)

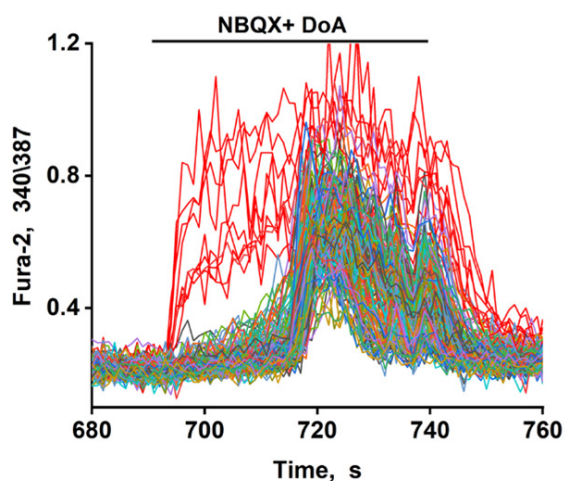


A

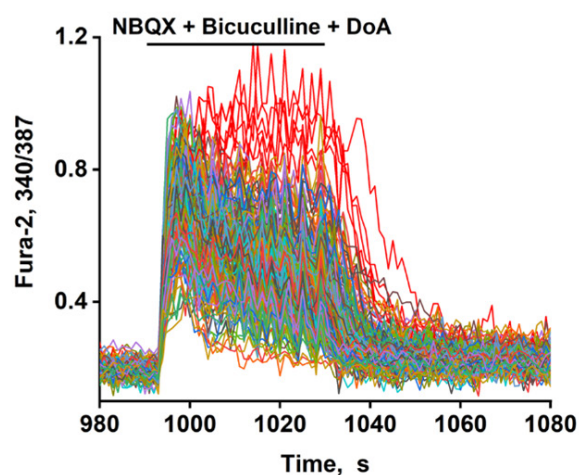


Б

2-сурет – ГАМК-тәуелді тежелуде CP-КА рецепторларының ролі:
AMPA рецепторларының блокадасы жағдайындағы гиппокамп нейрондарының DoA-ға Ca^{2+} -жауабы (A)
және ГАМК-арқылы кідірістің бикикуллинмен жойылуы (Б)



A



Б

3-сурет – ГАМК-арқылы қозу кідірісінің DoA концентрациясына тәуелділігі:
DoA концентрациясын арттырған кезде глутаматтық нейрондардың жауап кідірісінің азаюы (A)
және жоғары қозу жағдайында кідірістің бикикуллинмен толық жойылуы (Б)

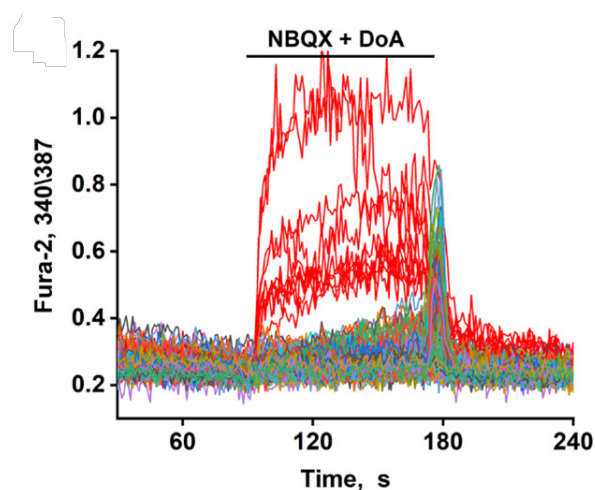
Бұған дейін AMPA рецепторларының ингибиторы – NBQX-тің аясындағы DoA тек КА рецепторларын ғана белсендіретіні көрсетілген болатын. 2А суреттен көрініп тұрғандай, NBQX қатысуымен 100 нМ концентрациядағы DoA CP-КА рецепторларын қамтитын ГАМКергиялық нейрондарда тікелей сигналды индукциялайды (қызыл қисықтар) және глутаматтық нейрондардың жауабындағы кідірісті одан да ұзаққа созады (80 с) (сұр-көк-жасыл қисықтар). CP-AMPA

бар нейрондардың үлесі кері – олар CP-КА нейрондарын иннервациялау арқылы кідіріс уақытын қысқартады. DoA концентрациясын 500 нМ-ға дейін арттыру кідіріс уақытының қысқаруына және қалған жасушалардың ертерек қозуына әкеледі, бұл агонист концентрациясының артуы кезінде баяу деполяризациялаушы токтың ұлғаюын көрсетеді (3А сурет). Бикикуллин қатысуымен агонисттің төмен концентрациясында кідіріс әлі де байқалады (2Б сурет), ал DoA-ның

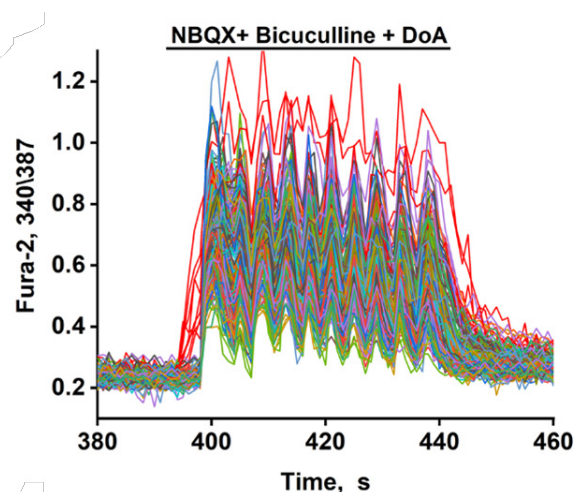
жоғары концентрациясында ол мүлде жоқ болады (3Ә сурет).

Осылайша, ГАМКергиялық нейрондардың екі популяциясы да DoA-ға тікелей жауап береді.

Бірақ қалған нейрондарға тежегіш әсері негізінен СР-КА рецепторларымен және сәйкесінше, оларды қамтитын ГАМК-нейрондарымен шартталған.

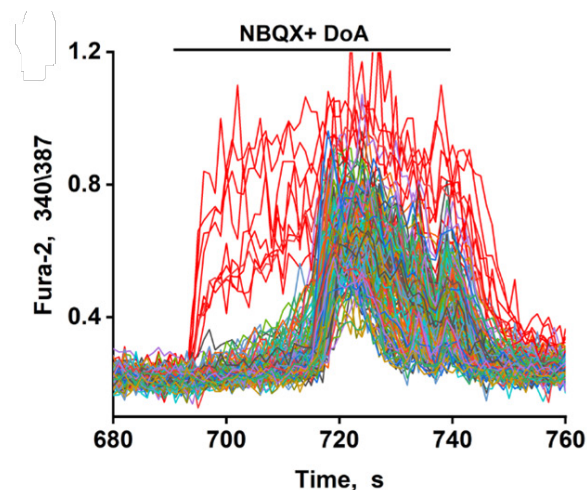


А

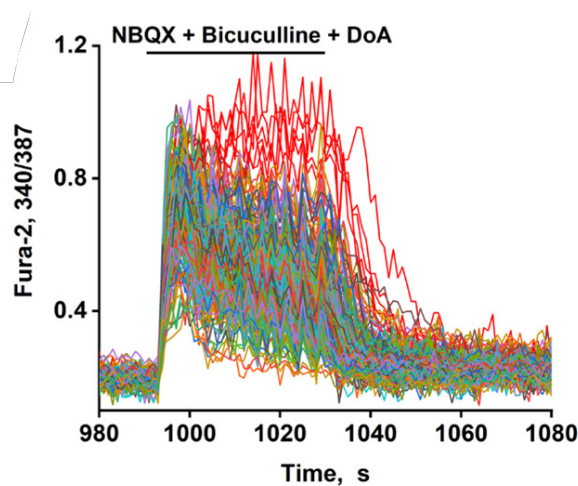


Ә

4-сурет – AMPA-блокадасы жағдайындағы ГАМКергиялық нейрондардың DoA-ға Ca^{2+} -жауабы, СР-КА рецепторымен делдал болатын 80 с кідірісті көрсететін (А), және ГАМК(А) рецепторларының ингибиторымен ГАМК-тәуелді кідірістің жойылуы (Ә).



А



Ә

5-сурет – ГАМК-арқылы қозу кідірісінің агонист концентрациясына тәуелділігі: DoA концентрациясын арттырған кезде глутаматтық нейрондардың жауап кідірісінің 80 с-тан 20 с-қа дейін азаюы (А) және DoA-ның жоғары концентрациясы жағдайында ГАМК(А) рецепторларының ингибиторымен кідірістің толық жойылуы (Ә).

Бұған дейін AMPA рецепторларының ингибиторы – NBQX-тің аясындағы DoA тек KA рецепторларын ғана белсендіретіні көрсетілген болатын. 4A суреттен көрініп тұрғандай, NBQX қатысуымен 100 нМ концентрациядағы DoA CP-КА рецепторларын қамтитын ГАМКергиялық нейрондарда тікелей сигналды индукциялайды (қызыл қисықтар) және глутаматтық нейрондардың жауабындағы кідірісті одан да ұзаққа созады (80 с) (сұр-көк-жасыл қисықтар). CP-AMPA бар нейрондардың үлесі кері – олар CP-КА нейрондарын иннервациялау арқылы кідіріс уақытын қысқартады. DoA концентрациясын 500 нМ-ға дейін арттыру кідіріс уақытының қысқаруына және қалған жасушалардың ертерек қозуына әкеледі, бұл агонист концентрациясының артуы кезінде баяу деполяризациялаушы токтың ұлғаюын көрсетеді (5A сурет). Бикукуллин қатысуымен агонисттің төмен концентрациясында кідіріс әлі де байқалады (4Ә сурет), ал DoA-ның жоғары концентрациясында ол мүлде жоқ болады (5Ә сурет). Осылайша, ГАМКергиялық нейрондардың екі популяциясы да DoA-ға тікелей жауап береді [22-24]. Алайда, қалған нейрондарға тежегіш әсері негізінен CP-КА рецепторларымен және сәйкесінше, оларды қамтитын ГАМК-нейрондарымен шартталған. ГАМКергиялық нейрондардың тікелей реакциясының табиғаты, шамасы, олардың жоғары қозушылығында және CP-AMPA және CP-КА рецепторларының глутаматтың төмен дозаларымен белсендірілу қабілетінде болып отыр. Кідірістің негізгі механизмі постсинапстық ГАМК(A) рецепторларының белсендірілуінен туындаған гиперполяризацияға негізделген, өйткені бұл кідіріс ГАМК(A) рецепторларының ингибиторы – бикукуллинмен айтарлықтай дәрежеде жойылады (1A, 2Ә, 3Ә суреттер). 1A суретте кідіріс ұзақтығының әртүрлі нейрондарда әр түрлі екендігі көрсетілген. ГАМК(A) R-тәуелді нысана жасушаларының гиперполяризациясы Cl⁻-иондарының градиентіне байланысты. Бұған дейін нейрондардың ГАМК(A) рецепторларының тежелуіне жауап ретіндегі деполяризация дәрежесі бойынша ерекшеленетіні көрсетілген болатын, бұл әртүрлі нейрондардағы Cl⁻-градиентінің әртүрлі екенін көрсетеді және жеке нейрондардағы кідірістің гетерогенділігін түсіндіруі мүмкін (1A сурет), сонымен қатар нейрондардың рассинхрондалуына әкелуі мүмкін. Сонымен қатар CP-AMPA рецепторларын экспрессиялайтын ГАМКергиялық нейрондардың CP-КА рецепторларын экспрес-

сиялайтын ГАМКергиялық нейрондарды иннервациялайтынын ескере отырып, NBQX арқылы AMPA рецепторларын бәсеңдету, шамасы, CP-КА-ны қамтитын ГАМКергиялық нейрондарды босатады, олардың ГАМК секрциясын арттырады және глутаматергиялық нейрондардың қозу кідірісін ұзартады (2A сурет). Осылайша, ГАМКергиялық нейрондардың екі тұқымдасы да DoA қозуына озық жауап бергенімен, глутаматтық нейрондардың жауап кідірісі негізінен CP-KAR-ды экспрессиялайтын ГАМКергиялық нейрондармен анықталады [25-27].

Кідіріс ұзақтығы ГАМК-ның әсер ету ұзақтығымен анықталады, өйткені ол бикукуллинмен жойылады. Кідіріс сонымен қатар ГАМК-ты кері қармау жүйелері арқылы тазалау уақытына, әр нейрондағы Cl⁻ иондарының жеке градиенттеріне және деполяризациялаушы токқа байланысты. DoA ГАМК-тан туындаған гиперполяризацияны ғана емес, сонымен қатар баяу деполяризацияны да тудырады (шамасы, кальций-өткізбейтін AMPA рецепторларының белсендірілуіне байланысты) [28-30]. Нәтижесінде, деполяризациялаушы каналдардың (Na⁺ және Ca²⁺) ашылу потенциалына жеткенде, барлық нейрондар қозады. Осылайша, кідіріс уақыты бөлінетін ГАМК-ның мөлшеріне ғана емес, сонымен қатар агонист концентрациясына пропорционалды баяу деполяризациялаушы токтың шамасына да байланысты (2Ә сурет). Бұл тәжірибеде байқалатын кідіріс ұзақтығының агонист концентрациясына кері тәуелділігін түсіндіреді (3A, Ә суреттер). Белсендіргіштердің үлкен концентрациялары әсер еткен кезде кідірістің азаюы байқалады.

Осылайша, CP-КА және CP-AMPA рецепторларын экспрессиялайтын нейрондар DoA-ға ғана емес, сонымен қатар қозудың басқа түрлеріне де тікелей жауап береді.

Қорытынды

Жүргізілген зерттеу нейрондық желіні тікелей тежеу механизмінде Ca²⁺-өткізгіш глутаматтық рецепторлардың (CP-AMPA және CP-KAR) негізгі ролін анықтауға мүмкіндік берді. CP-AMPA және CP-KAR экспрессиялайтын нейрондардың қозуға тікелей жауап беретіні анықталды. Алайда, функционалдық бөліну көрсетілді: тек CP-KAR бар нейрондар ғана қозуға глутаматергиялық нейрондардың жауабын тиімді кешіктіреді, негізгі тежегіш функцияны орындайды.

Сонымен қатар CP-AMPA бар нейрондар CP-KAR-ды қамтитын ГАМК-нейрондарының тежегіш әсерін әлсіретеді, бұл тежелудің күрделі желішілік реттелуін көрсетеді. CP-AMPA және CP-KAR-дың жалпы функциясы потенциалға тәуелді Ca^{2+} каналдарының (VDCC) және NMDA-рецепторларының (NMDARs) қатысуынсыз жасушаішілік Ca^{2+} -концентрациясын ($[\text{Ca}^{2+}]$) арттыру болып табылады. Бұл әрекет потенциалдарының шоғырларын генерациялауды талап етпей, козудың шекті деңгейінен төмен ГАМК секрециясының белсендірілуін қамтамасыз етеді. Осылайша, осы рецепторлар арқылы делдал болатын ГАМК-тәуелді козу кідірісі гиперкозуға жауап ретінде нейрондардың

жауабын рассинхрондаудың қосымша маңызды функциясын орындайды, бұл нейрондық желінің функционалдық тұрақтылығын сақтау және оның гиперсинхрондалуын болдырмау үшін қажетті шарт.

Қаржыландыру көзі

Ғылыми зерттеу жұмысын Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырды. AP19680470 «Эпилепсиялық белсенділік моделіндегі гиперкозудың реттелуіне фосфоинозитолдифосфаттың (PIP2) және калий каналдарының Kv7 қатысуы».

Әдебиеттер

1. Zinchenko V.P., Teplov I.Y., Tyurin F.V., Malibayeva A.E., Kairat B.K., Tuleukhanov S.T. The Effect of Intracellular Calcium Buffer Bapta on Epileptiform Activity of Hippocampal Neurons // *International journal of molecular sciences*. – 2025. – Vol. 26, No 15. – P. 7596.
2. Gaidin S.G., Kosenkov A.M., Zinchenko V.P., Kairat B.K., Malibayeva A.E., Tuleukhanov S.T. Identification of Neurons Containing Calcium-Permeable AMPA and Kainate Receptors Using Ca^{2+} Imaging // *Bio-protocol*. – 2025. – Vol 15, No 3. – P. e5199.
3. Gaidin S.G., Maiorov S.A., Zinchenko V.P., Laryushkin D.P., Tuleukhanov S.T., Kairat B.K., Kosenkov A.M. Pharmacological inhibition of PLC and PKC triggers epileptiform activity in hippocampal neurons // *Epilepsy research*. – 2025. – Vol. 214. – P. 107570.
4. Cejas C.A., Buno W. Role of calcium-permeable AMPA receptors in dendritic excitability of hippocampal CA1 pyramidal cells // *J. Neurophysiol.* – 2017. – Vol. 117. – P. 1424–1436.
5. Chen Y.K., Chen H.Q., Liu X.Y. et al. Calcium-permeable AMPA receptors mediate feedforward inhibition in the somatosensory cortex // *Cell Rep.* – 2020. – Vol. 30. – P. 2005–2018.
6. Choi M.H., Jung H.H., Jo K. et al. GluA2-lacking AMPA receptors regulate neuronal vulnerability to excitotoxicity after cerebral ischemia // *Stroke*. – 2018. – Vol. 49. – P. 1459–1466.
7. Cooper M., Moniri M., Mann E.O. Calcium-permeable AMPAR in hippocampal parvalbumin-expressing interneurons protect against memory interference // *Biorxiv*. – 2025. – [Электронный ресурс].
8. D'Ascenzo M., Trovato M., Cingolani A. CP-AMPA trafficking controls synaptogenesis and circuit development // *Neuropharmacology*. – 2022. – Vol. 216. – P. 109153.
9. Diessel R., Vandael D.H. The contribution of Ca^{2+} -permeable AMPA receptors to synaptic plasticity of inhibitory neurons // *Front. Synaptic Neurosci.* – 2018. – Vol. 10. – P. 34.
10. Dougalis A., Topolnik L. CP-AMPA receptor-dependent long-term potentiation in interneurons: an NMDA receptor-independent mechanism of plasticity // *Cell Calcium*. – 2018. – Vol. 70. – P. 71–79.
11. Gaidin S.G., Kosenkov A.M., Zinchenko V.P. et al. Identification of Neurons Containing Calcium-Permeable AMPA and Kainate Receptors Using Ca^{2+} Imaging // *Curr. Protoc.* – 2025. – Vol. 5. – e160.
12. Hanjra T., Eltayeb N.M., Khaliq Z.M. GluK2-containing Kainate receptors modulate spontaneous GABA release and excitability in substantia nigra pars compacta neurons // *Elife*. – 2020. – Vol. 9. – e56363.
13. Kim S., Kim J., Kim H. et al. Distinct roles of GluA2-lacking AMPA receptors in synaptic function of inhibitory and excitatory neurons // *Neurosci. Res.* – 2021. – Vol. 165. – P. 55–61.
14. Klein M., Vyklicky V., Rulisek L., Ziff E.B. Functional properties of CP-AMPA receptors in neurological disorders // *Trends Pharmacol. Sci.* – 2023. – Vol. 44. – P. 320–332.
15. Kondo Y., Ikegaya Y., Koyama R. Homeostatic regulation of neuronal activity by Ca^{2+} -permeable AMPA receptors // *Neurochem. Int.* – 2016. – Vol. 98. – P. 12–19.
16. Lalanne T., Vandael D.H., Mulle C. The specific expression of Ca^{2+} -permeable AMPA receptors at excitatory connections to interneurons // *Cereb. Cortex*. – 2016. – Vol. 26. – P. 1198–1209.
17. Lee C.C., Chen Y.W., Lai P.F. et al. Kainate receptor modulation of synaptic plasticity in the hippocampus: a molecular perspective // *Mol. Brain*. – 2019. – Vol. 12. – P. 73.
18. Marques J.M., Mulle C., Lerma J. Auxiliary subunits of ionotropic glutamate receptors in synaptic transmission and plasticity // *Nat. Rev. Neurosci.* – 2023. – Vol. 24. – P. 599–615.

19. Migneault E., Lalanne T., Mulle C., Topolnik L. Synapse type-dependent expression of calcium-permeable AMPA receptors // *Front. Synaptic Neurosci.* – 2018. – Vol. 10. – P. 34.
20. Mohamad O., Paternain A.V., Vandal D.H. et al. Kainate Receptor Antagonists: Recent Advances and Therapeutic Perspective // *Int. J. Mol. Sci.* – 2023. – Vol. 24. – P. 1908.
21. Neuhaus H., Monyer H. The interplay between CP-AMPA and NMDA receptors in dendritic computations // *Hippocampus.* – 2017. – Vol. 27. – P. 114–125.
22. Paternain A.V., Herrera M.T., Lerma J. Kainate receptor-mediated calcium signals in GABAergic interneurons // *Mol. Brain.* – 2016. – Vol. 9. – P. 44.
23. Rozov A., Mohamad O., Monyer H., Burnashev N. The role of Ca²⁺-permeable AMPA/Kainate receptors in oligodendrocyte precursor cells excitotoxicity // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* – 2016. – Vol. 113. – P. 8352–8357.
24. Savtchouk I., Liu S.J. Regulation of calcium-permeable AMPA receptors in physiological and pathological states // *Neuropharmacology.* – 2019. – Vol. 156. – P. 107663.
25. Schmitz D., Vandal D.H. The emerging role of Ca²⁺-permeable AMPA receptors in chronic pain // *Nat. Rev. Neurosci.* – 2021. – Vol. 22. – P. 600–612.
26. Sun Y., Li X., Wang Y. et al. Calcium Permeable-AMPA Receptors and Excitotoxicity in Neurological Disorders // *Front. Neural Circuits.* – 2021. – Vol. 15. – P. 711564.
27. Vandal D.H., Mulle C., Lalanne T. Kainate receptors and the dynamics of inhibitory circuits // *Curr. Opin. Neurobiol.* – 2022. – Vol. 74. – P. 10–17.
28. Volterra A., Boutin J. The structural and functional heterogeneity of Ca²⁺-permeable AMPA/kainate receptors in hippocampal neurons // *J. Physiol.* – 2017. – Vol. 595. – P. 165–180.
29. Wang J., Liu Y., Zhang C. et al. Activation of kainate receptor GluK2–Neto2 complex reveals new insights into receptor gating // *Cell.* – 2025. – Vol. 182. – P. 101–114.
30. Zinchenko V.P., Teplov I.Y., Kosenkov A.M., Gaidin S.G., Kairat B.K., Tuleukhanov S.T. Participation of calcium-permeable AMPA receptors in the regulation of epileptiform activity of hippocampal neurons // *Frontiers in synaptic neuroscience.* – 2024. – Vol. 16, – P. 1349984.

References

1. Zinchenko, V.P., Teplov, I.Y., Tyurin, F.V., Malibayeva, A.E., Kairat, B.K., Tuleukhanov, S.T. (2025). The Effect of Intracellular Calcium Buffer Bapta on Epileptiform Activity of Hippocampal Neurons. *International journal of molecular sciences*, vol. 26(15), pp. 7596.
2. Gaidin, S.G., Kosenkov, A.M., Zinchenko, V.P., Kairat, B.K., Malibayeva, A.E., Tuleukhanov, S.T. (2025). Identification of Neurons Containing Calcium-Permeable AMPA and Kainate Receptors Using Ca²⁺ Imaging. *Bio-protocol*, vol 15(3), e5199.
3. Gaidin, S. G., Maiorov, S. A., Zinchenko, V. P., Laryushkin, D. P., Tuleukhanov, S. T., Kairat, B. K., Kosenkov, A. M. (2025). Pharmacological inhibition of PLC and PKC triggers epileptiform activity in hippocampal neurons. *Epilepsy research*, vol. 214, pp. 107570.
4. Cejas, C.A., Buno, W. (2017) Role of calcium-permeable AMPA receptors in dendritic excitability of hippocampal CA1 pyramidal cells. *J. Neurophysiol.*, vol. 117, pp. 1424–1436.
5. Chen, Y.K., Chen, H.Q., Liu, X.Y. et al. (2020) Calcium-permeable AMPA receptors mediate feedforward inhibition in the somatosensory cortex. *Cell Rep.*, vol. 30, pp. 2005–2018.
6. Choi, M.H., Jung, H.H., Jo, K. et al. (2018) GluA2-lacking AMPA receptors regulate neuronal vulnerability to excitotoxicity after cerebral ischemia. *Stroke*, vol. 49, pp. 1459–1466.
7. Cooper, M., Moniri, M., Mann, E.O. (2025) Calcium-permeable AMPAR in hippocampal parvalbumin-expressing interneurons protect against memory interference.¹ *Biorxiv*. [Preprint].
8. D’Ascenzo, M., Trovato, M., Cingolani, A. (2022) CP-AMPA trafficking controls synaptogenesis and circuit development. *Neuropharmacology*, vol. 216, p. 109153.
9. Diessel, R., Vandal, D.H. (2018) The contribution of Ca²⁺-permeable AMPA receptors to synaptic plasticity of inhibitory neurons. *Front. Synaptic Neurosci.*, vol. 10, p. 34.
10. Dougalis, A., Topolnik, L. (2018) CP-AMPA receptor-dependent long-term potentiation in interneurons: an NMDA receptor-independent mechanism of plasticity. *Cell Calcium*, vol. 70, pp. 71–79.
11. Gaidin, S.G., Kosenkov, A.M., Zinchenko, V.P. et al. (2025) Identification of Neurons Containing Calcium-Permeable AMPA and Kainate Receptors Using Ca²⁺ Imaging. *Curr. Protoc.*, vol. 5, p. e160.
12. Hanjra, T., Eltayeb, N.M., Khaliq, Z.M. (2020) GluK2-containing Kainate receptors modulate spontaneous GABA release and excitability in substantia nigra pars compacta neurons. *Elife*, vol. 9, p. e56363.
13. Kim, S., Kim, J., Kim, H. et al. (2021) Distinct roles of GluA2-lacking AMPA receptors in synaptic function of inhibitory and excitatory neurons. *Neurosci. Res.*, vol. 165, pp. 55–61.
14. Klein, M., Vyklicky, V., Rulisek, L., Ziff, E.B. (2023) Functional properties of CP-AMPA receptors in neurological disorders. *Trends Pharmacol. Sci.*, vol. 44, pp. 320–332.
15. Kondo, Y., Ikegaya, Y., Koyama, R. (2016) Homeostatic regulation of neuronal activity by Ca²⁺-permeable AMPA receptors. *Neurochem. Int.*, vol. 98, pp. 12–19.
16. Lalanne, T., Vandal, D.H., Mulle, C. (2016) The specific expression of Ca²⁺-permeable AMPA receptors at excitatory connections to interneurons. *Cereb. Cortex*, vol. 26, pp. 1198–1209.

17. Lee, C.C., Chen, Y.W., Lai, P.F. et al. (2019) Kainate receptor modulation of synaptic plasticity in the hippocampus: a molecular perspective. *Mol. Brain*, vol. 12, p. 73.
18. Marques, J.M., Mulle, C., Lerma, J. (2023) Auxiliary subunits of ionotropic glutamate receptors in synaptic transmission and plasticity. *Nat. Rev. Neurosci.*, vol. 24, pp. 599–615.
19. Migneault, E., Lalanne, T., Mulle, C., Topolnik, L. (2018) Synapse type-dependent expression of calcium-permeable AMPA receptors. *Front. Synaptic Neurosci.*, vol. 10, p. 34.
20. Mohamad, O., Paternain, A.V., Vandael, D.H. et al. (2023) Kainate Receptor Antagonists: Recent Advances and Therapeutic Perspective. *Int. J. Mol. Sci.*, vol. 24, p. 1908.
21. Neuhaus, H., Monyer, H. (2017) The interplay between CP-AMPA and NMDA receptors in dendritic computations. *Hippocampus*, vol. 27, pp. 114–125.
22. Paternain, A.V., Herrera, M.T., Lerma, J. (2016) Kainate receptor-mediated calcium signals in GABAergic interneurons. *Mol. Brain*, vol. 9, p. 44.
23. Rozov, A., Mohamad, O., Monyer, H., Burnashev, N. (2016) The role of Ca²⁺-permeable AMPA/Kainate receptors in oligodendrocyte precursor cells excitotoxicity. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, vol. 113, pp. 8352–8357.
24. Savtchouk, I., Liu, S.J. (2019) Regulation of calcium-permeable AMPA receptors in physiological and pathological states. *Neuropharmacology*, vol. 156, p. 107663.
25. Schmitz, D., Vandael, D.H. (2021) The emerging role of Ca²⁺-permeable AMPA receptors in chronic pain. *Nat. Rev. Neurosci.*, vol. 22, pp. 600–612.
26. Sun, Y., Li, X., Wang, Y. et al. (2021) Calcium Permeable-AMPA Receptors and Excitotoxicity in Neurological Disorders. *Front. Neural Circuits*, vol. 15, p. 711564.
27. Vandael, D.H., Mulle, C., Lalanne, T. (2022) Kainate receptors and the dynamics of inhibitory circuits. *Curr. Opin. Neurobiol.*, vol. 74, pp. 10–17.
28. Volterra, A., Boutin, J. (2017) The structural and functional heterogeneity of Ca²⁺-permeable AMPA/kainate receptors in hippocampal neurons. *J. Physiol.*, vol. 595, pp. 165–180.
29. Wang, J., Liu, Y., Zhang, C. et al. (2025) Activation of kainate receptor GluK2–Neto2 complex reveals new insights into receptor gating. *Cell*, vol. 182, pp. 101–114.
30. Zinchenko, V.P., Teplov, I.Y., Kosenkov, A.M., Gaidin, S.G., Kairat, B.K., Tuleukhanov, S.T. (2024). Participation of calcium-permeable AMPA receptors in the regulation of epileptiform activity of hippocampal neurons. *Frontiers in synaptic neuroscience*, vol. 16, pp. 1349984.

Авторлар туралы мәлімет:

С. Тулеуханов – биология ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті биофизика, биомедицина және нейроғылым кафедрасының зерттеуші профессоры (Алматы қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: Sultan.Tuleuhanov@kaznu.kz).

В.П. Зинченко – биология ғылымдарының докторы, профессор, РФА ПБЗФО ФЗО “Ресей Ғылым академиясының Жасуша биофизикасы институты” ФМБФМ Жасуша ішілік сигнализация зертханасының меңгерушісі (Пушино қ., Ресей Федерациясы, e-mail: vpz@mail.ru).

А.Е. Малибаева – Докторант, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: Aarilym.Malibayeva@kaznu.kz).

С.Б. Оразова – б.ғ.к., әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті биотехнология кафедрасының аға оқытушысы (Алматы қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: Saltanat.Orazova@kaznu.kz).

Б.Қ. Қайрат – Ph.D., әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті биофизика, биомедицина және нейроғылым кафедрасы меңгерушісінің ҒИЖ және ХБ жөніндегі орынбасары (Алматы қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: Bakytzhan.Kairat@kaznu.kz).

Information about the authors:

S. Tuleuhanov – Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Research Biologist at the Department of Biophysics, Biomedicine and Neuroscience, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Republic of Kazakhstan, e-mail: Sultan.Tuleuhanov@kaznu.kz).

V.P. Zinchenko – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Intracellular Signaling, Institute of Cell Biophysics, Federal Research Center “Pushchino Scientific Center for Biological Research of the Russian Academy of Sciences” (Pushchino, Russian Federation, e-mail: vpz@mail.ru).

A.E. Malibayeva – PhD Student, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Republic of Kazakhstan, e-mail: Aarilym.Malibayeva@kaznu.kz).

S.B. Orazova – Candidate of Biological Sciences, Senior Lecturer at the Department of Biotechnology, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Republic of Kazakhstan, e-mail: Saltanat.Orazova@kaznu.kz).

B.K. Kairat – PhD, Deputy Head of the Department of Biophysics, Biomedicine and Neuroscience for Research, Innovation and International Relations, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Republic of Kazakhstan, e-mail: Bakytzhan.Kairat@kaznu.kz).

Сведения об авторах:

С. Тулеуханов – доктор биологических наук, профессор, академик Национальной академии наук Республики Казахстан, исследователь-профессор кафедры биофизики, биомедицины и нейронаук Казахского национального университета имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: Sultan.Tuleuhanov@kaznu.kz).

В.П. Зинченко – доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией внутриклеточной сигнализации Института клеточной биофизики Федерального исследовательского центра «Пуцинский научный центр биологических исследований Российской академии наук» (Пуцино, Российская Федерация, e-mail: vpz@mail.ru).

А.Е. Малибаева – PhD-докторант Казахского национального университета имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: Arailym.Malibayeva@kaznu.kz).

С.Б. Оразова – кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры биотехнологии Казахского национального университета имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: Saltanat.Orazova@kaznu.kz).

Б.К. Кайрат – PhD, заместитель заведующего кафедрой биофизики, биомедицины и нейронаук по научной работе, инновациям и международным связям Казахского национального университета имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: Bakytzhan.Kairat@kaznu.kz).

*Келін түсті: 17 шілде 2025 жыл
Қабылданды: 20 қараша 2025 жыл*

FTAMP 34.39.57; 68.41.63

<https://doi.org/10.26577/bb202510510>

Б.И. Жақсымов* , **Ш.Қ. Бахтиярова** ,
А.Б. Джунусова , **У.Н. Капышева** 

«Генетика және физиология» институты, Алматы, Қазақстан
*e-mail: bolat_kaz@inbox.ru

ІРІ ҚАРА МАЛЫНЫҢ АУСЫЛҒА ҚАРСЫ САЛЫНҒАН ЕКПЕДЕН КЕЙІНГІ ЗАТ АЛМАСУ КӨРСЕТКІШТЕРІНІҢ ДИНАМИКАСЫ

Бұл мақалада аусылға қарсы екпеден кейін ірі қара малдың ағзасында болатын биохимиялық өзгерістер қарастырылады. Ақуыз, көмірсу мен липидтік алмасуын қоса алғанда, метаболикалық көрсеткіштердің динамикасына ерекше назар аударылды. Екпе егілген сиырлардың биохимиялық жағдайына мониторингтік зерттеулер жүргізудің зат алмасу бұзылыстарын дер кезінде анықтау, оларды түзету және өнімділік денсаулығын сақтау мақсатында өндірістік-практикалық маңызы бар. Белгілі болғандай, метаболизмнің гомеостатикалық бақылауы қоректік заттардың таралуын қамтамасыз ету үшін ақуыз, көмірсулар мен липидтер алмасуын реттейтін эндокриндік жүйенің әсеріне байланысты бүкіл екпе кезеңінде айтарлықтай өзгереді. Бақылау және тәжірибелік жануарлардың сараптама нәтижелері бойынша, бақылау тобында өзгерістер орын алмағанымен тәжірибелік топта зат алмасу өнімдеріне қатысатын кейбір биохимиялық көрсеткіштердің қандағы мөлшері өзгеріске ұшырады. Оған себеп аусылға қарсы екпеден кейінгі жануарлардың қан сарысуындағы биохимиялық көрсеткіштердің өзгерісі уақытша артатындығы анықталды, себебі: ағзада иммундық жасушалардың белсенді қызметімен, иммундық жауаптың қалыптасуымен байланысты. Демек, екпеден кейінгі ірі қара малының биохимиялық көрсеткіштерінде болатын өзгерістер қысқа мерзімдік және оның ағза үшін айтарлықтай әсерінің жоқ екендігі анықталды.

Біздің бұл зерттеулер жануарлардың метаболизміне екпенің әсерін бағалаудың кешенді тәсілінің маңыздылығын және осы салада әрі қарай зерттеулер жүргізу қажеттілігін көрсетеді.

Түйін сөздер: аусыл, екпе, ірі қара малы, зат алмасу, егу.

B.I. Zhaksymov *, Sh.K. Bakhtiyarova,
A.B. Junussova, U.N. Kapysheva

Institute of Genetics and Physiology, Almaty, Kazakhstan
*e-mail: bolat_kaz@inbox.ru

Dynamics of metabolism indicators in cattle after vaccination against foot-and-mouth disease

The article discusses biochemical changes occurring in cattle after vaccination against foot-and-mouth disease. Particular attention was paid to the dynamics of metabolic indicators, including protein, carbohydrate and lipid metabolism. Monitoring studies of the biochemical status of vaccinated cows have production and practical significance for the timely detection of metabolic disorders, their correction and maintenance of productive health. As is known, homeostatic regulation of metabolism changes significantly throughout the entire period of pregnancy and depends on the influence of the endocrine system, which regulates the metabolism of proteins, carbohydrates and lipids, ensuring the distribution of nutrients. According to the results of examination of control and experimental animals, although no changes were observed in the control group, in the experimental group the indicators in the blood of some biochemical indicators included in the composition of metabolic products changed. The reason for this is a temporary increase in biochemical indicators in the blood serum of animals after vaccination against foot-and-mouth disease, which is associated with the active functioning of immune cells in the body and the formation of an immune response. Thus, it was found that changes in the biochemical indicators of cattle after vaccination were short-term and did not have a significant effect on the body.

Our studies emphasize the importance of an integrated approach to assessing the impact of vaccination on animal metabolism and the need for further research in this area.

Keywords: foot-and-mouth disease, vaccination, cattle, metabolism, vaccination.

Б.И. Жаксымов*, Ш.К. Бахтиярова,
А.Б. Джунусова, У.Н. Капышева
Институт генетики и физиологии, Алматы, Казахстан
*e-mail: bolat_kaz@inbox.ru

Динамика показателей обмена веществ у КРС после вакцинации против ящура

В статье рассматриваются биохимические изменения, происходящие у крупного рогатого скота после вакцинации против ящура. Особое внимание уделялось динамике показателей обмена веществ, включая белковый, углеводный и липидный обмен. Мониторинговые исследования биохимического статуса вакцинированных коров имеют производственное и практическое значение для своевременного выявления нарушений обмена веществ, их коррекции и поддержания продуктивного здоровья. Как известно, гомеостатическая регуляция обмена веществ существенно меняется на протяжении всего периода и зависит от влияния эндокринной системы, которая регулирует обмен белков, углеводов и липидов, обеспечивая распределение питательных веществ. По результатам обследования контрольных и опытных животных, хотя в контрольной группе изменений не наблюдалось, в опытной группе изменились показатели в крови некоторых биохимических показателей, входящих в состав продуктов обмена. Причиной этого является временное повышение биохимических показателей в сыворотке крови животных после вакцинации против ящура, что связано с активной деятельностью иммунных клеток в организме и формированием иммунного ответа. Таким образом, установлено, что изменения биохимических показателей крупного рогатого скота после вакцинации носили кратковременный характер и не оказывали существенного влияния на организм.

Наши исследования подчеркивают важность комплексного подхода к оценке влияния вакцинации на метаболизм животных и необходимость дальнейших исследований в этой области.

Ключевые слова: ящур, вакцинация, КРС, обмен веществ, вакцинация.

Кіріспе

Аусыл ауруына қарсы егу ірі қара малда бұл аурудың алдын алудың және оны бақылаудың негізгі әдісі болып табылады. Дегенмен, екпені енгізу иммундық жауапты ғана емес, сонымен қатар жануардың денесінде бірқатар физиологиялық және метаболикалық өзгерістерді тудырады. Екпеден кейінгі метаболизм динамикасы иммундық жүйені белсендіруді, энергия ресурстарын қайта бөлуді және жасушалық және жүйелік деңгейде бейімделу реакцияларын қамтитын күрделі үдеріс. Екпеден кейінгі иммундық жауап маңызды энергия мен қоректік заттардың шығынын талап етеді, ол метаболизмді, соның ішінде ақуыз, көмірсу және липидтер алмасуын уақытша өзгертуі мүмкін. Бұл өзгерістер метаболикалық жүктемесі, өнімділігі жоғары жануарлар үшін өте маңызды. Бұл үдерістерді зерттеу екпе жоспарын оңтайландыруға, күйзелістік реакцияларды азайтуға және жануарлардың өнімділігі мен денсаулығына кері әсерін тигізетін салдарды азайтуға мүмкіндік береді.

Жануар ағзасының иммундық жүйесінің функционалдық белсенділігі көптеген факторларға байланысты. Маңызды фактор – ақуыздардың, майлардың, көмірсулардың және минералдардың қатысуымен жүретін зат алмасу

мен оның қарқындылығы [1]. Аралық немесе соңғы өнімдердің пайда болуымен ағзада әртүрлі биохимиялық үдерістер жүреді, оның анықталуы метаболизмнің күйін көрсетеді. Ағзаның реактивтілігіндегі әртүрлі өзгерістер кезінде ферменттердің белсенділігі не жоғарылауы, не төмендеуі мүмкін, сол арқылы жануар ағзасында әртүрлі бұзылулар туындайды. Арнайы ферменттік реакциялардың өзгеруі әртүрлі патологиялық жағдайлардың себебін де, салдарын да анықтай алады [2]. Қан плазмасындағы ферменттің жоғарылауы немесе керісінше төмендеуі белгілі бір мүшенің зақымдануының белгісі болуы мүмкін [3].

Екпеден кейінгі кезеңде ірі қара малының қан сарысуындағы кейбір биохимиялық көрсеткіштерді анықтау арқылы зат алмасу күйін зерттеудің қажеттілігі туындайды. Ірі қара малдағы негізгі зат алмасу үдерістерінің физиологиялық және биохимиялық көрсеткіштері асқорыту жүйесінің анатомиялық және морфологиялық ерекшеліктерімен анықталады [4]. Қарынның микрофлорасы амилаolitikалық, протеolitikалық, липolitikалық, целлюлоolitikалық және сүт қышқылы бактериялардан тұрады. Амилаolitikалық бактериялар тамақтану үшін крахмал мен мальтозаны пайдаланып, оларды сірке, шайыр-тас және құмырсқа қышқылдарына ыдырата-

ды. Протеолитикалық бактериялар ақуыздарды пептидтерге, кейін аминқышқылдарына ыдыратып соңғы өнімі аммиак болады [5]. Липолитикалық бактериялар майларды глицерин мен май қышқылдарына ыдыратады. Жылы қанды жануарлар ағзасында тотығу-тотықсыздану үдерістерінде, соның ішінде көмірсу алмасуындағы өзгерістері целлюлолитикалық бактериялардың (*Ruminococcus albus*, *Ruminococcus flavefaciens*, *Fibrobacter succinogenes*) 246 күрделі көмірсуларды моносахаридтер мен дисахаридтерге ыдыратуымен байланысты [6].

Жануарлардың ағзасындағы ақуыз алмасуы орасан зор рөл атқарады. Ақуыздар – мономерлері пептидтік байланыстармен байланысқан аминқышқылдары болып табылатын полимерлер. Олар әртүрлі өмірлік маңызды қызметтерді орындайды: құрылыстық, реттеуші, резервтік энергия, қозғалтқыш, тасымалдау, қорғаныс [7]. Күйіс қайыратын жануарлардың, атап айтқанда сиырдың ақуыз алмасуының көрсеткіштерін салыстыру өзекті болып табылады. Көп асқазанды жануарларда ақуыздың қорытылуы қарын қуысында басталады. Асқазан сөліндегі тұз қышқылының әсерінен ақуыздар денатурацияланып, бұл олардың әрі қарай қорытылуын жеңілдетеді. Әрі қарай ас қорыту аш ішекте жалғасады, онда аминқышқылдары жеңілдетілген диффузия және белсенді тасымалдау арқылы ішек қабырғаларына сінеді [8]. Жоғарыда айтылған зат алмасудың үш түрі де бір бірімен тығыз байланысты және олар гормондармен, ферменттік жүйемен (инсулин, глюкагон, адреналин) реттеліп отырады. Зат алмасу үдерісінің бұзылулары ағзада түрлі аурулардың пайда болуына әкелуі мүмкін. Әдетте, екпе жасалғаннан кейін иммундық жасушалардың белсенді жұмыс жасауы метаболитикалық жүйе жолдарының өзгерулеріне әкеліп соқтырады. Ақуыздық зат алмасу бойынша: иммуноглобулиндер (антиденелер) мен жедел фаза (интерлейкиндер мен С-реактивті ақуыз) ақуыздарының синтезінің жоғарылауына және иммундық реакцияларға қатысатын аминқышқылдарымен қамтамасыз ету үшін ақуыздың катаболизм үдерісі артады [9]. Көмірсу алмасуы өзгерістерінде иммунды жасушалардың қозғалысы үшін гликолиз және глюконеогенез процестері күшейтіледі. Сонымен қатар, қандағы глюкоза мөлшерінің (гипергликемия) уақытша артуы қабынуға қарсы цитокиндердің әсерінен болуы мүмкін. Екпеден кейін липидтік алмасу кезінде энергия алу үшін майлардың ыдырауы артады, үшглицеридтер мен май қышқылдарының қандағы деңгейі арта түседі, қабыну үдері-

сін реттеу мақсатында қанықпаған май қышқылы арахидон қышқылынан простогландиндердің синтезі белсендірек бола түседі. Аусылға қарсы екпе жасау иммундық жауапты қалыптастыру үшін қажетті ақуыздар, көмірсулар және липидтер алмасуында қысқа мерзімді өзгерістерді тудырады. Бұл өзгерістер гормондар мен цитокиндермен реттелгендіктен зат алмасу өнімдерінің қандағы мөлшерінің өзгерістері ұзаққа бармай, белгілі бір уақытта қайта қалпына келеді [10].

Аусыл – вирустық зооноздар тобына жататын, негізінен тұяқты жануарларға тән, адамға жанасу немесе ас қорыту арқылы берілетін, дене қызуының көтерілуімен, сілекей бөлінуімен, тері мен шырышты қабаттардың папуло-везикулярлы-афтозды зақымдануымен сипатталатын жұқпалы ауру [11].

Ауру әсіресе жас малдарда ауыр өтеді. Ауру мал қоздырғышты сілекей, сүт, нәжіс, несеппен шығарады. Инфекция жем-шөп, төсек-орын, науалар, көң, жүн, кейде ауа тамшылары арқылы жұғады. Вирус инкубациялық кезеңде жануарлардың сүті мен сілекейінде пайда болады және аурудың 10-12-ші күнінен соң бөлінуін тоқтатады. Аурудан айыққан кейбір жануарлар вирустың тасымалдаушысы болуы мүмкін, ол кейде бір жылға созылады. Аусылмен ауыратын жануарларда ауыз қуысының, мұрынның, тілдің, еріннің, қызыл иектің шырышты қабығында ойық жараға айналатын көпіршіктер (везикулар) пайда болады. Жануарлардың ауруларының алдын алу санитарлық және ветеринарлық шараларды қамтиды: оқшаулау, карантин, кейде ауру жануарларды мәжбүрлеп сою. Жануарларды белсенді иммундау жүктыру қаупі бар кезде жүргізіледі. Аусылмен ауыратын жануарларды күтетін қызметкерлер барлық жеке қорғану шараларын қатаң сақтауы қажет [12].

Аурудың өткір кезеңінде жануарлар қатты қолайсыздықты сезінеді, бірақ әдетте өлмейді, өсу қарқыны, сүт өнімділігі және жануарлардың қозғалғыштығы айтарлықтай нашарлайды, осылайша өнімділікке әсер етеді. Жануарларға және онымен байланысты өндіріске тікелей әсер етуден басқа, көптеген елдер Дүниежүзілік жануарлар денсаулығы ұйымының (ХЭБ, 2014) Жер кодексінің нұсқауларын қабылдайды [13].

Зерттеу материалдары мен әдістері

Зерттеу Алматы облысы, Еңбекшіқазақ ауданындағы «Рауан-АГРО» шаруа қожалығында жүргізілді. Тәжірибе жүргізу мақсатында 30 сиыр іріктеліп алынды. Алынған ірі қара

малдарды үш топқа: бақылау ($n=10$) және тәжірибелік-қашарлар ($n=10$), тәжірибелік-ересек сиырлар ($n=10$) болып бөлінді. Тәжірибе тобының жануарларына «Ветбицин-5» (Ресей, «Синтез» ААҚ, Қорған қаласы) аусылға қарсы ірі қара салмағына есепке ала отырып 10 000 -15 000 бірлік/кг мөлшерінде егілді. Бақылау жануарларына 5,0 мл стерильді изотоникалық натрий хлориді ерітіндісі енгізілді. Сиырлар бір ай бойы клиникалық бақылауға алынды. Тәжірибелік және бақылау топтарындағы сиырлар ағзасының биохимиялық көрсеткіштеріне екпенің әсерін зерттеу үшін бақылау және тәжірибелік топтардан иммунизациялау алдында және екпеден кейін 7-күннен кейін қан алынды.

Ірі қара малдың қан сарысуындағы биохимиялық көрсеткіштеріне, оның ішінде: жалпы ақуыз – реагенттің коды 12500, альбумин – реагенттің коды 12547, несепнәр – реагенттің коды 12516, креатинин – реагенттің коды 12502, аламинотрансфераза (АЛТ) – реагенттің коды 12533, аспартатаминотрансфераза (АСТ) – реагенттің коды 11830 (ақуыздық зат алмасу); глюкоза (көмірсу алмасуы) – реагенттің коды 11803; холестерин – реагенттің коды 12505, үшглицеридтер (липидтік алмасуы) – реагенттің коды 12528; бойынша сараптама автоматты биохимиялық анализаторда А25 (Испания) жасалынды. Алынған талдау нәтижелері статистикалық өңдеу Microsoft Excel 2007 көмегімен жүзеге асырылды, топаралық айырмашылықтардың маңыздылығы тәуелсіз айнымалылар үшін Student's t-тесті арқылы бағаланды. Айырмашылықтар $p<0,05$ кезінде статистикалық маңызды деп саналды. Мәліметтер келесідей берілген: арифметикалық орта $\pm$ стандартты ауытқу ($M\pm SD$) [14].

Зерттеу нәтижелері және оларды талдау

Ірі қара малға аусылға қарсы екпе енгізілгеннен кейін ақуыз, липидтер және көмірсу алмасуының өзгеруіне талдау жасалды. Алынған

деректер ағзадағы маңызды метаболикалық өзгерістерді көрсетеді, бұл ағзаның енгізілген антигенге реакциясын көрсетеді.

Екпені енгізу қан сарысуындағы жалпы ақуыз, альбумин, креатинин, АЛТ, АСТ және несепнәр концентрациясының өзгеруіне әкелді. Жалпы ақуыз деңгейінде артуы байқалды, бұл иммуноглобулин синтезінің немесе катаболикалық үдерістердің белсендірілуін көрсетуі мүмкін.

Липидтер алмасуы бойынша талдау бақылау тобымен салыстырғанда холестерин мен үшглицеридтердің артуы байқалды. Бұл иммундық жасушаларды энергиямен қамтамасыз етудің жоғарылауы және ағзаның стресстік реакциясымен байланысты.

Көмірсулар алмасуындағы өзгерістер қандағы глюкоза деңгейінің өзгерістерінде көрінді, бұл иммундық жауаптың энергиямен қамтамасыз ету сипаттамаларын көрсетуі мүмкін. Аталған өзгерістердің сандық мәндері ақуыздық зал алмасу (№1 кесте), липидтік (№2 кесте) және көмірсу алмасуы (2- сурет) бойынша төменде берілген кестелерде көрсетілген.

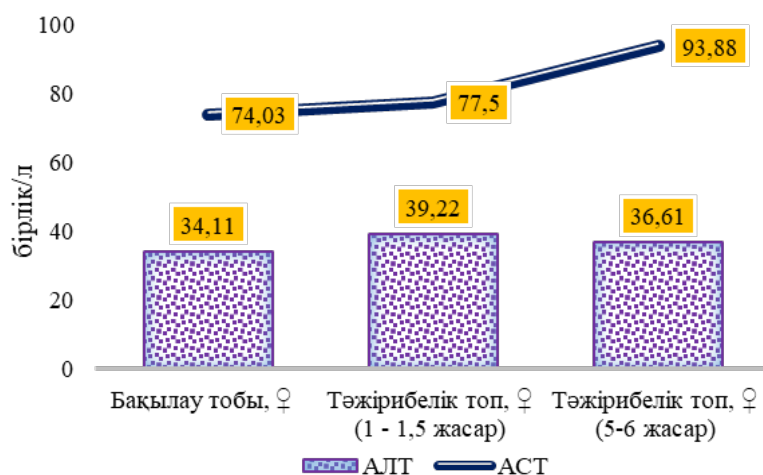
Кестеде көрсетілген сараптама нәтижелері бойынша ақуыздық зат алмасу көрсеткіштерінде біршама өзгерістер орын алған. Тәжірибелік топтарда (1-1,5 жасар; 5-6 жасар) жалпы ақуыз мөлшері бақылау тобына қарағанда (45,5% және 58,3% жоғары), альбумин (42,4%; 19,3%) несепнәр (28,6%; 78,3%) мөлшері айтарлықтай артқандығын көруге болады. 1-1,5 жасар тәжірибелік топта креатинин деңгейі, ересек сиырлардың тобына қарағанда біршама жоғары. 5-6 жасар ересек тәжірибелік топтағы несепнәр көрсеткішінің екі есеге артуы ақуыздық зат алмасуындағы өзгерістермен немесе бүйрек жұмысының жүктемесінің артқандығымен байланысты. Аталған тәжірибелік топтардағы ақуыз зат алмасу өнімдерінің көрсеткіштері Пирсоның (r) корреляция коэффициенті бойынша күшті оң, демек бір көрсеткіштің артуы басқа көрсеткіштердің жоғарылауымен тікелей байланысты (1-кесте).

1-кесте – Аусылға қарсы екпе егілгеннен кейін сиырлардағы ақуыз алмасуын зерттеу нәтижелері

Көрсеткіш	Бақылау тобы, ♀ ($n=10$)	Тәжірибелік топ, ♀ (1 – 1,5 жасар; $n=10$)	Тәжірибелік топ, ♀ (5-6 жасар; $n=10$)
Жалпы ақуыз, г/л	54,84 $\pm$ 4,19	79,77 $\pm$ 3,59 ($p<0.0001$)	86,82 $\pm$ 4,21 ($p<0.0001$)
Альбумин, г/л	25,48 $\pm$ 1,76	36,28 $\pm$ 2,70 ($p<0.0001$)	30,40 $\pm$ 1,63 ($p<0.0001$)
Креатинин, ммоль/л	64,61 $\pm$ 5,34	71,29 $\pm$ 4,23 ($p=0.0062$)	66,72 $\pm$ 1,59 ($p=0.247$)
Несепнәр, ммоль/л	5,83 $\pm$ 0,80	7,50 $\pm$ 0,23 ($p<0.0001$)	10,13 $\pm$ 0,71 ($p<0.0001$)
Ескерту: 1-1,5 жасар $r=0,80$; 5-6 жасар $r=0,80$; күшті оң корреляция; Стьюдент t-критерий бойынша (p) бақылау тобымен салыстыра отырып есептелінген			

Аусылға қарсы екпеден кейінгі ферменттік белсенділік (АЛТ, АСТ) көрсеткіштері 1-1,5 жасар тәжірибелік топта бақылау тобымен салыстырғанда 14,9%, 5-6 жасар ірі қара тобында 7,3% жоғары; АСТ 1-1,5 жасар қашарларда 4,7%, ересек сиырларда бұл көрсеткіш мөлшері 26,8%-ға артық. Бұл ферменттер көрсеткішінің артуы заңдылық, себебі салынған екпе иммундық жүйені ынталандырып,

соның салдарынан бауырдың жұмысына уақытша жүктеме береді; Ересек ірі қара мал тобындағы (5-6 жасар) АСТ көрсеткішінің айтарлықтай жоғарлауы қабыну үдерісінің әсерінен бұлшықеттерге түсетін жүктеменің артуынан. Үшінші себеп: бауырда ақуызды зат алмасу үдерісінің өнімдері қайта өңделеді, соның әсерінен АЛТ және АСТ көрсеткіштері жоғарылайды (1-сурет).



1-сурет – Бақылау және тәжірибелік топтардағы АЛТ және АСТ ферменттік белсенділігінің динамикасы, бірлік/л

Екпеден кейінгі липидтік алмасу көрсеткіштері: холестерин жас ірі қараларда 11,54%-ға (1-1,5 жас) және ересек сиырларда (5-6 жаста) 20,38%-ға өсті, бұл екпеден кейін липидтік ал-

масу үдерістерінің артқандығын көрсетеді; үшглицеридтер жас малдарда 9,37%-ға, ересектерде 28,13%-ға артуы, бұл ағзадағы қуат қорының белсенділігімен байланысты (2-кесте).

2-кесте – Екпе егілгеннен кейін ірі қаралардағы липидтік және көмірсу алмасуларын зерттеу нәтижелері

Топ	липидтік алмасу	
	Холестерин, ммоль/л	Үшглицеридтер, ммоль/л
Бақылау тобы ♀ (n=10)	2,60±0,20	0,32±0,03
Тәжірибелік топ ♀ (1 – 1,5 жасар; n=10)	2,90±0,26 (p=0,078)*	0,35±0,03 (p=0,0037)**
Тәжірибелік топ ♀ (5-6 жасар; n=10)	3,13±0,19 (p<0,0001)**	0,41±0,04 (p<0,0001)**

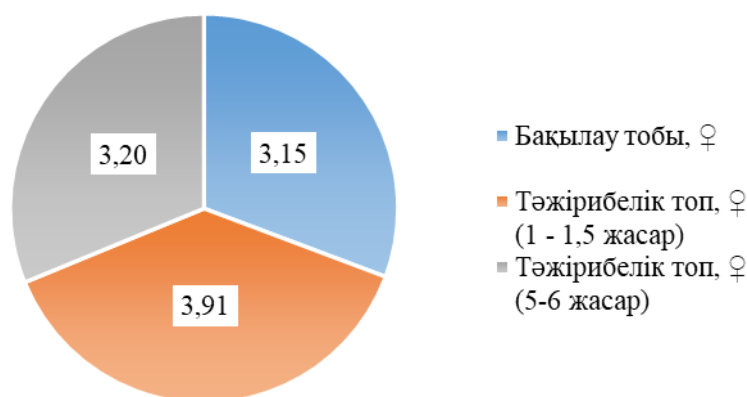
Ескерту: *p>0,05; **p<0,05

Көмірсу алмасуы (глюкоза) бақылау және тәжірибелік топтар арасындағы айырмашылықтарды анықтады, бұл аусылға қарсы екпеге жауап ретінде метабаликалық өзгерістерді көрсетуі мүмкін. Қашарларда (1-1,5 жас) глю-

коза деңгейі бақылауға қарағанда айтарлықтай жоғары болды (+24,13%). Бұл екпе әсерінен туындаған күйзеліске жауап ретінде гипергликемиялық жауапты немесе иммундық процестерді энергиямен қамтамасыз ету үшін глюко-

неогенез мен гликогенолиздің жоғарылауын көрсетуі мүмкін. Ересектер тобында (5-6 жас) глюкоза деңгейі іс жүзінде аз мөлшерде өзгерді (+1,59%), бұл айқын гипергликемиялық реакцияның жоқтығын көрсетеді. Бұл ересек жа-

нуарларда көмірсулар алмасуының неғұрлым тұрақты реттелуіне немесе олардың екпеден кейінгі метаболикалық өзгерістерге ағзаларының бейімделуіне байланысты болуы мүмкін (2-сурет).



2-сурет – Бақылау және тәжірибелік топтардағы ірі қаралардың қан құрамындағы глюкозаның мөлшері, ммоль/л

Қорытынды

Аусыл бүкіл әлемде мал шаруашылығына үлкен қауіп төндіруде. Эндемиялық аймақтарда бұл аурумен күресудің басым әдісі белсенді емес екпемен жүйелі түрде егу болып табылады. Дегенмен, көптеген шектеулер бар. Мысалы, вирулентті аусыл вирусын (FMDV) өндірістік бөлімшелерде өсіру өндіріс орындарынан қашып кету қаупін тудырады. Екпелерде кейде аусыл вирусының құрылымдық емес ақуыздарының (NSPs) іздері болуы мүмкін, сондықтан екпе егілген жануарлардан (DIVA) жұқтырылған NSP негізіндегі серологиялық дифференциацияға кедергі жасайды. Оның үстіне екпе тасымалдаушы жануарлардан вирусты жоя алмайды. Инактивтендірілген екпелердің кемшіліктерін жою үшін қазіргі уақытта көптеген күш-жігер жаңа екпе түрлерін, соның ішінде әлсіреген немесе маркер инактивтендірілген екпелерді, рекомбинантты ақуызды екпелерді, синтетикалық пептидті екпелерді және бос капсидті екпелерді әзірлеуге арналған жобалар бар [15].

Аусылға қарсы екпелердің ірі қара малының зат алмасуына әсері ветеринариядағы өзекті мәселе болып табылады. Алдыңғы зерттеулер екпені енгізу жануарлардың әртүрлі метаболи-

калық үдерістеріне өзгерістер тудыруы мүмкін екенін көрсетті. Атап айтқанда, екпе ағзадағы ақуыздар, липидтер және көмірсу деңгейінің өзгеруіне алып келді. Бұл иммундық жүйенің белсендірілуіне және антиденелер мен иммундық жауаптың басқа компоненттерінің синтезі үшін энергияға деген қажеттіліктің артуына байланысты. Екпе жануарларда стресстік реакцияны тудыруы мүмкін, бұл олардың метаболизміне әсер етеді. Күйзеліс кортизол деңгейін жоғарылатып, метаболизмге әсер етеді және қандағы глюкоза деңгейінің өзгеруіне әкеледі.

Осылайша аусылға қарсы екпе ірі қара малының зат алмасуына кешенді әсер етеді. Бұл өзгерістерді түсіну екпе кестелерін оңтайландыру және жануарлардың денсаулығын қамтамасыз ету үшін маңызды.

Біздің елімізде де жыл сайын аусыл бойынша жаттығу жұмыстары жүргізіледі. Қазақстан Республикасы Ауыл шаруашылығы министрлігі Ветеринариялық бақылау және қадағалау комитеті ветеринария қызметі аусыл бойынша симуляция жаттығуларын өткізді. Бұл іс-шара 2022 жылдың 26-28 қазан аралығында Солтүстік Қазақстан облысы, Тайынша ауданы, Новоивановка ауылында өтті. Бұл жаттығулар облыстық және орталық ветеринария басқармаларының қызметкерлерін

теориялық және практикалық оқытуды қамтыды [16]. Оқу-жаттығу 2023 жылдың 26 қаңтарында Түркістан облысы, Сарыағаш ауданы, «Б.Қонысбаев» кеден бекетінде өтті [17].

Біздің бұл зерттеулер жануарлардың метаболизміне екпенің әсерін бағалаудың кешенді тәсілінің маңыздылығын және осы салада әрі қарай зерттеулер жүргізу қажеттілігін көрсетеді.

Аусылға қарсы екпеден кейінгі ірі қара малдың метаболикалық өзгерістерінің динамикасын зерттеу барысында иммундық жауап ақуыз, липидтер және көмірсу алмасуының елеулі өзгерістерімен қатар жүретіні анықталды. Екпені енгізу иммуноглобулиндердің синтезін белсендіріп, қандағы жалпы ақуыз және альбумин концентрациясының жоғарылауымен көрінді.

Липидтер алмасуы да өзгерістерге ұшырады: холестерин мен үшглицеридтер деңгейінің жоғарылауы байқалды, бұл иммундық жауаптың қалыптасуы кезінде дененің энергияға қажеттілігінің жоғарылауын көрсетеді. Көмірсу алмасуын бойынша сараптама нәтижесі глюкоза деңгейінің уақытша жоғарылауын көрсетті, әсіресе жас жануарларда, бұл физиологиялық күйзеліспен және глюконеогенез үдерістерінің белсендірілуімен байланысты болуы мүмкін.

Бауырдың ферментативті белсенділігінің динамикасы (АЛТ, АСТ) екпеден кейінгі кезеңде бауыр жүктемесінің жоғарылауын көрсетті, бұл ақуыздар мен липидтердің метаболизмінің жоғарылауымен байланысты болуы ықтимал. Дегенмен, біраз уақыттан кейін көрсеткіштер

тұрақтанды, бұл дененің жаңа метаболикалық жағдайларға біртіндеп бейімделуін көрсетеді.

Биохимиялық өзгерістерден басқа, ірі қара малының мінез құлықтарымен, іс әрекеттерінде өзгерістер пайда болды. Екпеден кейін сиырлар летаргиялық күйде болып көрінді, аз қозғалады және демалуға көбірек уақыт жұмсады. Екпеден кейінгі бірінші күнде кейбір жануарлардың тәбетінің төмендеуі байқалды. Жалпы күйзеліске байланысты сиырлардың судан, тамақтанудан бас тартуы байқалды, яғни тәбеті төмендеді. Ересек сиырлардың кейбір даралары тітіркендіргіш күйге түсіп, ағзада пайда болған қолайсыздықтың салдарынан агрессиялық мінез-құлық көрсетті. Аусылға қарсы екпеден кейінгі мінез-құлық өзгерістері әдетте қысқа мерзімді, яғни жануарларға ұзақ мерзімді әсер етпейді. Тиісті күтім, күйзелісті азайту және бақылау жұмыстары жүргізіліп, жануарлар қалыпты мінез-құлыққа қайта оралды.

Осылайша, зерттеу нәтижелері аусылға қарсы егу ірі қара малдағы зат алмасу үдерістерімен мінез-құлық әрекеттеріне де айқын әсер ететіні анықталды.

Қаржыландыру көзі

Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитеті (2024-2026) қаржыландыратын BR24993004 жобасының қаржылық қолдауымен жүзеге асырылды.

Әдебиеттер

1. Zhao X., Wang Y., Wang L., Sun S., Li C., Zhang X., Tian Y. Differences of serum glucose and lipid metabolism and immune parameters and blood metabolomics regarding the transition cows in the antepartum and postpartum period // *Frontiers in Veterinary Science*.— 2024.— Vol. 11.— P. 1347585.
2. Belinskaia D.A., Voronina P.A., Shmurak V.I., Jenkins R.O., Goncharov N.V. Serum albumin in health and disease: esterase, antioxidant, transporting and signaling properties // *International Journal of Molecular Sciences*.— 2021.— Vol. 22, No 19.— P. 10318.
3. Девина Е.А., Ванда А.С., Малькевич Л.А., Осипова И.С. Биохимические маркеры поражения печени у пациентов с коронавирусной инфекцией // *Инновационные технологии в фармации*.— 2023.— С. 54–58.
4. Thomson J.R., Friendship R.M. Digestive system // *Diseases of swine*.— 2019.— P. 234–263.
5. Shen J., Yu Z., Zhu W. Insights into the populations of proteolytic and amino acid-fermenting bacteria from microbiota analysis using in vitro enrichment cultures // *Current Microbiology*.— 2018.— Vol. 75.— P. 1543–1550.
6. Кузнецова Е.Ю., Пашаян С.А. Особенности углеводного обмена у жвачных животных // *Инновационное развитие агропромышленного комплекса для обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации*.— 2020.— С. 247–253.
7. Jelokhani-Niaraki M. Membrane proteins: structure, function and motion // *International Journal of Molecular Sciences*.— 2022.— Vol. 24, No 1.— P. 468.
8. García-Yuste S., Pérez-Barbería F.J. The ruminant: Life history and digestive physiology of a symbiotic animal // *Sustainable and environmentally friendly dairy farms*.— 2020.— P. 19–45.
9. Boncler M., Wu Y., Watala C. The multiple faces of C-reactive protein—physiological and pathophysiological implications in cardiovascular disease // *Molecules*.— 2019.— Vol. 24, No 11.— P. 2062.

10. Lyons N.A., Lyoo Y.S., King D.P., Paton D.J. Challenges of generating and maintaining protective vaccine-induced immune responses for foot-and-mouth disease virus in pigs // *Frontiers in Veterinary Science*.– 2016.– Vol. 3.– P. 102.
11. Soomro H., Hassan M.F., Rajput Z.I., Soomro M.A., Junejo G.A., Saboor A., Ain Q. Foot and Mouth Disease (FMD): A Zoonotic Threat to Animal and Humans // *Zoonosis*.– 2023.– Vol. 3.– P. 637–650.
12. Donaldson A. Clinical signs of foot-and-mouth disease // *Foot and Mouth Disease*.– Boca Raton: CRC Press, 2019.– P. 93–102.
13. Международные документы об использовании противомикробных препаратов в секторах здравоохранения, ветеринарии и растениеводства / ВОЗ, ФАО, МЭБ.– Женева, 2020.– ISBN 978-92-4-002953-8.
14. Ivanter E.V., Korosov A. Elementary biometrics.– 2nd ed.– Petrozavodsk: Publishing House of PetrSU, 2010.– 104 p.– ISBN 978-5-8021-1112-3.
15. Cao Y., Lu Z., Liu Z. Foot-and-mouth disease vaccines: progress and problems // *Expert Review of Vaccines*.– 2016.– Vol. 15, No 6.– P. 783–789.
16. World Organisation for Animal Health. Simulation exercise: Foot and mouth disease in Kazakhstan.– 2022.– URL: <https://www.woah.org/en/simulation-exercise/simulation-exercise-foot-and-mouth-disease-in-kazakhstan-2/>
17. World Organisation for Animal Health. Simulation exercise: Foot and mouth disease in Kazakhstan.– 2023.– URL: <https://www.woah.org/en/simulation-exercise/simulation-exercise-foot-and-mouth-disease-in-kazakhstan-3/>

References

- 1 Belinskaia, D. A., Voronina, P. A., Shmurak, V. I., Jenkins, R. O., & Goncharov, N. V. (2021). Serum albumin in health and disease: esterase, antioxidant, transporting and signaling properties. *International journal of molecular sciences*, 22(19), 10318.
- 2 Boncler, M., Wu, Y., & Watala, C. (2019). The multiple faces of C-reactive protein—physiological and pathophysiological implications in cardiovascular disease. *Molecules*, 24(11), 2062.
- 3 Cao, Y., Lu, Z., & Liu, Z. (2016). Foot-and-mouth disease vaccines: progress and problems. *Expert Review of Vaccines*, 15(6), 783-789.
- 4 Devina, E. A., Vanda, A. S., Mal'kevich, L. A., & Osipova, I. S. (2023). Biohimicheskie markery porazheniya pecheni u pacientov s koronavirusnoj infekciej [Biochemical markers of liver damage in patients with coronavirus infection] *Innovacionnye tekhnologii v farmacii* -pp. 54-58. (In Russian)
- 5 Donaldson, A. (2019). Clinical signs of foot-and-mouth disease. In *Foot and Mouth Disease* (pp. 93-102). CRC Press.
- 6 García-Yuste, S., & Pérez-Barbería, F. J. (2020). The ruminant: Life history and digestive physiology of a symbiotic animal. *Sustainable and environmentally friendly dairy farms*, 19-45.
- 7 Ivanter E.V., Korosov A. (2010) Elementary biometrics [Elementarnaya biometriya]. – 2nd ed. – Petrozavodsk: Publishing house of PetrSU – 104 p. ISBN 978-5-8021-1112-3
- 8 Jelokhani-Niaraki, M. (2022). Membrane proteins: structure, function and motion. *International journal of molecular sciences*, 24(1), 468.
- 9 Kuznecova, E. YU., & Pashayan, S. A. (2020). Osobennosti uglevodnogo obmena u zhvachnyh zhivotnyh. *Innovacionnoe razvitiye agropromyshlennogo kompleksa dlya obespecheniya prodovol'stvennoj bezopasnosti Rossijskoj Federacii* [Features of carbohydrate metabolism in ruminants. Innovative development of the agro-industrial complex to ensure food security of the Russian Federation] -pp. 247-253. (In Russian)
- 10 Lyons, N. A., Lyoo, Y. S., King, D. P., & Paton, D. J. (2016). Challenges of generating and maintaining protective vaccine-induced immune responses for foot-and-mouth disease virus in pigs. *Frontiers in veterinary science*, 3, 102.
- 11 Mezhdunarodnye dokumenty ob ispol'zovanii protivomikrobnih preparatov v sektorah zdravoohraneniya, veterinarii i rastenievodstva. Vsemirnaya organizaciya zdravoohraneniya (VOZ), Prodovol'stvennaya i sel'skohozyajstvennaya organizaciya Ob'edinennyh Nacij (FAO) i Vsemirnaya organizaciya po ohrane zdorov'ya zhivotnyh (MEB) [International instruments on the use of antimicrobials in the human, veterinary and plant health sectors. World Health Organization (WHO), Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and World Organisation for Animal Health (OIE)], 2020 г. ISBN (BO3) 978-92-4-002953-8. (In Russian)
- 12 Shen, J., Yu, Z., & Zhu, W. (2018). Insights into the populations of proteolytic and amino acid-fermenting bacteria from microbiota analysis using in vitro enrichment cultures. *Current Microbiology*, 75, 1543-1550.
- 13 Soomro, H., Hassan, M. F., Rajput, Z. I., Soomro, M. A., Junejo, G. A., Saboor, A., ... & Ain, Q. (2023). Foot and Mouth Disease (FMD): A Zoonotic Threat to Animal and Humans. *Zoonosis*, Unique Scientific Publishers, Faisalabad, Pakistan, 3, 637-650.
- 14 Thomson, J. R., & Friendship, R. M. (2019). Digestive system. *Diseases of swine*, 234-263.
- 15 World Organisation for Animal Health (2022). Simulation exercise: Foot and mouth disease in Kazakhstan <https://www.woah.org/en/simulation-exercise/simulation-exercise-foot-and-mouth-disease-in-kazakhstan-2/>
- 16 World Organisation for Animal Health (2023). Simulation exercise: Foot and mouth disease in Kazakhstan <https://www.woah.org/en/simulation-exercise/simulation-exercise-foot-and-mouth-disease-in-kazakhstan-3/>
- 17 Zhao, X., Wang, Y., Wang, L., Sun, S., Li, C., Zhang, X., ... & Tian, Y. (2024). Differences of serum glucose and lipid metabolism and immune parameters and blood metabolomics regarding the transition cows in the antepartum and postpartum period. *Frontiers in Veterinary Science*, 11, 1347585.

Авторлар туралы мәлімет:

Жақсымов Болатбек Исаұлы – жаратылыстану ғылымдарының магистрі, Генетика және физиология институтының «Адам мен жануарлардың экологиялық физиологиясы» зертханасының аға ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан, e-mail: bolat_kaz@inbox.ru).

Бахтиярова Шолпан Қадырбайқызы – биология ғылымдарының кандидаты, генетика және физиология институты «Адам мен жануарлардың экологиялық физиологиясы» зертханасының меңгерушісі (Алматы, Қазақстан, e-mail: bifara.66@mail.ru).

Джунусова Айнура Болатовна – жаратылыстану ғылымдарының магистрі, Генетика және физиология институтының «Адам мен жануарлардың экологиялық физиологиясы» зертханасының кіші ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан, e-mail: ainur.a1988@mail.ru).

Капышева Унзира Наурызбайқызы – биология ғылымдарының докторы, профессор, Генетика және физиология институты «Адам мен жануарлардың экологиялық физиологиясы» зертханасының бас ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан, e-mail: unzira@inbox.ru).

Information about the authors:

Zhaksymov Bolatbek Isaully – Master of Natural Sciences, Senior Researcher, Laboratory “Ecological Physiology of Human and Animals” of the Institute of Genetics and Physiology (Almaty, Kazakhstan, e-mail: bolat_kaz@inbox.ru).

Kapysheva Unzira Nauryzbaykyzy – Doctor of Biological Sciences, Professor, Chief Researcher, Laboratory “Ecological Physiology of Human and Animals” of the Institute of Genetics and Physiology (Almaty, Kazakhstan, e-mail: unzira@inbox.ru).

Bakhtiyarova Sholpan Kadyrbaykyzy – Candidate of Biological Sciences, Head of Laboratory “Ecological Physiology of Human and Animals” of the Institute of Genetics and Physiology (Almaty, Kazakhstan, e-mail: bifara.66@mail.ru).

Junusova Ainur Bolatovna – Master of Natural Sciences, Junior Researcher, Laboratory “Ecological Physiology of Human and Animals” of the Institute of Genetics and Physiology (Almaty, Kazakhstan, e-mail: ainur.a1988@mail.ru).

Сведения об авторах:

Жақсымов Болатбек Исаұлы – магистр естественных наук, старший научный сотрудник лаборатории «Экологическая физиология человека и животных» Института генетики и физиологии (Алматы, Казахстан, e-mail: bolat_kaz@inbox.ru).

Бахтиярова Шолпан Кадырбайқызы – кандидат биологических наук, заведующая лабораторией «Экологическая физиология человека и животных» Института генетики и физиологии (Алматы, Казахстан, e-mail: bifara.66@mail.ru).

Джунусова Айнура Болатовна – магистр естественных наук, младший научный сотрудник лаборатории «Экологическая физиология человека и животных» Института генетики и физиологии (Алматы, Казахстан, e-mail: ainur.a1988@mail.ru).

Капышева Унзира Наурызбайқызы – доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории «Экологическая физиология человека и животных» Института генетики и физиологии (Алматы, Казахстан, e-mail: unzira@inbox.ru).

Келіп түсті: 13 наурыз 2025 жыл
Қабылданды: 20 қараша 2025 жыл

МРНТИ 76.03.39

<https://doi.org/10.26577/bb202510511>**А.К. Джумагалиева***, **З.Б. Тунгушбаева**

Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан

*e-mail: aina1392@mail.ru

ДЕЙСТВИЕ КАДМИЯ НА СЕМЕННИКИ

Среди токсичных металлов, влияющих на репродуктивную систему, наиболее значительную роль играет кадмий. Кадмий является одним из факторов, нарушающих функцию яичек. Механизмы действия кадмия в яичках очень сложны и включают повреждение сосудистого эндотелия половых клеток, клеток Сертоли и Лейдига, а также межклеточных спаек. Этот металл усиливает действие свободных радикалов, вызывает изменения в работе ферментных систем и индуцирует воспалительную реакцию. Морфологические изменения, вызываемые кадмием, включают интерстициальный отек и некроз семенных канальцев. Целью данной статьи было исследование воздействия на семенники, оценить субхронический эффект на яички. Взрослые самцы крыс линии Wistar были разделены на четыре группы: контрольная, вторая группа – получавшая раствор хлорида кадмия в предельно допустимой концентрации (0,001 мг/л), третья группа – субтоксическую дозу хлорида кадмия (0,01 мг/л), четвертая – ударную дозу (0,1 мг/л). Оценивали концентрацию основных минералов и кадмия в яичках гистологию и гистоморфометрию яичек. Отмечалось увеличение количества апоптотических клеток при субтоксической и ударной дозах. Кроме того, наблюдались дегенеративные изменения эпителия семенников, гибель половых клеток и повреждение клеток Лейдига. Полученные результаты подтверждают, что тяжесть Cd-индуцированного повреждения яичек зависит от пути, а также от продолжительности воздействия.

Ключевые слова: кадмий, семенники, токсичность, репродуктивная система, оксидативный стресс.

А.К. Jumagaliyeva*, Z.B. Tungushbaeva

Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: aina1392@mail.ru

The effects of cadmium on the testes

Among toxic metals affecting the reproductive system, cadmium plays the most significant role. Cadmium is one of the factors that impair testicular function. The mechanisms of action of cadmium in the testes are very complex and include damage to the vascular endothelium of germ cells, Sertoli and Leydig cells, and intercellular adhesions. This metal enhances the action of free radicals, causes changes in enzyme systems and induces an inflammatory response. Morphologic changes induced by cadmium include interstitial edema and necrosis of seminal tubules. The aim of this article was to investigate the effects on the testes, to evaluate the subchronic effects on the testes. The adult male Wistar rats were divided into four groups for the purposes of this study: control group, second group that received a cadmium chloride solution at the maximum permissible concentration (0.001 mg/L), third group that received a sub-lethal dose of cadmium chloride (0.01 mg/L), and fourth group that received a shock dose (0.1 mg/L). The concentration of essential minerals and cadmium in the testicles was assessed, as well as the histology and histomorphometry of the testicles. An increase in the number of apoptotic cells was observed at subtoxic and shock doses. Furthermore, degenerative changes in the testicular epithelium, the death of germ cells, and damage to Leydig cells were observed. The results confirm that the severity of Cd-induced testicular damage depends on the route as well as the duration of exposure.

Keywords: cadmium, testes, toxicity, reproductive system, oxidative stress.

А.К. Джумагалиева*, З.Б. Тунгушбаева

Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

*e-mail: aina1392@mail.ru

Кадмийдің аталық безіне әсері

Репродуктивті жүйеге әсер ететін улы металдардың ішінде кадмий ең маңызды рөл атқарады. Кадмий – аталық бездің жұмысын бұзатын факторлардың бірі. Аталық бездегі кадмийдің әсер ету механизмдері өте күрделі және жыныс жасушаларының тамырлы эндотелийінің, Сертоли мен Лейдиг жасушаларының және жасушааралық адгезиялардың зақымдалуын қамтиды. Бұл

Бұл металл бос радикалдардың әсерін күшейтеді, ферменттік жүйелердің жұмысында өзгерістер еңгізеді және қабыну реакциясын тудырады. Кадмий тудыратын морфологиялық өзгерістерге интерстициальды ісіну және сперматикалық түтікшелі некроз жатады. Бұл мақаланың мақсаты аталық бездерге әсерін зерттеу және аталық бездерге субхронды әсерді бағалау болды. Ересек аталық Wistar егеуқұйрықтары төрт топқа бөлінді: бақылау тобы, екінші топ кадмий хлориді ерітіндісін рұқсат етілген ең жоғары концентрацияда (0,001 мг/л) қабылдаған, үшінші топ кадмий хлоридінің субоксидті дозасын (0,01 мг/л) алған және төртінші топ шоктық дозасын (0,1 мг/л) алған. Аталық бездердегі маңызды минералдар мен кадмийдің концентрациясы, сондай-ақ аталық бездердің гистологиясы мен гистоморфометриясы бағаланды. Субтоксикалық және шоктық дозаларында апоптоздық жасушалар санының артуы байқалды. Сонымен қатар аталық без эпителийіндегі дегенеративті өзгерістер, жыныс жасушаларының өлуі және Лейдиг жасушаларының зақымдануы байқалды. Нәтижелер аталық бездің Cd-индукцияланған зақымдануының ауырлығы жолға, сондай-ақ әсер ету ұзақтығына байланысты екенін растайды.

Түйін сөздер: кадмий, аталық без, уыттылық, репродуктивті жүйе, тотығу стресі.

Введение

В настоящее время снижение мужской фертильности стало актуальной международной темой. Несколько исследований подтвердили, что неблагоприятное воздействие окружающей среды может привести к нарушению репродуктивной функции мужчин. Так в последние годы, в связи с ухудшением ситуации с промышленным загрязнением городов Казахстана, все большее внимание привлекает влияние хронического воздействия тяжелых металлов на репродуктивную функцию мужчин. Кадмий – тяжелый металлический элемент, часто встречающийся в цинковых рудах. Благодаря его способности загрязнять растения и сельскохозяйственные культуры, ежедневный рацион питания стал одним из основных путей воздействия кадмия. Кроме того, кадмий может попасть в организм человека через такие среды, как атмосфера и вода. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) установила порог безопасности для кадмия на уровне 7 мкг/кг в неделю еще в конце XX века. Исследования Л.И. Дроздова предполагают, что воздействие кадмия может приводить к повреждению яичек и снижению репродуктивной функции через индукцию ферроптоза клеток или изменения в структуре сосудов [1]. Однако механизмы токсического воздействия хронического воздействия кадмия на семенники до конца не выяснены.

А.В. Пахомов, Г.А. Божок сообщили, что абсорбция кадмия у человека происходит медленно после перорального воздействия, и кадмий остается в кишечнике через 3-5 недель после приема, что обуславливает возможность кумулятивного токсического эффекта [2]. Исследования Л.К. Рамая, В.А. Шевченко показали, что кадмий накапливается в печени и других органах организма

после перорального воздействия, что еще больше подтверждает его плохое выведение [3]. В статье В.А. Макутина было показано, что острое или хроническое воздействие кадмия приводит к образованию большого количества свободных радикалов и, как следствие, к окислительному стрессу практически во всех органах организма [4]. Нарушение функциональных структур в барьере кровь-яичко и кровь-эпидидимис приводит к нарушению процессов сперматогенеза и созревания сперматозоидов, что ассоциируется с бесплодием. Токсическое воздействие кадмия на яички включает снижение активности стероидогенных ферментов, снижение количества сперматозоидов, суточной продукции спермы, подвижности, жизнеспособности и антиоксидантных ферментов, а также выраженные гистологические изменения в яичках.

Материалы и методы исследования

Двадцать самцов крыс Вистар весом от 180 до 220 г. Крысы были перевезены и содержались в клетках в помещении с 12-часовым циклом свет / темнота. Их кормили стандартным крысиным кормом и водой в течение двух недель акклиматизации. После акклиматизации крысы были образом распределены на четыре экспериментальные группы по 5 особей. В течение двух месяцев 3 группы потребляли воду с растворенным в ней хлоридом кадмия в концентрации 0,001 мг/л (предельная допустимая концентрация – ПДК), 0,01 мг/л и 0,1 мг/л. Введение раствора хлорида кадмия в организм крыс осуществлялось комбинированно: перорально, а также при помощи инсулинового шприца. Все животные имели доступ к обычному питанию в течение всего периода исследования. Семенники были отправлены законсервированы 10%-

ый раствор формалина после чего отправлены на гистологическую обработку в соответствии со стандартной процедурой окраски гематоксилин-эозином, обработаны на предметном стекле и просмотрены под микроскопом для гистологических наблюдений. Подготовленные парафиновые доводили до воды, после чего проводили их окраску гематоксилином в течение 3–5 минут. Затем препарат промывали в проточной воде, ополаскивали дистиллированной водой и окрашивали 1% раствором эозина в течение 1–2 минут, придавая цитоплазматическим и межклеточным структурам характерный розовый оттенок. После повторного ополаскивания в дистиллированной воде срезы подвергали обезживанию в спирте, затем просветляли в ксилоле, что делало препарат более прозрачным. На завершающем этапе препарат заключали под покровное стекло с использованием балъзама.

В ткани яичка проводили следующие измерения: относительный объем и площадь поверхности эпителия семенников, просвета канальцев, кровеносных сосудов, площадь поверхности канальцев.

Результаты исследования и их обсуждение

Кадмий (Cd), один из наиболее важных экологических и профессиональных токсичных металлов, широко распространен в окружающей среде и образует разнообразные комплексы и растворимые соли. В зависимости от дозы, пути и продолжительности воздействия кадмий может повреждать различные органы, включая легкие, печень, почки, кости, яички и плаценту. Недавние исследования Т.В. Гамма показали, что кадмий стимулирует выработку свободных радикалов, что приводит к окислительной деградации макромолекул [5]. Кадмий влияет на пролиферацию, дифференциацию и апоптоз клеток, взаимодействуя с механизмом репарации ДНК, генерацией реактивных видов кислорода (ROS) и индукцией апоптоза. Кадмий потенциально вызывает мутации и хромосомные делеции. Его токсичность связана с истощением восстановленного глутатиона, связыванием сульфгидрильных групп с белком и усилением выработки реактивных видов кислорода, таких как супероксид-ион, пероксид водорода и гидроксильные радикалы.

Семенники являются важнейшим компонентом мужской репродуктивной системы, выступая в качестве жизненно важных органов, опре-

деляющих мужскую репродуктивную функцию. Яички не только играют роль в эндокринной функции мужской репродуктивной системы, но и служат важным местом для развития и регуляции сперматогенеза. Функционирование яичек обеспечивается в основном за счет взаимодействия клеток Сертоли, клеток Лейдига и половых клеток. Клетки Сертоли обеспечивают структурную поддержку для безопасного продвижения половых клеток через многочисленные раунды митоза и мейоза, формируя «барьер кровь-тестис (ВТВ)», который создает микросреду, благоприятную для сперматогенеза, обеспечивает иммунную защиту и придает полярность эпителиальным клеткам половых клеток. Клетки Лейдига в основном поддерживают мужские вторичные половые признаки за счет выработки и секреции тестостерона. Зародышевые клетки составляют основной орган производства сперматозоидов и служат их предшественниками. Поэтому физиологическая функция семенников зависит от взаимодействия этих трех типов клеток. Исследования Ш.Ж. Тешаев показывают, что воздействие таких веществ, как бисфенолы, этанол, никотин, может значительно снизить экспрессию генов, связанных с синтезом тестостерона, в клетках Лейдига самцов крыс, что приводит к заметному снижению уровня тестостерона как в крови, так и в эндогенном организме [6]. Однако конкретные эффекты на функцию синтеза тестостерона в яичках после воздействия кадмия до сих пор четко не описаны.

Стоит отметить, что гистопатология считается наиболее надежным параметром для выявления токсического воздействия на репродуктивную функцию самцов. Кадмий накапливается в мужских репродуктивных органах как у людей, так и у животных. Кадмий-индуцированная токсичность яичек обусловлена взаимодействием сложных сетей, включающих ингибирование окислительного стресса, что приводит к увеличению апоптоза половых клеток и деформации барьера кровь-тестис с последующей потерей половых клеток, отеком яичек и кровоизлиянием. После длительного воздействия повреждение, наносимое кадмием, может быть обнаружено на интерстициальном и канальцевом уровне. Субхроническое воздействие кадмия вызывало утолщение эпителия, расширение просвета канальцев и гранулематозное воспаление. Помимо разрушительного воздействия на эпителий, кадмий также вызывал сужение сосудов, ишемию и отек. Отек

является прямым следствием изменения гемодинамики, опосредованного повреждением сосудистого эндотелия. Увеличение массы эпидидимальной ткани обычно указывает на чрезмерное накопление интерстициальной жидкости и может быть чувствительным инди-

катором снижения продукции сперматозоидов. Полученные данные согласуются с более ранними сообщениями об опосредованных кадмием гистологических изменениях в яичках, эпидидимисе и вспомогательных половых органах. Рассмотрим рисунок строения семенника.

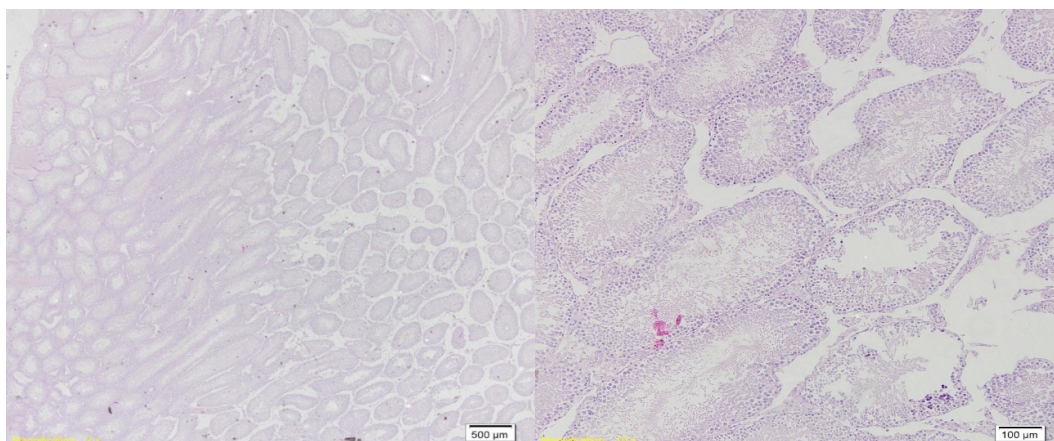


Рисунок 1 – Контрольная группа

Строение семенника сохранено, в канальцах сохранен сперматогенез, межканальцевых пространствах отмечаются сосуды, фибробласты и клетки Лейдига. Гистоархитектоника семенника

сохранена. Семенные канальцы четко очерчены, содержат клетки сперматогенного ряда на разных стадиях дифференцировки. Признаки дегенеративных изменений отсутствуют.

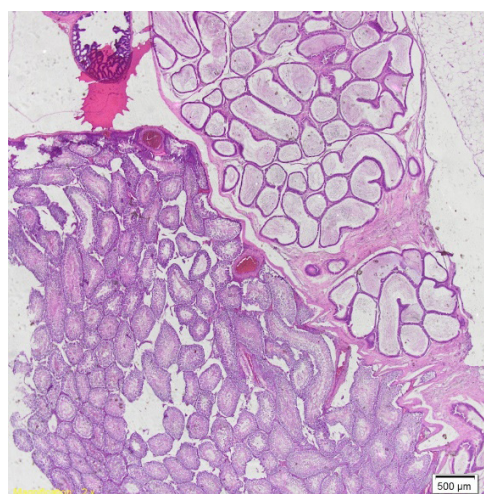
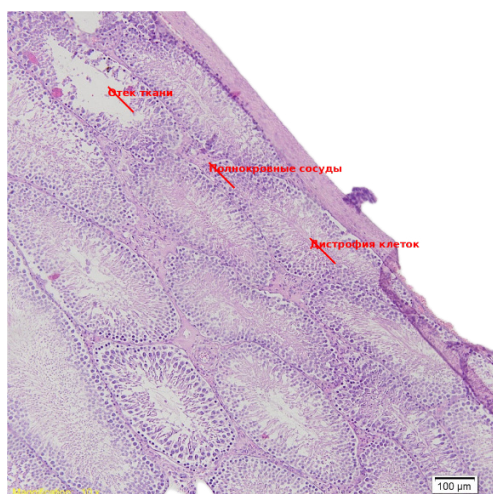


Рисунок 2 – Семенники после воздействия предельно допустимая концентрации хлорида кадмия – 0,001 мг/л

Гистоархитектоника семенника сохранена. В канальцах выявляются сперматогонии, сперматозоиты и сперматиды, что свидетельствует о со-

хранности сперматогенеза. В интерстициальной ткани обнаружены кровеносные сосуды, фибробласты и клетки Лейдига, умеренный отек.

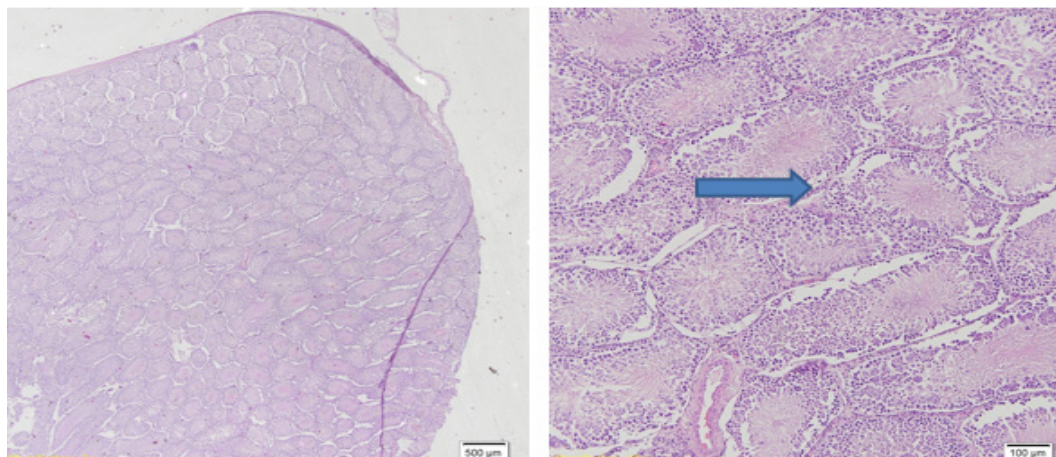


Рисунок 3 – Семенники после воздействия концентрация хлорида кадмия 0,01 мг/л

Общая структура семенника сохранена. В семенных канальцах отмечается нормальный сперматогенез. В межканальцевом пространстве выявляется выраженный отек, кровеносные сосуды полнокровны, присутствуют фибробласты и клетки Лейдига (стрелка).

Анализ срезов семенников выявил расширенные и переполненные кровеносные сосуды. Повышенный окислительный стресс в яичках связан с подавлением стероидогенеза клеток Лейдига, нарушением сперматогенеза и последствиями для мужской фертильности. Вес яичек, вспомогательных половых органов и придатков является основным показателем возможного изменения андрогенного статуса. После индукции кадмием в семенниках крыс в перинатальный период развитие взрослых клеток Лейдига подавляется. В поврежденных канальцах наблюдалась дезорганизация и дегенерация эпителия семенников. В частности, в них отсутствовало характерное базальное и люминальное созревание половых клеток, что было вызвано десквамацией клеток в просвет канальцев с образованием внутриэпителиальных пустых пространств. В просвете канальцев наблюдалось плотное скопление сперматозоидов.

Строение семенника сохранена, в канальцах сохранен сперматогенез, межканальцевых пространствах отмечаются отек, пустые сосуды, фибробласты и клетки Лейдига. Тем не менее, во многих семенных канальцах наблюдалась дезорганизация зародышевых клеток с некротическими клеточными обломками, а в просветах многих канальцев содержалось несколько зрелых сперматозоидов. В семенниках крыс, подвергшихся воздействию кадмия, было обнаружено, что в большинстве канальцев не наблюдалось значительных изменений герминативного эпи-

телиа и интерстициальной соединительной ткани, однако в некоторых других наблюдалась выраженная некротизация с дегенерацией эпителиальных клеток и лишь остатками подкладочной мембраны. Измененные семенные канальцы имели неправильную форму, дезорганизованные эпителиальные слои, а их просвет был заполнен отслоившимися зародышевыми клетками. В наиболее сильно поврежденных канальцах зародышевые клетки не обнаруживались. Соединительные ткани в целом не пострадали, однако кровеносные сосуды оказались расширенными и сгущенными. Эти наблюдаемые изменения согласуются с результатами предыдущих исследований, которые показали, что некроз яичек, вызванный кадмием, происходит после ишемии, предпосылкой которой является нарушение целостности барьера кровь-тестис и нарушение межклеточных эндотелиальных и эпителиальных соединений. Нарушение клеточных соединений и барьера кровь-эпидидимис было определено как основная мишень токсического воздействия кадмия на эпидидимис, что приводит к нарушению созревания и подвижности сперматозоидов.

Гистопатологически ткань яичек была в разной степени деформирована. Во многих канальцах не было обнаружено значительных изменений герминативного эпителия и интерстициальной ткани. Остальные выглядели выражено некротизированными, с дегенерацией эпителиальных клеток и лишь остатками базальной мембраны. Эксфолиация половых клеток в просвет канальца отражает повреждение клеток Сертоли и разрушение клеточной ассоциации. Нарушение плотных стыков и адгезивных соединений между клетками увеличивает проницаемость эпителия и эндотелия.

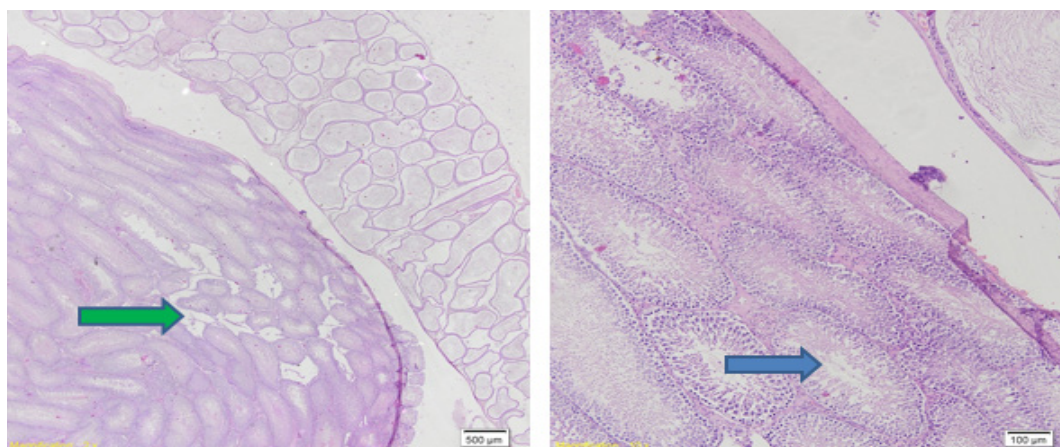


Рисунок 4 – Семенники после воздействия концентрация хлорида кадмия 0,1 мг/л

Введение кадмия приводило к заметной потере сперматогенных элементов. Дегенерированные эпителиальные клетки выпадали в просвет большинства семявыносящих канальцев. Уменьшение размера капилляров подтверждает, что индуцированная кадмием патофизиология яичек и эпидидиума опосредована нарушением сосудистой системы. Любые структурные изменения могут негативно сказаться на функции эпителия придатка яичка, что может повлиять на созревание сперматозоидов. Предполагается, что кадмий оказывает негативное влияние на барьер кровеносных сосудов яичка. В крысиной модели кадмий вызывает нарушение барьера кровяного яичка. Целостность клеток Лейдига важна для сперматогенеза. Клетки Лейдига отвечают за секрецию и выработку андрогенных гормонов. Однако кадмий снижает уровень вызывает дезорганизацию митохондрий клеток Лейдига, жизнеспособность клеток, повышенное перекисное окисление липидов, повреждение ДНК и повреждение кровеносных сосудов яичек.

В частности, наблюдалось значительное дозозависимое снижение тестостерона в сыворотке крови после острого воздействия Cd. С.Н. Потапова зафиксировала накопление Cd в гипоталамусе, гипофизе и семенниках крыс в сочетании со снижением уровня фолликулостимулирующего гормона в плазме крови [7]. Это может быть причиной наблюдаемого снижения уровня тестостерона в сыворотке крови, учитывая стимулирующую связь между фолликулостимулирующим гормоном и уровнем тестостерона. Тем не менее, Н.И. Жапаркулова, Е. Ергешкызы, З.Т. Рахмаева сообщили, что

Cd-индуцированная токсичность яичек является вероятным результатом взаимодействия митохондриального комплекса, который включает в себя нарушение барьера кровь-тестис [8].

Стоит отметить, что исследования В.И. Дорожкина показали, что кадмий может усиливать воспалительные реакции в яичках. Когда крысы подвергались воздействию кадмия, они не могли вырабатывать функциональный металлотионеин, который обычно уменьшает воспалительную реакцию. Количество клеток, подвергающихся аутофагии, увеличивается в результате высокого уровня воспалительных цитокинов, вырабатываемых при поглощении кадмия [9]. Кроме того, некоторые исследования, вроде А.В. Котельников, О.И. Новакова, С.В. Котельникова утверждают, что аутофагические клетки очень восприимчивы к кадмию, что приводит к усилению аутофагического повреждения органов в ответ на концентрацию кадмия [10]. В совокупности эти данные свидетельствуют о том, что активация нормальной аутофагии может быть полезной, однако вызванные кадмием дефекты аутофагии повышают риск повреждения яичек. Однако важно определить более детальный молекулярный механизм аутофагии при кадмий-индуцированном повреждении яичек.

Появляется все больше доказательств того, что образование ROS в яичках связано с механизмом, с помощью которого Cd вызывает снижение мужской фертильности. Нарушение равновесия вызывает окислительный стресс, который нарушает рост и функционирование соматических клеток и сперматозоидов или запускает апоптоз [11]. В данном исследовании мы наблюдали значительное снижение количества

клеток Лейдига в группе, обработанной CdCl₂. Клетки Лейдига отвечают за секрецию тестостерона, и их количество обычно положительно коррелирует с концентрацией тестостерона. В яичках гибель половых клеток путем апоптоза, осуществляемая строго контролируемым способом, необходима для нормального процесса сперматогенеза и поддержания фертильного потенциала мужчин. Согласно исследованиям Zh. Qi, Y. YanLing, L. Juan, W. YuJiao, L. Yi, Zh.Jing пятидневное воздействие Cd (6,5 мг/кг) на взрослых крыс приводит к усилению окислительного стресса, включая повышение уровня перекисного окисления и оксида азота и снижение уровней GSH, CAT, SOD, GSH-Px и глутатионредуктазы [12].

Кроме того, было показано, что клетки, трансформированные или адаптированные к кадмию, характеризуются повышенной устойчивостью к апоптозу. Кроме того, Cd может индуцировать апоптоз, изменяя активность различных транскрипционных факторов, чувствительных к окислительному стрессу, которые отвечают за регуляцию экспрессии апоптотических генов. Кадмий накапливался в яичках и эпидидимисе после 2 месяцев перорального воздействия. Мы предполагаем, что токсичность яичек после биоаккумуляции кадмия является многомеханистической и включает в себя гормональную дерегуляцию, окислительный стресс и апоптоз, в то время как повышение энергетического метаболизма является компенсаторным. Ранее проведенные исследования N. Kumar, A.K. Singh показали, что многие вещества с антиоксидантными и противовоспалительными свойствами полезны для предотвращения Cd-индуцированного повреждения яичек [13]. В патофизиологических эффектах воспаление и окислительный стресс тесно связаны, и одно может быть вызвано другим. Чтобы устранить как первоначальный источник клеточного вреда, так и его последствия, воспаление определяют как сложное взаимодействие в васкуляризованных соединительных тканях в ответ на экзогенные и эндогенные стимулы [14]. Другие исследования J. Zheng, L. Zhuo, D. Ran, Y. Ma, T. Luo, H. Zhao, R. Song, H. Zou, J. Zhu, J. Gu показали, что кадмий может усиливать воспалительные реакции в яичках. Когда крысы подвергались воздействию кадмия, они не могли вырабатывать функциональный металлотионеин, который обычно уменьшает воспалительную реакцию. Количество клеток, подвергающихся аутофагии,

увеличивается в результате высокого уровня воспалительных цитокинов, вырабатываемых при поглощении кадмия [15].

Стоит отметить, что кадмий способствует апоптозу в различных клетках и органах, и многие сигнальные пути вовлечены в индуцированный кадмием апоптоз. Апоптоз наблюдался в печени, легких, фибробластах и почках. Кроме того, этот процесс запрограммированной клеточной смерти был исследован в семенниках. У крыс острое введение кадмия вызывало апоптоз яичек, о чем свидетельствовало наличие TUNEL-позитивных клеток, которые одновременно снижали вес яичек. Отсутствие иммунореактивности каспазы-3 в апоптотических сперматозоидах свидетельствует о том, что морфологические и биохимические особенности апоптоза сперматозоидов, индуцированного хлоридом кадмия, не связаны с активацией каспазы. Было обнаружено, что зародышевые клетки яичек крыс после острой индукции кадмием подвергаются апоптозу через эндоплазматический ретикулум.

Заключение

Кадмий негативно влияет на репродуктивные функции, а воздействие кадмиевой токсичности в первую очередь нарушает функцию яичек. Механизмы токсического воздействия кадмия на яички включают повреждение сосудистого эндотелия, клеток Лейдига и Сертоли. Цель настоящего исследования заключалась в оценке воздействия кадмия на семенники. Проведённое исследование демонстрирует дозозависимое влияние вещества на морфологическое состояние семенников. В контрольной группе структура семенника полностью сохранена, сперматогенез проходит без отклонений, отсутствуют признаки дегенеративных изменений.

При минимальной концентрации гистоархитектоника семенника остаётся неизменённой, а сперматогенез – сохранённым. Однако наблюдается умеренный отёк в интерстициальной ткани, что может указывать на начальные признаки воздействия вещества. При увеличении концентрации до 0,01 мг/л выраженность патологических изменений возрастает: наблюдается полнокровие сосудов, сильный отёк, повышение окислительного стресса, что связано с подавлением стероидогенеза клеток Лейдига. Эти процессы могут негативно сказаться на мужской фертильности. Нарушается сперматогенез, отмечается дезорганизация эпителия семенников, десква-

мация клеток, формирование пустот в семенных канальцах и их переполнение сперматозоидами, что может препятствовать нормальному созреванию половых клеток. При воздействии высокой концентрации наблюдаются наиболее выраженные патологические изменения: на фоне сохранённого сперматогенеза развиваются значительные нарушения – отёк, пустые сосуды, некротические клеточные обломки, дезорганизация зародышевых клеток и уменьшение количества зрелых сперматозоидов. Это свидетельствует о нарастающем токсическом влиянии вещества, что может привести к серьёзным репродуктивным нарушениям. Таким образом, при низких концентрациях вещество оказывает минимальное влияние на морфологию семенника, но уже на уровне 0,01 мг/л отмечаются выраженные изменения, указывающие на повреждение структур, участвующих в сперматогенезе и гормональном регулировании. При концентрации 0,1 мг/л токсическое воздействие усиливается, вызывая значительные деструктивные процессы в ткани семенника.

Воздействие на семенники включало нарушение сосудистого русла, интерстициальный отек и кровоизлияние, потерю половых клеток, клеточную дегенерацию и некроз с вакуолизацией эпителия. Утолщение эпителия, некротические эпителиальные клетки, сужение сосудов, интерстициальный отек были наиболее заметны в эпидидимисе после воздействия кадмия. Кроме того, кадмий повреждает сосудистые клетки и может вызывать опухоли клеток Лейдига. Таким образом, кадмий вызывает значительные структурные изменения в тканях яичек и эпидидимита, что может повлиять на репродуктивную функцию мужчин. Полученные данные свидетельствуют о негативном влиянии вещества на мужскую репродуктивную систему и подтверждают необходимость ограничения его концентрации в окружающей среде для предотвращения негативных последствий для фертильности. Необходимы дальнейшие исследования, чтобы определить, насколько эффективно кадмий влияет на развитие клеток Лейдига на эмбриональном и пубертатном этапах.

Литература

1. Дроздова Л.И. Соли тяжелых металлов и морфологическая оценка их воздействия на организм // БИО. – 2018. – 12. – 31-32.
2. Пахомов А.В., Божок Г.А. Изменение иммунной привилегированности семенника после воздействия солей тяжелых металлов // Гены и Клетки. – 2017. – 12(3). – С. 191-191.
3. Рамайя Л.К., Шевченко В.А. Влияние хронического воздействия кадмия и у излучения в малых дозах // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2020. – 40(4). – 373-377.
4. Макутина В.А. Влияние иммобилизационного стресса на некоторые токсикокинетические параметры металлов (кадмия, алюминия) у самцов лабораторных крыс // Уральский медицинский журнал. – 2021. – 87(9).
5. Гамма Т.В. Модификация поведения крыс при интоксикации организма тяжелыми металлами // Таврический медико-биологический вестник. – 2012. – 6(8).
6. Тешаев Ш.Ж. Морфометрические показатели семенников крыс и их изменения при воздействии хлората магния и которана // Морфология. – 2018. – 133(2). – 133-141.
7. Потапова С.Н. Влияние цинка и магния на репродуктивную токсичность у крыс под воздействием кадмия // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. НЭ Баумана. – 2021. – 248(4). – 178-181.
8. Жапаркулова Н.И., Ергешкызы Е., Рахмаева З.Т. Содержание гормонов в крови лактирующих крыс при интоксикации солями тяжелых металлов и их коррекция // Естественные и математические науки в современном мире. – 2015. – 10(34). – 77-84.
9. Дорожкин В.И. Эффективность фармакологических средств для снижения негативного воздействия при интоксикации животных кадмием и свинцом // Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. – 2020. – 2. – 255-262.
10. Котельников А.В., Новакова О.И., Котельникова С.В. Сезонные особенности перекисного окисления липидов в разных органах и тканях крыс при воздействии кадмия // Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность. – 2020. – 1(2). – 63-65.
11. Wright C., Milne S., Leeson H. Sperm DNA damage caused by oxidative stress: Modifiable clinical, lifestyle and nutritional factors in male infertility // Repro. Biomed. Online. – 2014. – 28. – 684-703. doi: 10.1016/j.rbmo.2014.02.004.
12. Qi Zh., YanLing Y., Juan L., YuJiao W., Yi L., Jing Zh. Testicular dysfunction and «its recovery effect» after cadmium exposure // Food and Chemical Toxicology. – 188. – 2024. – 114-156.
13. Kumar N., Singh A.K. Trends of male factor infertility, an important cause of infertility: A review of literature // J. Hum. Reprod. Sci. – 2015. – 8. – 191. doi: 10.4103/0974-1208.170370.
14. Ali W., Ma Y., Zhu J., Zou H., Liu Z. Mechanisms of Cadmium-Induced Testicular Injury: A Risk to Male Fertility // Cells. – 2022. – 14. – 11(22). – 3601. doi: 10.3390/cells11223601. PMID: 36429028; PMCID: PMC9688678.

15. Zheng J., Zhuo L., Ran D., Ma Y., Luo T., Zhao H., Song R., Zou H., Zhu J., Gu J. Cadmium induces apoptosis via generating reactive oxygen species to activate mitochondrial P53 pathway in primary rat osteoblasts // *Toxicology*. – 2020. – 446. – 152611. – doi: 10.1016/j.tox.2020.152611.

References

1. Ali W., Ma Y., Zhu J., Zou H., Liu Z. (2022) Mechanisms of cadmium-induced testicular injury: A risk to male fertility. *Cells*, vol. 11, no. 22, 3601. doi:10.3390/cells11223601.
2. Dorozhkin V.I. (2020) Effektivnost' farmakologicheskikh sredstv dlya snizheniya negativnogo vozdeystviya pri intoksikatsii zhivotnykh kadmiiem i svintsom. *Problemy veterinarnoy sanitarii, gigieny i ekologii*, no. 2, pp. 255–262.
3. Drozdova L.I. (2018) Soli tyazhelykh metallov i morfologicheskaya otsenka ikh vozdeystviya na organizm. *BIO.*, no. 12, pp. 31–32.
4. Gamma T.V. (2012) Modifikatsiya povedeniya krysa pri intoksikatsii organizma tyazhelymi metallami. *Tavricheskiy mediko-biologicheskii vestnik*, vol. 6, no. 8.
5. Kotel'nikov A.V., Novakova O.I., Kotel'nikova S.V. (2020) Sezonnye osobennosti perekisnogo okisleniya lipidov v raznykh organakh i tkanyakh krysa pri vozdeystvii kadmiya. *Neftegazovye tekhnologii i ekologicheskaya bezopasnost'*, no. 1 (2), pp. 63–65.
6. Kumar N., Singh A.K. (2015) Trends of male factor infertility, an important cause of infertility: A review of literature. *Journal of Human Reproductive Sciences*, vol. 8, p. 191.
7. Makutina V.A. (2021) Vliyaniye immobilizatsionnogo stressa na nekotorye toksikokineticheskie parametry metallov (kadmiya, alyuminiya) u samtsov laboratornykh krysa. *Uralskiy meditsinskiy zhurnal*, no. 9 (87).
8. Pakhomov A.V., Bozhok G.A. (2017) Izmeneniye immunnogo privilegirovannosti semenika posle vozdeystviya soley tyazhelykh metallov. *Geny i Kletki*, vol. 12, no. 3, p. 191.
9. Potapova S.N. (2021) Vliyaniye tsinka i magniya na reproduktivnyuyu toksichnost' u krysa pod vozdeystviem kadmiya. *Uchenye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoy meditsiny im. N.E. Baumana*, vol. 248, no. 4, pp. 178–181.
10. Qi Zh., YanLing Y., Juan L., YuJiao W., Yi L., Jing Zh. (2024) Testicular dysfunction and its recovery effect after cadmium exposure. *Food and Chemical Toxicology*, vol. 188, pp. 114–156.
11. Ramayya L.K., Shevchenko V.A. (2020) Vliyaniye khronicheskogo vozdeystviya kadmiya i γ -izlucheniya v malykh dozakh. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya*, vol. 40, no. 4, pp. 373–377.
12. Teshayev Sh.Zh. (2018) Morfometricheskie pokazateli semennikov krysa i ikh izmeneniya pri vozdeystvii khlorata magniya i klorana. *Morfologiya*, vol. 133, no. 2, pp. 133–141.
13. Wright C., Milne S., Leeson H. (2014) Sperm DNA damage caused by oxidative stress: Modifiable clinical, lifestyle and nutritional factors in male infertility. *Reproductive Biomedicine Online*, vol. 28, pp. 684–703. doi:10.1016/j.rbmo.2014.02.004.
14. Zhaparkulova N.I., Ergeshkyzy E., Rakhmaeva Z.T. (2015) Soderzhanie gormonov v krovi laktiruyushchikh krysa pri intoksikatsii solyami tyazhelykh metallov i ikh korrektsiya. *Estestvennye i matematicheskie nauki v sovremennoy mire*, no. 10 (34), pp. 77–84.
15. Zheng J., Zhuo L., Ran D., Ma Y., Luo T., Zhao H., Song R., Zou H., Zhu J., Gu J. (2020) Cadmium induces apoptosis via generating reactive oxygen species to activate mitochondrial p53 pathway in primary rat osteoblasts. *Toxicology*, vol. 446, 152611. doi:10.1016/j.tox.2020.152611.

Сведения об авторах:

А.К. Джумагалиева (корреспондентный автор) – докторант Казахского национального педагогического университета имени Абая (Алматы, Казахстан, e-mail: aina1392@mail.ru).

З.Б. Тунгушбаева – доктор биологических наук, профессор Казахского национального педагогического университета имени Абая (Алматы, Казахстан, e-mail: alua2002@yandex.kz).

Information about authors:

A.K. Jumagaliyeva (corresponding author) – doctoral student of the Abai Kazakh National Pedagogical University, Dostyk 13, 050010 (Almaty, Kazakhstan, e-mail: aina1392@mail.ru).

Z.B. Tungushbaeva – Doctor of Biological Sciences, Professor of the Abai Kazakh National Pedagogical University, Dostyk 13, 050010 (Almaty, Kazakhstan, e-mail: alua2002@yandex.kz).

Авторлар туралы мәлімет:

А.К. Джумагалиева (корреспондент-автор) – Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университетінің докторанты, Достық даңғылы 13, 050010 (Алматы қ., Қазақстан, e-mail: aina1392@mail.ru).

З.Б. Тунгушбаева – биология ғылымдарының докторы, профессор, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Достық даңғылы 13, 050010 (Алматы қ., Қазақстан, e-mail: alua2002@yandex.kz).

Поступило 18 марта 2025 года

Принято 20 ноября 2025 года

6-бөлім
МИКРОБИОЛОГИЯ

Section 6
MICROBIOLOGY

Раздел 6
МИКРОБИОЛОГИЯ

МРНТИ 68.41.35

<https://doi.org/10.26577/bb202510512>

Д.Е. Акшимбаев¹, А.Н. Безрукова¹, Г.А. Бакирова²,
Г.Ш. Мусина^{1,2}, Г.А. Джамалова^{1,3*}

¹ТОО «Научно-диагностический центр Animal Expert Group», Алматы, Казахстан

²ТОО «Научно-производственный центр UniVet», Алматы, Казахстан

³Satbayev University, Алматы, Казахстан

*e-mail: g.jamalova@aeg-lab.kz

ОЦЕНКА БАКТЕРИАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАТРИЦ ПТИЦЕФАБРИКИ КАЗАХСТАНА

Устойчивость индустриального птицеводства зависит от применения на птицефабрике научно-производственных стратегий по обеспечению биобезопасности. Цель: оценка бактериальной безопасности технологических матриц на исследуемой птицефабрике Казахстана. Исследования для оценки устойчивости птицефабрики к таким бактериальным патогенам, как *Salmonella spp.*, *Staphylococcus spp.* и БГКП, складывались из двух этапов исследований: научно-производственного (отбор проб методом смывов со стен и пола помещений, с арматуры, с персонала) и научно-лабораторного (бактериологический анализ культурально-биохимическими методами). Для оценки устойчивости технологических матриц птицефабрики к исследуемым патогенам с поверхности всех промышленных объектов всего было отобрано методом смывов 955 проб, из них 336 проб смывов получены со стен и пола помещений, 485 – с арматуры, 134 – с рук и спецодежды птичников. Для оценки безопасности технологических матриц на *Salmonella spp.* исследовались 955 проб, *Staphylococcus spp.* – 458 проб, БГКП – 462 проб. *Salmonella spp.* не обнаружена. *Staphylococcus spp.* были выделены в октябре из 40 проб, смывы которых были получены с арматур (33 пробы) и корпусов (7 проб) ремонтного молодняка, и в ноябре из одной пробы, смыв был получен с кормового бункера птичника родительского стада. БГКП был выделен в октябре из одной пробы, смыв которого был получен со стен кормовоза родительского стада. На птицефабрике, после выявления патогенов, пересматриваются стратегии по обеспечению бактериальной безопасности. Об этом свидетельствуют исследования проб смывов, отобранных на следующий месяц после получения положительных результатов: в ноябре и декабре результаты на *Staphylococcus spp.* и БГКП соответственно были уже отрицательными. Т. о., общие принципы борьбы с бактериальными патогенами на исследуемой птицефабрике включает четыре научно-производственных этапа: разработка комплексной Программы биобезопасности, предотвращение попадания бактериальных патогенов на птицефабрику, обнаружение бактериальных патогенов на птицефабрике, уничтожение бактериальных патогенов.

Ключевые слова: *Salmonella spp.*, *Staphylococcus spp.*, БГКП, биобезопасность, птицефабрика.

D.E. Akshimbayev¹, A.N. Bezrukova¹, G.A. Bakirova²,
G.S. Mussina^{1,2}, G.A. Jamalova^{1,3*}

¹«Animal Expert Group» Scientific and Diagnostic Center, Almaty, Kazakhstan

²«UniVet» Scientific and Production Center, Almaty, Kazakhstan

³Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: g.jamalova@aeg-lab.kz

Bacterial safety assessment of technological matrices at a commercial poultry farm in Kazakhstan

The sustainability of industrial poultry farming depends on the implementation of scientific and production-based biosafety strategies at the poultry farm. Objective: to assess the bacterial safety of technological matrices at a poultry farm in Kazakhstan. The research aimed at evaluating the farm's resistance to bacterial pathogens such as *Salmonella spp.*, *Staphylococcus spp.*, and coliform bacteria, and was carried out in two stages: scientific-production (sample collection via surface swabs from walls and floors, equipment, and personnel) and scientific-laboratory (bacteriological analysis using cultural and biochemical methods). In total, 955 swab samples were collected from all industrial sites to assess the resistance of the farm's technological matrices to the studied pathogens, including 336 samples from walls and floors, 485 from equipment, and 134 from the hands and uniforms of poultry workers.

To assess the safety of technological matrices: 955 samples were tested for *Salmonella* spp., 458 for *Staphylococcus* spp., and 462 for coliform bacteria. *Salmonella* spp. was not detected. *Staphylococcus* spp. was isolated in October from 40 samples collected from equipment (33 samples) and rearing stock houses (7 samples), and in November from one sample taken from the feed bin in a parent stock house. Coliform bacteria were isolated in October from one sample taken from the wall of a parent stock feed truck. After pathogen detection, the farm revised its bacterial safety strategies. This is confirmed by the results of swab samples collected in the month following the positive findings: in November and December, results for *Staphylococcus* spp. and coliform bacteria, respectively, were negative. Thus, the general principles of bacterial pathogen control at the studied poultry farm include four scientific-production stages: development of a comprehensive biosafety program, prevention of pathogen introduction to the farm, detection of bacterial pathogens on the farm, and elimination of bacterial pathogens.

Keywords: *Salmonella* spp., *Staphylococcus* spp., coliform bacteria, biosafety, farm chickens.

Д.Е. Акшимбаев¹, А.Н. Безрукова¹, Г.А. Бакирова²,
Г.Ш. Мусина^{1,2}, Г.А. Джамалова^{1,3*}

¹ЖШС «Animal Expert Group ғылыми-диагностикалық орталығы», Алматы, Қазақстан

²ЖШС «UniVet ғылыми-өндірістік орталығы», Алматы, Қазақстан

³Satbayev University, Алматы, Қазақстан

*e-mail: g.jamalova@aeg-lab.kz

Қазақстан құс фабрикасының технологиялық матрицаларының бактериялық қауіпсіздігін бағалау

Өнеркәсіптік құс шаруашылығының тұрақтылығы құс фабрикасында биоқауіпсіздікті қамтамасыз ету жөніндегі ғылыми-өндірістік стратегияларды қолдануға байланысты болып табылады. Мақсаты: Қазақстандағы зерттелетін құс фабрикасындағы технологиялық матрицалардың бактериялық қауіпсіздігін бағалау. Құс фабрикасының *Salmonella* spp., *Staphylococcus* spp. және ІТБ сияқты бактериялық қоздырғыштарға төзімділігін бағалауға арналған зерттеулер екі кезеңнен тұрды: ғылыми-өндірістік (ғимараттың қабырғалары мен едендерінен, арматуралардан, қызметкерлерден алынған жағындыларды пайдалана отырып сынама алу) және ғылыми-зертханалық (дақылдық-биохимиялық әдістерді қолдану арқылы бактериологиялық талдау жүргізу). Құс фабрикасының технологиялық матрицаларының зерттелген қоздырғыштарға төзімділігін бағалау үшін жағынды әдісімен барлық өндірістік объектілердің бетінен барлығы 955 сынама алынды, оның ішінде ғимараттардың қабырғалары мен едендерінен 336 жағынды сынамалары, 485 сынама – арматуралардан, 134 сынама – құс өсірушілердің қолдары мен арнайы киімдерінен алынды. *Salmonella* spp. қарсы технологиялық матрицалардың қауіпсіздігін бағалау үшін 955 сынама зерттелді, *Staphylococcus* spp. – 458 сынама, ІТБ – 462 сынама зерттелді. *Salmonella* spp. табылмады. *Staphylococcus* spp. қазан айында 40 сынамадан бөлініп алынды, олардың жағындылары арматурадан (33 сынама) және ғимараттардан (7 сынама) ауыстырылатын толықтырма құстан, ал қарашада бір сынамадан жағынды негізгі қор құс қорасының жем бункерінен алынды. ІТБ қазан айында бір сынамадан бөлінді, оның жағындысы негізгі қор табынның жем тасығыш қабырғаларынан алынды. Құс фабрикасында қоздырғыштар анықталғаннан кейін бактериялық қауіпсіздікті қамтамасыз ету стратегиялары қайта қаралады. Мұны оң нәтиже алғаннан кейін келесі айда алынған жағынды үлгілерін зерттеу дәлелдейді: қараша және желтоқсан айларында *Staphylococcus* spp. және ІТБ, тиісінше, теріс болды. Сонымен, зерттелетін құс фабрикасындағы бактериялық қоздырғыштармен күресудің жалпы қағидалары төрт ғылыми-өндірістік кезеңді қамтиды: биоқауіпсіздіктің кешенді бағдарламасын әзірлеу, құс фабрикасына бактериялық қоздырғыштардың түсуін болдырмау, құс фабрикасында бактериялық қоздырғыштарды анықтау, бактериялық қоздырғыштарды жою.

Түйін сөздер: *Salmonella* spp., *Staphylococcus* spp., ІТБ, биоқауіпсіздік, құс фабрикасы.

Введение

Каждая высокопродуктивная курица может быть источником до 280 тыс. бройлеров или 300 тыс. кур-несушек, производящих до 9,0 x 10⁷ столовых яиц [1]. А продукция сельскохозяйственных кур (яйца, мясо), с точки зрения пользы для здоровья, стоимости и эффективно-

сти производства, является важным источником животного белка для человека. Из года в год потребление мяса птицы неуклонно растет во всем мире: если производство куриного мяса в мире в 1961 г составляло 7,56 млн т, то в 2023 г достигло 142 млн. т., на душу населения это составило 2,4 и 17,0 кг соответственно [2]. В Казахстане крупные промышленные куроводческие

системы способны надежно снабжать население животными белками, т.к. птицеводство вносит значительный вклад в валовый внутренний продукт Казахстана: на 01.02.2025 г. численность поголовья сельскохозяйственных птиц составило в Казахстане 45990,9 тыс. гол., из которых 83 % сосредоточены на крупных промышленных птицеводческих объектах., а производство яиц достигло 346859,5 тыс. шт. [3].

Актуальность. Экономическая устойчивость крупных промышленных птицефабрик зависит от здоровья и условий содержания сельскохозяйственных кур. В птицеводстве из-за нарушения санитарно-ветеринарных норм содержания, кормления и поения птицы образуются риски возникновения и распространения таких инфекционных патогенов как *Salmonella spp.*, *Staphylococcus spp.* и бактерий группы кишечных палочек (БГКП), которые могут привести к вспышкам бактериальных заболеваний, как сальмонеллез, стафилококкоз и колибактериоз соответственно, что сопровождается значительными экономическими потерями. Общие потери, включающие расходы на все санитарно-ветеринарные мероприятия, в т.ч. и на уничтожение павших кур, составляют от 0,28 €/ч до 10,73 €/ч [4].

Цель исследования. Оценка бактериальной безопасности технологических матриц птицефабрики Казахстана.

Научно-практическое значение. Исследования, направленные на поддержание санитарно-ветеринарных стандартов на крупных птицеводческих объектах, позволяет, во-первых, своевременно реагировать на угрозы инфекционного характера, во-вторых, разрабатывать научно-обоснованные решения по устранению возникших, от выявленных бактерий, угроз и, в-третьих, совершенствовать на птицефабрике стратегии Программы биобезопасности.

Материалы и методы исследования

Исследования для оценки устойчивости птицефабрики (название не приводится из-за договорных обязательств) к бактериальным патогенам складывались из двух этапов работ: отбор проб, бактериологические исследования.

Отбор проб. На первом этапе, научно-производственном, исследовательской группой еженедельно в течение 2024 г., согласно утвержденному графику, отбирались пробы методом смывов из объектов [5], условно разделенных на три технологические матрицы:

- помещение: смывы отбирали со стен птичников ремонтного стада (РС) и ремонтного молодняка (РМ), со стен и пола яйцесклада, инкубатора, санитарно-пропускных блоков (душевые, раздевалки, туалеты), столовых и комнат приёма пищи;

- арматура: смывы отбирали с оборудования (приточная и вытяжная вентиляция, линии кормления, линии поения, яйцесборные ленты), различных производственных атрибутов (шкафы, полки, гнёзда, ящики и др.) и транспортных средств (цыплятовозы, кормовозы и др.);

- персонал: смывы отбирали с рук и одежды сотрудников, обслуживающих птичники и другие технологические объекты птицефабрики.

Время доставки проб смывов в лабораторию не превышало 2 ч [6].

Бактериологические исследования проводились культурально-биохимическими методами в научно-производственной лаборатории по методикам, изложенным в СТ РК 3510-2019 [6], методических указаниях [7, 8] и ГОСТ 31747-2012 [9] для обнаружения в пробах *Salmonella spp.*, *Staphylococcus spp.* и БГКП соответственно.

Результаты и их обсуждение

Salmonella spp. – неспорообразующая факультативно анаэробная палочка с длиной клетки 2–5 мкм семейства *Enterobacteriaceae*, грамо- и оксидазоотрицательная, растущая при температуре 5–45 °С и рН 3,7 (оптимальный диапазон: 35 – 37 °С и 6,5 – 7,5 соответственно) [10]. *Salmonella spp.* распространена по всему миру и является эндемичной для областей, где практикуется птицеводство. Установлено, что распространение сальмонеллы на птицефабриках осуществляется, в среднем, на 48,5% интерьером инкубатора, из них 4,7 % цыплятами; 16,3 % через экскременты и 25,4 % через подстилочный помёт; 7,9 % и 4,7 % через интерьер (санитарно-ветеринарное и зоогигиеническое благополучие) и экстерьер (окружающая среда) птичника, соответственно; 2,0 % через питьевую воду и 4,8 % через корм [11].

Поэтому в исследованиях особое внимание было уделено отбору проб методом смывов, т.к. данный подход будет свидетельствовать о достоверной оценке бактериальной безопасности технологических матриц на птицефабрике.

На графике рисунка 1 и в таблице 1 показаны результаты оценки биобезопасности технологических матриц птицефабрики на *Salmonella spp.*

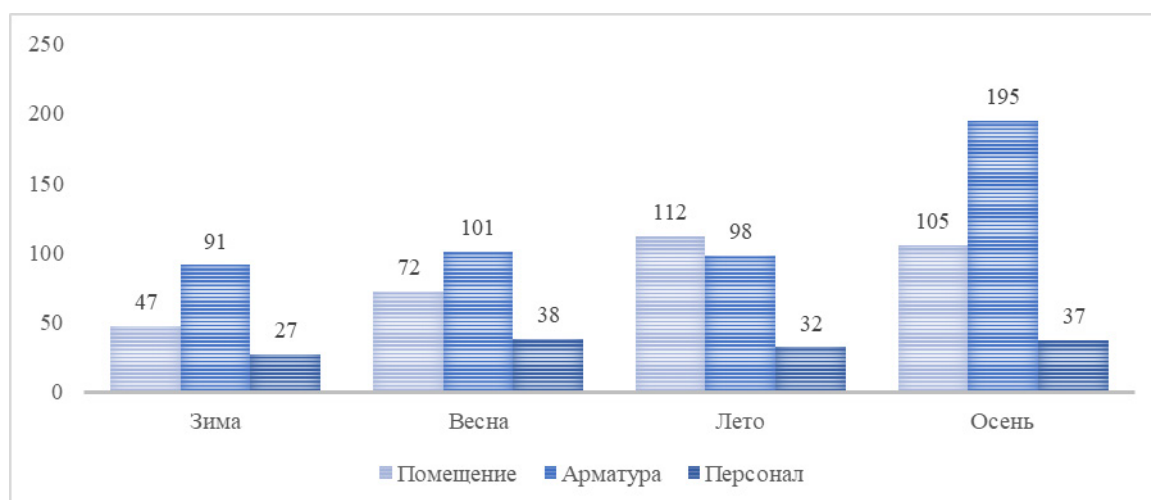


Рисунок 1 – Отбор проб смывов с технологических матриц птицефабрики на *Salmonella spp.*, 2024 г.

Таблица 1 – Оценка биобезопасности технологических матриц птицефабрики на *Salmonella spp.*

Технологический формат		Количество исследованных проб (пробы, давшие положительный на штамм результат)				Всего
Категория	Объект	Зима	Весна	Лето	Осень	
РС	Помещение	34	21	72	59	186
	Арматура	51	37	76	114	278
	Сотрудник	23	29	28	33	113
	Всего	108	87	176	206	577
РМ	Помещение	13	51	40	46	150
	Арматура	40	64	22	81	207
	Сотрудник	4	9	4	4	21
	Всего	57	124	66	131	378

Из графика (рис.1) и таблицы 1 видно, что на исследуемой птицефабрике в 2024 г.:

1) для оценки биобезопасности технологических матриц птицефабрики на *Salmonella spp.* в зависимости от:

- технологических объектов всего было отобрано методом смывов 955 проб: из птичников ремонтного стада (РС) 577 проб и ремонтного молодняка (РМ) – 378 проб,

- технологической категории: 336 проб смывов получены со стен и пола помещений, 485 – с арматуры, 134 – с рук и спецодежды птичников,

- сезона года наименьшее количество проб смывов (165) было отобрано для исследования зимой, наибольшее (337) – осенью, что свидетельствует о плановом росте отбираемых проб при переходе от зимне-весеннего (376 проб

смывов) к летне-осеннему (579 проб смывов) периоду;

2) *Salmonella spp.* в исследованных пробах не обнаружены, что указывает на обеспечение птицефабрикой выпуска безопасной от *Salmonella spp.* куроводческой продукции.

В исследовании Nguyen Т.К. (2021 г.) сальмонеллы были выделены из 181 проб, из которых 4,22 % проб были отобраны из окружающей среды птицефабрики [12]. При сравнении полученных данных с нашими результатами 2023 г. можно заключить, что птицефабрика улучшила санитарно-ветеринарные мероприятия, направленные на исключение проникновения *Salmonella spp.* на технологические матрицы птицефабрики.

Воздух промышленных птицефабрик содержит большое количество бактерий, которые

попадают из кур, подстилки, корма, почвы. К одному из таких бактерий можно отнести факультативные патогенные *Staphylococcus spp.*, которые можно использовать для оценки выбросов от птиц. На сегодня описан 61 вид стафилококков, 34 из которых были выделены из патматериала птиц. Из поражений скелета наравне с бактерией *Staphylococcus aureus*, которая является основной причиной стафилококкоза у кур, выделяются и другие виды: *S. agnetis*, *S. cohnii*, *S. epidermidis*, *S. hyicus*, *S. Simulans* [8].

Бактерии рода *Staphylococcus* – это наиболее известный род в семействе *Staphylococcaceae*; грамположительные, кокковидные и при вы-

ращивании на твердых питательных средах обычно группируются вместе. В аэробных условиях *S. aureus* образует круглые, гладкие, β-гемолитические колонии диаметром 1–3 мм с пигментацией от белого до оранжевого [8].

На исследуемой птицефабрике особое внимание уделяется санитарно-ветеринарным методам профилактики, нацеленных также на исключение проникновения и распространения бактерий рода *Staphylococcus*.

На графике рисунка 2 и в таблице 2 показаны результаты оценки биобезопасности технологических матриц птицефабрики на *Staphylococcus spp.*

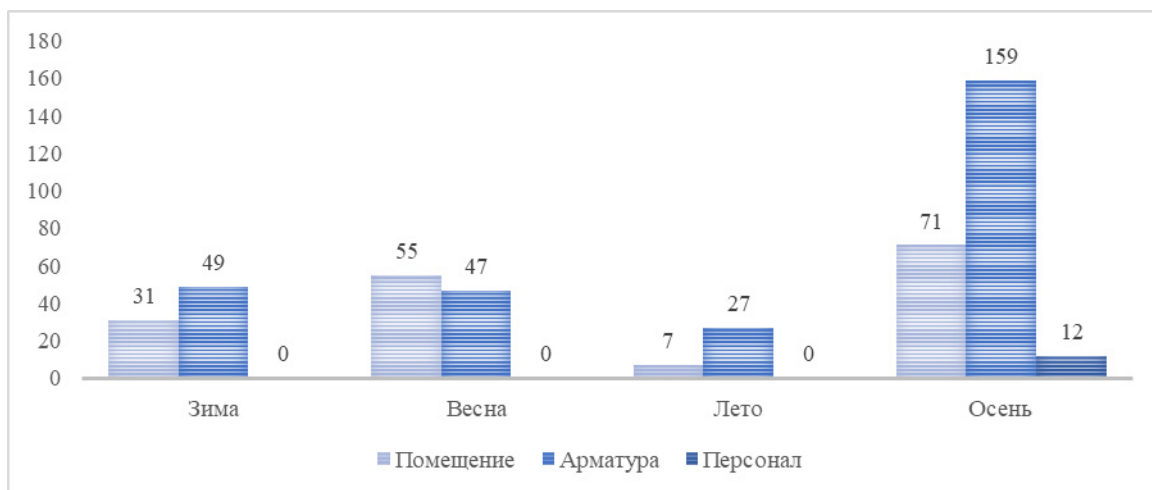


Рисунок 2 – Отбор проб смывов с технологических матриц птицефабрики на *Staphylococcus spp.*, 2024 г.

Таблица 2 – Оценка биобезопасности технологических матриц птицефабрики на *Staphylococcus spp.*

Технологический формат		Количество исследованных проб (пробы, давшие положительный на штамм результат)				Всего
Категория	Объект	Зима	Весна	Лето	Осень	
РС	Помещение	25	40	4	32	101
	Арматура	13	2	12	80 (1)	107 (1)
	Сотрудник				10	10
	Всего	38	42	16	122 (1)	218 (1)
РМ	Помещение	6 (1)	15	3	39 (6)	63 (7)
	Арматура	36 (19)	45	15	79 (14)	175 (33)
	Сотрудник				2	2
	Всего	42 (20)	60	18	120	240

Интерпретируя показатели, отображенные на графике (рис.2) и в таблице 2 можно заключить, что:

1) из 955 проб смывов, отобранных с технологических матриц птицефабрики в 2024 г., 458 проб исследовались на *Staphylococcus spp.*:

- 164 проб исследовались со смывов, отобранных с различных технологических площадок, 282 – с различных арматур птицефабрики, 12 – с рук и спецодежды птичника,

- 80 проб смывов исследовались зимой, 102 – весной, 34 – летом и 242 – осенью;

2) положительный результат на *Staphylococcus spp.* показали 41 проб (8,95 % от числа исследованных проб);

3) обнаружены *Staphylococcus spp.* в пробах, отобранных:

- зимой (20 проб, т.е. 25 % от числа исследованных), осенью (21 проб, т.е. 8,7 % от числа исследованных),

- с атрибутов (34 пробы, т.е. 121 % от числа исследованных) и помещений (7 проб, т.е. 4,3 % от числа исследованных).

Согласно работам А. Szabo при мониторинге 23 птицефабрик Венгрии всего было выделено 227 штаммов *Staphylococcus spp.*. Распространенность *Staphylococcus spp.*, рассчитанная на основе количества образцов и изолятов, составила, согласно данным авторов, 32,9% [13], тогда как результаты, представленные в таблице 2 свидетельствуют о том, что распространенность *Staphylococcus spp.* на исследуемой птицефабрике не превышает 8,95 %.

Для исключения на птицефабрике риска заражения и распространения кишечных инфекций, а также предотвращения отравления потребителей исследованы бактерии группы кишечной палочки (БГКП), которые на агаре Эндо формируют колонии красного цвета с металлическим блеском. БГКП – это грамотрицательные, не обладающие оксидазной активностью бациллы, способные сбраживать глюкозу/лактозу при $37 \pm 0,5$ °C в течение 24–48 ч с образованием кислоты и газа.

На графике (рис.3) и в таблице 3 показаны результаты оценки биобезопасности технологических матриц птицефабрики на БГКП.

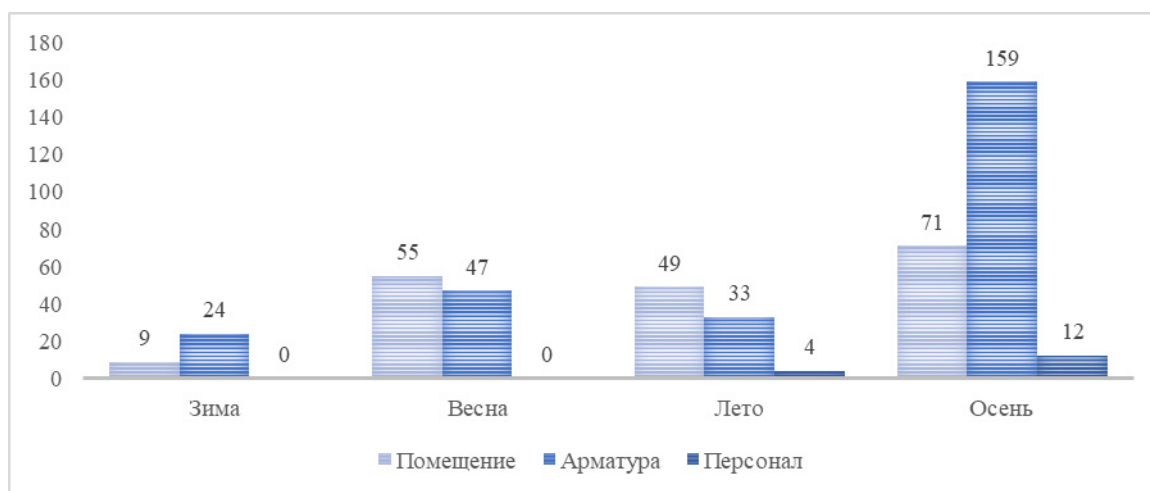


Рисунок 3 – Отбор проб смывов с технологических матриц птицефабрики на БГКП, 2024 г.

Таблица 3 – Оценка биобезопасности технологических матриц птицефабрики на бактерии группы кишечной палочки

Технологический формат		Количество исследованных проб (пробы, давшие положительный на штамм результат)				Всего
Категория	Объект	Зима	Весна	Лето	Осень	
РС	Помещение	6	40	34	32(1)	112 (1)
	Арматура	10	2	14	80	106
	Сотрудник			4	10	14
	Всего	16	42	52	122(1)	230(1)

Продолжение таблицы

Технологический формат		Количество исследованных проб (пробы, давшие положительный на штамм результат)				Всего
Категория	Объект	Зима	Весна	Лето	Осень	
РМ	Помещение	3	15	15	39	72
	Арматура	15	45	19	79	158
	Сотрудник				2	2
	Всего	18	60	34	120	232

Из графика (рис.3) и таблицы 3 видно, что:

1) из 955 проб смывов, отобранных с технологических матриц птицефабрики в 2024 г., на БГКП исследовано 462 пробы, из которых в зависимости от:

- сезона года: 34 зимой, 102 весной, 86 летом и 242 пробы осенью,

- технологических матриц: 184 смывов проб с технологических площадок, 264 – с технологических арматур и 16 – с рук и спецодежды птичниц;

2) положительный результат на БГКП выявлен из одной пробы (0,22 % от числа исследованных проб), смывы которых получены осенью со стен птичника ремонтного стада.

В аналогичных работах частота обнаружения БГКП в смывах варьировала от 1,67 [14] до 58 % [15], тогда как на исследованной птицефабрике частота встречаемости БГКП в смывах, полученных из технологических матриц была намного меньше – 0,22 %.

Заключение

Из различных технологических матриц птицефабрики в 2024 г было всего отобрано 955 проб смывов, которые для оценки бактериологической безопасности исследовались на *Salmonella spp.* (955 проб), *Staphylococcus spp.* (458 проб), БГКП (462 проб). Исследование 955 проб смывов бактериологическим методом показало отсутствие *Salmonella spp.*

Staphylococcus spp. были выделены:

- в октябре из 40 проб, смывы которых были отобраны с арматур (33 пробы: смывы с линий поения и кормления, смывы с вентиляции: приточной и вытяжной, смывы с уличных кормовых бункеров) и корпусов № 4-7 ремонтного молодняка (7 проб: смывы со стен и пола птичников);

- в ноябре из одной пробы, смыв которого был отобран с кормового бункера птичника № 1 родительского стада.

БГКП был выделен в октябре из одной пробы, смыв которого получен со стен кормовоза родительского стада.

На птицефабрике, после выявления патогенов, пересматриваются стратегии по обеспечению бактериальной безопасности. Об этом свидетельствуют исследования проб смывов, отобранных на следующий месяц после получения положительных результатов: в ноябре и декабре результаты на *Staphylococcus spp.* и БГКП соответственно были уже отрицательными.

В целом, общие принципы борьбы с бактериальными патогенами на исследуемой птицефабрике включает четыре научно-производственных этапа:

- разработка комплексной Программы биобезопасности: разработка алгоритмов и схем проведения мониторинга всех ресурсов, процессов, технологий, продукции;

- предотвращение попадания бактериальных патогенов на птицефабрику: формирование блок постов по требованию принятой на птицефабрике Программы биобезопасности, строгий контроль движения ресурсов в/за птицефабрику;

- обнаружение бактериальных патогенов на птицефабрике: проведение по графику комплексного мониторинга согласно разработанной и принятой на птицефабрике Программы биобезопасности;

- уничтожение бактериальных патогенов: при обнаружении бактериального патогена проводятся дополнительные санитарно-ветеринарные мероприятия, осуществляется коррективировка/ совершенствование Программы биобезопасности.

Как видим, принятие на исследуемой птицефабрике многопрофильных научно-производственных стратегий способствует обеспечению бактериальной безопасности.

Бгодарности

Работа финансировалась ТОО «Научно-производственный центр UniVet» (договор № 01 от 06.03.2023 г.) по программе иссле-

дований на базе ТОО «Научно-диагностический центр Animal Expert Group» (номер гос. регистрации 0123РКД0014 от 27.03.2023 г. НЦГНТЭ РК).

Авторы не имеют конфликта интересов.

Литература

1. EFSA (European Food Safety Authority). Opinion of the Scientific Panel on Biological hazards on a request from the Commission related to the use of antimicrobials for the control of Salmonella in poultry//EFSA Journal. – 2004. – Vol. 2(12). – P.115-76.
2. FAO. Meat Market Review: Emerging trends and outlook 2023. Rome. URL: <https://www.fao.org/home/ru> (дата обращения: 05.02.2025)
3. Основные показатели развития животноводства в Республике Казахстан (январь 2025г.). URL: <https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-forrest-village-hunt-fish/publications/280810/> (дата обращения: 26.02.2025)
4. Landman, W.J.M., & van Eck, J.H.H. The incidence and economic impact of the Escherichia coli peritonitis syndrome in Dutch poultry farming. // Avian Pathology. – 2015. – Vol. 44(5). – P. 370–378.
5. Commission Regulation (EC) No 646/2007 of 12 June 2007 implementing Regulation (EC) No 2160/2003 of the European Parliament and of the Council as regards a Community target for the reduction of the prevalence of Salmonella enteritidis and Salmonella typhimurium in broilers and repealing Regulation (EC) No 1091/2005 (Text with EEA relevance). URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32007R0646> (дата обращения: 26.02.2025).
6. СТ РК 3510-2019 «Методы лабораторной диагностики сальмонеллёза».
7. Методические указания по контролю качества дезинфекции объектов, подлежащих ветеринарному надзору. Утверждён 16.05.1988 ГУВ Госагропрома СССР (432-3). Дата актуализации: 01.01.2021.
8. Методические указания по лабораторной диагностике стафилококкоза животных. Утверждён: 29.07.1987 Госагропром СССР (USSR Gosagroprom 432-3). Актуализирован: 01.01.2021/
9. ГОСТ 31747-2012 Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий).
10. Bhunia A.K. Foodborne Microbial Pathogens: Mechanisms and Pathogenesis. Springer; New York, NY, USA. // Salmonella enterica – 2008. – P. 271–287.
11. Wang J., Vaddu S, Bhumanapalli S., Mishra A., Applegate T., Singh M., Thippareddi H. A systematic review and meta-analysis of the sources of Salmonella in poultry production (pre-harvest) and their relative contributions to the microbial risk of poultry meat. // Poult Sci. – 2023. – Vol.102(5). – 102566.
12. Nguyen TK, Nguyen LT, Chau TTH, Nguyen TT, Tran BN, Taniguchi T, Hayashidani H, Ly KTL. Prevalence and antibiotic resistance of Salmonella isolated from poultry and its environment in the Mekong Delta, Vietnam. // Vet World. – 2021. – Vol. 14(12). – P. 3216-3223.
13. Szabó Á, Jerzsele Á, Kovács L, Kerek Á. Antimicrobial Susceptibility Profiles of Commensal Staphylococcus spp. Isolates from Chickens in Hungarian Poultry Farms Between 2022 and 2023. // Antibiotics. – 2025. – Vol. 14(1). – P.103.
14. Damena A, Mikru A, Adane M, Dobo B. Microbial profile and safety of chicken eggs from a poultry farm and small-scale vendors in hawassa, Southern Ethiopia. // J Food Qual. – 2022. – P. e7483253.
15. Youssef, Fady Sayeda; Yonis, Ahlam E.b; Elhaddad, Gomaa Y.b; Elsebaey, Hossam Sh.b; Naem, Nahed A.E.S.c; Amro, Fatma H.d; Abd-Elhafeez, Maha S.e. Detection of some bacteria and mycotoxins in the baladi chicken eggs from backyard in Bahira Governorate. // Egyptian Pharmaceutical Journal. – 2024. – Vol. 23(1). – P.110-121.

Литература

1. Bhunia A.K. (2008) Foodborne Microbial Pathogens: Mechanisms and Pathogenesis. Springer; New York, NY, USA. Salmonella enterica, pp. 271–287.
2. Commission Regulation (EC) No 646/2007 of 12 June 2007 implementing Regulation (EC) No 2160/2003 of the European Parliament and of the Council as regards a Community target for the reduction of the prevalence of Salmonella enteritidis and Salmonella typhimurium in broilers and repealing Regulation (EC) No 1091/2005 (Text with EEA relevance). URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32007R0646> (date of access: 26.02.2025).
3. Damena A, Mikru A, Adane M, Dobo B. (2022) Microbial profile and safety of chicken eggs from a poultry farm and small-scale vendors in hawassa, Southern Ethiopia. Food Qual, pp. e7483253.
4. EFSA (European Food Safety Authority) (2004) Opinion of the Scientific Panel on Biological hazards on a request from the Commission related to the use of antimicrobials for the control of Salmonella in poultry EFSA Journal, vol., 2(12), pp. 115-76.

5. FAO. Meat Market Review: Emerging trends and outlook 2023. Rome. URL: <https://www.fao.org/home/ru> (date of access: 05.02.2025).
6. GOST 31747-2012 Produkty pishchevye. Metody vyyavleniya i opredeleniya kolichestva bakterij grupy kishechnykh palochek (koliformnykh bakterij).
7. Landman, W. J. M., & van Eck, J. H. H. (2015) The incidence and economic impact of the Escherichia coli peritonitis syndrome in Dutch poultry farming. Avian Pathology, vol., 44(5), pp.370–378.
8. Metodicheskie ukazaniya po kontrolyu kachestva dezinfekcii ob'ektov, podlezhashchih veterinarnomu nadzoru. Utverzhdyon 16.05.1988 GUV Gosagroproma SSSR (432-3). Data aktualizacii: 01.01.2021.
9. Metodicheskie ukazaniya po laboratornoj diagnostike stafilokokkoza zhivotnykh. Utverzhdyon: 29.07.1987 Gosagroprom SSSR (USSR Gosagroprom 432-3). Data aktualizacii: 01.01.2021.
10. Nguyen TK, Nguyen LT, Chau TTH, Nguyen TT, Tran BN, Taniguchi T, Hayashidani H, Ly KTL. (2021) Prevalence and antibiotic resistance of Salmonella isolated from poultry and its environment in the Mekong Delta, Vietnam. Vet World, vol. 14(12), pp. 3216-3223.
11. Osnovnye pokazateli razvitiya zhivotnovodstva v Respublike Kazahstan (yanvar' 2025g.). URL: <https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-forrest-village-hunt-fish/publications/280810/> (data obrashcheniya: 26.02.2025).
12. ST RK 3510-2019 «Metody laboratornoj diagnostiki sal'monellyoza».
13. Szabó Á, Jerzsele Á, Kovács L, Kerek Á. (2025) Antimicrobial Susceptibility Profiles of Commensal Staphylococcus spp. Isolates from Chickens in Hungarian Poultry Farms Between 2022 and 2023. Antibiotics, vol., 14(1), pp. 103.
14. Wang J., Vaddu S, Bhumanapalli S., Mishra A., Applegate T., Singh M., Thippareddi H. (2023) A systematic review and meta-analysis of the sources of Salmonella in poultry production (pre-harvest) and their relative contributions to the microbial risk of poultry meat. Poult Sci., vol. 102(5), pp. 102566.
15. Youssef, Fady Sayeda; Yonis, Ahlam E.b; Elhaddad, Gomaa Y.b; Elsebaey, Hossam Sh.b; Naem, Nahed A.E.S.c; Amro, Fatma H.d; Abd-Elhafeez, Maha S.e. (2024) Detection of some bacteria and mycotoxins in the baladi chicken eggs from backyard in Bahira Governorate. Egyptian Pharmaceutical Journal, vol., 23(1), pp. 110-121.

Сведения об авторах:

Акимбаев Данил Евгеньевич – младший научный сотрудник, специалист-микробиолог ТОО «Научно-диагностический центр «Animal Expert Group» (Алматы, Казахстан, e-mail: d.molibdenium@gmail.com).

Безрукова Анастасия Николаевна – магистр ветеринарии, старший научный сотрудник, директор лаборатории ТОО «Научно-диагностический центр «Animal Expert Group» (Алматы, Казахстан. e-mail nastya-bolezina@mail.ru).

Бакирова Гульнур Аманкуловна – магистр ветеринарных наук, старший научный сотрудник, менеджер ТОО «Научно-производственный центр UniVet» (Алматы, Казахстан. e-mail: bakirova_gulnura@mail.ru).

Мусина Галия Шайхислямовна – кандидат ветеринарных наук, главный научный сотрудник ТОО «Научно-диагностический центр «Animal Expert Group», директор ТОО «Научно-производственный центр UniVet» (Алматы, Казахстан, e-mail: gmussina@aeg-lab.kz).

Джамалова Гуля Абаевна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ассоциированный профессор КазННТУ имени К.И. Сатпаева, главный научный сотрудник ТОО «Научно-диагностический центр «Animal Expert Group» (Алматы, Казахстан, e-mail: g.jamalova@satbayev.university).

Information about authors:

Akshimbayev Danil Evgenievich – junior researcher, microbiologist, LLP “Scientific and Diagnostic Center ‘Animal Expert Group’” (Almaty, Kazakhstan; e-mail: d.molibdenium@gmail.com).

Bezrukova Anastasia Nikolayevna – master of veterinary science, senior researcher, laboratory director of scientific and diagnostic center “Animal Expert Group”, LLP (Almaty, Republic of Kazakhstan; e-mail: nastya-bolezina@mail.ru).

Bakirova Gulnur Amankulovna – master of veterinary sciences, senior researcher, manager of Scientific and Production Center “UniVet”, LLP (Almaty, Kazakhstan; e-mail: bakirova_gulnura@mail.ru).

Mussina Galiya Shaykhislyamovna – candidate of veterinary sciences, chief researcher of LLP “Scientific and Diagnostic Center ‘Animal Expert Group’”, director of Scientific and Production Center “UniVet”, LLP (Almaty, Kazakhstan; e-mail: gmussina@aeg-lab.kz).

Jamalova Gulya Abaevna – candidate of agricultural sciences, associate professor, Satbayev University (K.I. Satbayev Kazakh National Research Technical University), chief researcher of LLP “Scientific and Diagnostic Center ‘Animal Expert Group’” (Almaty, Kazakhstan; e-mail: g.jamalova@satbayev.university).

Авторлар туралы мәлімет:

Акшимбаев Данил Евгеньевич – «Animal Expert Group» ғылыми-диагностикалық орталығы» ЖШС-нің кіші ғылыми қызметкері, микробиолог маманы (Алматы, Қазақстан Республикасы; e-mail: d.molibdenium@gmail.com).

Безрукова Анастасия Николаевна – ветеринария ғылымдарының магистрі, «Animal Expert Group» ғылыми-диагностикалық орталығы» ЖШС-нің аға ғылыми қызметкер, зертхана директоры (Алматы, Қазақстан Республикасы; e-mail: nastya-bolezina@mail.ru).

Бакирова Гульнур Аманкуловна – ветеринария ғылымдарының магистрі, аға ғылыми қызметкер, «UniVet» ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС-нің менеджері (Алматы, Қазақстан Республикасы; e-mail: bakirova_gulnura@mail.ru).

Мусина Галия Шайхислямовна – ветеринария ғылымдарының кандидаты, «Animal Expert Group» ғылыми-диагностикалық орталығы» ЖШС-нің бас ғылыми қызметкері, «UniVet» ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС-нің директоры (Алматы, Қазақстан Республикасы, e-mail: gmussina@aeg-lab.kz).

Джамалова Гуля Абаевна – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, доцент, Қ.И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ-дың қауымдастырылған профессоры, «Animal Expert Group» ғылыми-диагностикалық орталығы» ЖШС-нің бас ғылыми қызметкері (Алматы, Республика Казахстан, e-mail: g.jamalova@satbayev.university).

Поступило 4 апреля 2025 года

Принято 20 ноября 2025 года

A.V. Kudryakova² , K.A. Mukhatayeva^{1*} , S.A. Imanalina¹ ,
G.D. Ultanbekova¹ , K.R. Sisemali¹ 

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²LLP «VIVA FARM» Almaty, Kazakhstan

*e-mail: muhataeva-71@mail.ru

STUDY OF THE ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF CAPTOPRIL PHARMACEUTICAL PRODUCTS PRODUCED IN KAZAKHSTAN

According to the requirements of the State Pharmacopoeia of the Republic of Kazakhstan for the control of medicinal products, one of the essential components in ensuring the safety, efficacy, and high quality of pharmaceutical products manufactured in the country is the assessment of their antimicrobial activity. Compliance with microbiological purity standards enables a comprehensive evaluation of drug quality, strengthens the alignment of domestic pharmaceutical production with international standards, and contributes to maintaining competitiveness in the pharmaceutical market.

This study experimentally investigated the antimicrobial activity of the pharmaceutical substance and finished dosage form of Captopril produced in Kazakhstan against pharmacopoeial test microorganisms, including *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Candida albicans* and *Aspergillus brasiliensis*. It is known that certain medicinal products may possess intrinsic inhibitory activity, which can distort microbiological test results and lead to false-negative outcomes. Therefore, preliminary assessment of a drug's impact on microbial growth is a critical step for accurate microbiological evaluation.

Three batches of Captopril substance and three batches of the tablet dosage form were examined. The results demonstrated that dilutions of 1:10 and 1:20 exhibited a pronounced inhibitory effect against *E. coli*, *S. aureus* and *B. subtilis*. No activity was observed against *Candida albicans*, *Aspergillus brasiliensis* or *P. aeruginosa*, while the 1:50 dilution completely lacked antimicrobial activity.

The findings confirm the importance of employing methodologies fully compliant with pharmacopoeial requirements when assessing the quality of Captopril substance and its finished dosage form. Moreover, the results justify the necessity of including information on the drug's intrinsic antimicrobial properties in the manufacturer's specification. This study holds practical significance for ensuring the quality and safety of domestically produced pharmaceutical products.

Keywords: drug, substance, Captopril, antimicrobial activity, test strain, microorganisms.

А.В. Кудрякова², К.А. Мухатаева^{1*}, С.А. Иманалина¹,
Г.Д. Ултанбекова¹, Қ.Р. Сисемәлі¹

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан

²«ВИВА ФАРМ» ЖШС, Алматы, Қазақстан

*e-mail: muhataeva-71@mail.ru

Қазақстанда өндірілетін каптоприл дәрілік препаратының антимикробтық белсенділігін бағалау

Қазақстан Республикасының Мемлекеттік Фармакопоеясымен дәрілік заттарды бақылауға қойыған талаптарына сәйкес, елімізде өндірілетін дәрілік өнімдердің қауіпсіздігін, тиімділігін және жоғары сапасын қамтамасыз ету үшін жүргізілетін негізгі зерттеулердің бірі – олардың антимикробтық белсенділігін бағалау болып табылады. Микробиологиялық тазалық талаптарының сәйкестігі жалпы дәрілік заттардың сапасын кешенді бағалау мүмкіндік береді және отандық өндірістің халықаралық стандарттарға сәйкестігін арттырып, фармацевтикалық нарықтағы бәсекеге қабілеттілігін қамтамасыз ететін негізгі факторлардың бірі болып табылады.

Бұл ғылыми жұмыста Қазақстанда өндірілетін Каптоприл дәрілік препаратының фармацевтикалық субстанциясы мен дайын дәрілік формасының фармакопоеялық тест-микроорганизмдері *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Candida albicans* және *Aspergillus brasiliensis* қатысты антимикробтық белсенділігі тәжірибе

Көптеген дәрілік заттардың құрамында табиғи түрде белгілі бір деңгейде ингибиторлық белсенділік болуы мүмкін, ал бұл қасиет микробиологиялық талдау нәтижелерін бұрмалап, жалған теріс көрсеткіштерге алып келуі ықтимал. Сондықтан микробиологиялық тазалықты дұрыс бағалау үшін зерттелетін препараттың микроорганизмдерге әсерін алдын ала анықтау ерекше маңызды.

Біздің зерттеуде Каптоприл субстанциясының және таблетка түріндегі дәрілік өнімнің үш сериясы қолданылды тест штаммдарына әсері бағаланып, нәтижесінде *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, 1:10 және 1:20 сұйылтуларда препараттың айқын тежегіш әсер көрсететіні анықталды. *Candida albicans* және *Aspergillus brasiliensis*, сондай-ақ *P. aeruginosa* штаммдарына қатысты белсенділік байқалған жоқ, ал 1:50 қатынастағы тәжірибеде антимикробтық активтілік ингибирленді.

Зерттеу нәтижелері Каптоприл субстанциясы мен дәрілік затының сапасын бақылау кезінде фармакопейлық талаптарға толық сәйкес келетін әдістемені қолданудың маңыздылығын дәлелдеп, өндіруші спецификациясына препараттың антимикробтық белсенділігі туралы ақпаратты енгізу қажеттілігін негіздеді. Бұл жұмыстың нәтижелері отандық фармацевтикалық өндірісте сапа мен қауіпсіздікті қамтамасыз етуге бағытталған тәжірибелік құндылыққа ие.

Түйін сөздер: дәрілік препарат, субстанция, Каптоприл, антимикробтық белсенділік, тест-штамм микроағзалары.

А.В. Кудрякова², К.А. Мухатаева^{1*}, С.А. Иманалина¹,
Г.Д. Ултанбекова¹, Қ.Р. Сисемали¹

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

²ТОО «ВИВА ФАРМ», Алматы, Казахстан

*e-mail: muhataeva-71@mail.ru

Оценка антимикробной активности лекарственного препарата Каптоприл, производимого в Казахстане

В соответствии с требованиями Государственной Фармакопеи Республики Казахстан к контролю лекарственных средств, одним из ключевых этапов обеспечения безопасности, эффективности и высокого качества отечественных фармацевтических продуктов является оценка их антимикробной активности. Определение соответствия показателям микробиологической чистоты позволяет комплексно оценить качество препарата, повысить соответствие национального производства международным стандартам и обеспечить его конкурентоспособность на фармацевтическом рынке.

В данном исследовании экспериментально изучена антимикробная активность фармацевтической субстанции и готовой лекарственной формы Каптоприла, производимого в Казахстане, по отношению к фармакопейным тест-микроорганизмам *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Candida albicans* и *Aspergillus brasiliensis*. Известно, что некоторые лекарственные средства обладают собственной ингибирующей активностью, которая может исказить результаты микробиологических испытаний и приводить к ложноотрицательным показателям. Поэтому предварительная оценка влияния препарата на рост микроорганизмов является необходимым условием корректного анализа.

В рамках исследования оценено действие трёх серий субстанции и таблетированной формы Каптоприла. Установлено, что в разведениях 1:10 и 1:20 препарат проявляет выраженный ингибирующий эффект в отношении *E. coli*, *S. aureus* и *B. subtilis*. Активность в отношении *Candida albicans*, *Aspergillus brasiliensis* и *P. aeruginosa* не наблюдалась, а при разведении 1:50 антимикробный эффект полностью отсутствовал.

Полученные результаты подтверждают необходимость применения методик, полностью соответствующих фармакопейным требованиям, при контроле качества субстанции и готового лекарственного средства Каптоприл. Кроме того, показано, что сведения о собственной антимикробной активности препарата должны быть отражены в спецификации производителя. Проведенное исследование имеет практическую значимость для обеспечения качества и безопасности отечественных фармацевтических продуктов.

Ключевые слова: лекарственные препараты, субстанция, Каптоприл, антимикробная активность, тест-штаммы, микроорганизмы.

Introduction

The modern arsenal of medicines includes a wide range of drugs. However, the technology of their production does not always guarantee complete microbiological purity of the drugs. Injectable and ophthalmic drugs must be absolutely sterile, which is taken into account during their production. For other categories of drugs, contamination with microorganisms is undesirable, but possible, since the rules for their production do not require strict sterility. The main sources of contamination of medicinal products (DPs) are: the substance (most often of plant and animal origin), process water, production equipment, industrial air, workers, containers and finished DP packaging [1,2].

In order to implement the goal of the Address of the President of the Republic of Kazakhstan to the people – to enter the list of the 50 most developed and competitive countries in the world, leading enterprises of the domestic pharmaceutical industry, carrying out restructuring in the production sector, have been introducing the principles of GMP (Good Manufacturing Practice) since January 2008 and are moving to new requirements for controlling medicinal products established by the State Pharmacopoeia of the Republic of Kazakhstan (MPK RK), which ensure the safety, effectiveness, and high quality of the product, which in turn is the main condition for its competitiveness in the domestic and global pharmaceutical markets [3].

The establishment of the MF of the Republic of Kazakhstan was carried out with state support since 2005. The first edition of the Pharmacopoeia was published in three volumes in the state and Russian languages. Volumes I and II were approved and put into effect in 2008, and Volume III in 2015. The legislative status of the MF of the Republic of Kazakhstan is established by the Code of the Republic of Kazakhstan “On Public Health and the Healthcare System” [4].

Contamination of DP with microorganisms can be the cause of infectious processes in the person receiving it. In clinical practice, cases of diseases caused by enterobacteria, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, spore-forming anaerobes, mold fungi, etc. are known [5].

Contamination of DP with microorganisms violates its stability. Antimicrobial compounds in the composition of ointments for external use do not always guarantee their microbial purity. The mul-

tiplication of microorganisms in the composition of the ointment leads to a change in its consistency, the appearance of an unpleasant odor, etc. changes [6].

In liquid dosage forms, metabolites of microorganisms can change their chemical composition and may also lead to the formation of toxic products. Solid dosage forms are less likely to be contaminated with microorganisms, since they do not provide a suitable environment for the growth of microorganisms. Contamination of DP raw materials with microorganisms, as well as improper storage, can lead to changes in their properties [7].

The need for quality control of non-sterile medicinal products is justified by the importance of ensuring their safety and effectiveness, that is, reducing the risk when used by the consumer. Thus, it is necessary to achieve quality assurance of non-sterile medicinal products by assessing the risk of the occurrence of substandard products and creating a risk management system, starting from the development of a new pharmaceutical product, from production to the consumer. In this case, biological methods for testing pharmaceutical products related to the field of pharmacology and microbiology play a special role [8,9].

The specificity of the types of microbiological analysis is the specificity of the object of study – microorganisms with individual properties. The most important features of DP that affect the results of the analysis are: the presence of antimicrobial activity in DP themselves or their components, as well as the presence of preservatives in some of them that prevent the detection of microorganisms [4,10].

Medicinal products (Drugs) (substances, various forms of drugs – tablets, capsules, granules, solutions, suspensions, syrups, ointments, suppositories, etc., as well as excipients) can be contaminated with microorganisms. Before controlling them according to the “microbiological purity” indicator of the KR MF, volume 1, it is necessary to determine their antimicrobial activity against molds and yeasts and individual types of microorganisms, as this leads to an incorrect assessment of the results obtained [11].

The study of the antimicrobial activity of substances used in the development of drugs improves the well-known methods of studying ready-made DP, thereby preventing ways of harming human health [6,12,13].

Antimicrobial activity is a process aimed at destroying or inhibiting pathogenic microorganisms. For this, various agents are used against microor-

ganisms. Drugs against microorganisms can be antibacterial, antifungal or antiviral [14].

To eliminate antimicrobial activity, special, non-specific inactivators, special neutralizing solutions are used, the amount of normal solvent is increased, and membrane filtration is used as a test [15].

A variety of compounds involved in the treatment of diseases of non-infectious etiology show a certain antimicrobial activity in vitro against bacteria and other microorganisms. Such compounds are called non-antimicrobial drugs. At the end of the 19th century, it was known that dyes have activity against microorganisms, for example, Paul Ehrlich used methylene blue (one of the phenothiazine compounds) as an agent against microorganisms [16].

The antimicrobial activity of some non-antimicrobial drugs was first revealed on the Polish pharmaceutical market during several years of drug control at the National Institute of Medicine. Currently, about 950 drugs randomly selected from various groups of pharmaceutical products have been studied for their antimicrobial activity. During the study, it was shown that some drugs inhibit the growth of at least one of the four standard strains of microorganisms studied.

Classes of drugs such as neuroleptics, antihistamines, antidepressants, antiplatelet agents, and nonsteroidal anti-inflammatory drugs have varying degrees of activity against a broad spectrum of microorganisms [17]. These non-antimicrobial drugs affect the growth of microorganisms in a variety of ways. They may have direct activity against microorganisms, enhance the efficacy of antibiotics when coadministered (adjuvant compounds), or alter the pathogenicity or activity of microorganisms, such as by modulating macrophage activity [18].

The main aspects of the quality of DP are physicochemical and microbiological tests [19]. An important aspect of conducting microbiological tests is the study of the antimicrobial activity of the sample under study. This is necessary for the correct development of the finished DP research methodology and its inclusion in the analytical regulatory document or quality specification [20].

Currently, domestic and foreign authors have shown that non-antimicrobial drugs can have an antimicrobial effect on some test microorganisms, which justifies the need to determine this characteristic of DP during the microbiological testing of DP in order to reduce the risk of false-negative results [21,22].

If the conditions for the production and storage of medicinal products are not met, their biodegradation may occur under the influence of microbial enzymes, the speed of which is determined by the chemical composition of the medicinal product, the presence of substances in it that are easily absorbed by microorganisms or have biocidal activity, the number and species composition of contaminants, environmental conditions (humidity, temperature). Some components of drugs (starch, gelatin, kaolin, magnesium trisilicate, aluminum hydroxide, surfactants, proteins) protect the cells of microorganisms from preservatives [23]. The possibility of biodegradation processes is influenced by the type of packaging that prevents the ingress of contaminants and controls humidity. An important criterion for conducting analytical work on the appropriate microbiological purity of a drug is the study of the antimicrobial activity of the active pharmaceutical ingredients included in its composition and the drug itself during the manufacturing process [24].

Pilot-industrial batches of the non-antimicrobial active pharmaceutical ingredient Captopril and the hard tablet formulation Captopril were selected for antimicrobial activity studies.

The efficacy of the well-known angiotensin-converting enzyme inhibitor L-Captopril as an inhibitor of dapE was assessed by analyzing its binding modes and affinity for dapE, and it was demonstrated that L-Captopril inhibits the growth rate of test cultures of *S. enterica* and *E. Coli* [25].

Materials and methods

The object of the research work was the pharmaceutical active substance Captopril series 5102-17-014, 5102-17-045, 5102-18-017 and the experimental-industrial series of the drug Captopril 001, 002, 003 produced in Kazakhstan.

The antihypertensive drug Captopril is an inhibitor of angiotensin-converting enzyme (ACE). The mechanism of the antihypertensive effect of Captopril is associated with competitive inhibition of ACE activity, which leads to a decrease in the rate of conversion of angiotensin I to angiotensin II in tissues and blood plasma, as a result of which it achieves a vasodilating effect and a decrease in aldosterone secretion in the adrenal glands. As a result, Captopril reduces total peripheral vascular resistance (afterload), pulmonary capillary wedge

pressure (preload) and pulmonary vascular resistance; increases cardiac output and exercise tolerance [26,27,28].

To study the antimicrobial activity of the substance and drug Captopril, the following pharmacopoeial test cultures were used: *Escherichia coli* ATCC®8739, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC®9027, *Staphylococcus aureus* ATCC®6538, *Bacillus subtilis* ATCC®6633 *Candida albicans* ATCC®10231, *Aspergillus brasiliensis* ATCC®16404, produced by the Italian company Liofilchem®, which produces standard reference cultures of microorganisms from the American Type Culture Collection (ATCC).

Each test culture is a lyophilized microorganism prepared from a reference primary culture (5 granules in 1 vial).

During the research, tryptone soy-casein agar, tryptone soy-casein broth, Sabouraud agar, produced by the German company Merck KGaA, were used.

The antimicrobial activity of the substance and drug captopril was studied using the method described in the first volume of the National Pharmacopoeia of the Republic of Belarus – “Determination of antimicrobial activity under microbiological purity testing conditions (for water-soluble drugs)” [29].

Determination of antimicrobial activity under microbiological purity testing conditions (for water-soluble drugs) For this purpose, a suspension was prepared using pharmacopoeial test culture microorganisms (*Escherichia coli* ATCC®8739, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC®9027, *Staphylococcus aureus* ATCC®6538, *Bacillus subtilis* ATCC®6633, *Candida albicans* ATCC®10231, *Aspergillus brasiliensis* ATCC®16404) [30,31,32].

Suspensions of bacterial test cultures are inoculated onto tryptone soy-casein agar slants and incubated for 48 hours at 30-35°C.

Cultures of yeasts are inoculated onto Sabouraud agar slants in test tubes and incubated for 5 days at 20-25°C [6,11].

After the incubation period, bacterial cultures and *Candida albicans* cultures are washed from the slants with 0.9% sodium chloride solution, and *Aspergillus brasiliensis* cultures are washed with 0.9% sodium chloride solution with 0.05% polysorbate 80, and suspensions are made [11,12].

The resulting bacterial suspensions are diluted to a concentration of 103 CFU/ml, and fungal suspensions to a concentration of 103-104 CFU/ml with phosphate buffer solution.

The Captopril substance and the drug substance for the study were diluted in three different concentrations in standard phosphate buffer solution: 1:10, 1:20 and 1:50.

To determine the antimicrobial activity against the test microorganisms *Candida albicans*, *Aspergillus brasiliensis*, *Bacillus subtilis*, 1 ml of each prepared concentration (1:10, 1:20, 1:50) of the sample was inoculated into a sterile Petri dish for the purpose of deep inoculation. In the Petri dishes with the sample, suspensions of the test microorganisms were added in the volume of: 0.2 ml *Bacillus subtilis*; 0.2 ml *Candida albicans*; 0.2 ml *Aspergillus brasiliensis* (for each concentration of the sample under study). Inoculation was carried out in 3 replicates for each sample.

Petri dishes contaminated with *Bacillus subtilis* test cultures are poured with 15-20 ml of tryptone soy-casein agar cooled to 45-50°C and mixed.

Petri dishes contaminated with *Candida albicans*, *Aspergillus brasiliensis* test strains are poured with 15-20 ml of Sabouraud agar cooled to 45-50°C and mixed.

To determine the antimicrobial activity of the sample under study against the test culture microorganisms *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, 1 ml of each prepared concentration of the sample (1:10, 1:20, 1:50) is dropped into 9 test tubes containing 10 ml of tryptone soy-casein broth. The test-strain suspensions are added to the test tubes (for each concentration of the test sample) in the following volumes: 1 ml of *Escherichia coli* culture suspension to 3 tubes; 1 ml of *Pseudomonas aeruginosa* culture suspension to 3 tubes; 1 ml of *Staphylococcus aureus* test-strain suspension to 3 tubes.

In parallel, the growth rate of the test-culture microorganisms is monitored. For this, 0.2 ml of *Bacillus subtilis* (at a concentration of 103 CFU/ml) of each test-culture suspension prepared is added to tryptone soy-casein agar; 0.2 ml of *Candida albicans*; 0.2 ml of *Aspergillus brasiliensis* Sabouraud agar medium is added and mixed.

Escherichia coli ATCC®8739, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC®9027, *Staphylococcus aureus*

ATCC®6538 test culture microorganisms (at a concentration of 103 CFU/ml) were inoculated in 1 ml of 10 ml test tubes. The control was performed in 3 replicates.

Samples contaminated with test culture microorganisms *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis* are incubated in a thermostat for 48 hours at a temperature of 35-37°C.

Samples contaminated with test culture microorganisms *Candida albicans*, *Aspergillus brasiliensis* are incubated in a thermostat for 5 days at a temperature of 22-25°C.

After the incubation period, the presence or absence of a characteristic and normal growth rate of microorganisms is determined in Petri dishes and test tubes containing the tested sample and test culture microorganisms and in controls [6,11].

The applied methods are consistent with the fundamental principles of biomedical statistics de-

scribed by Altman (1991), including the use of mean values, standard deviation, and variability analysis [33].

Results and discussion

In the experimental work, the antimicrobial activity of three batches of Captopril (substance: 5102-17-014, 5102-17-045, 5102-18-017; finished dosage form: batches 001, 002, 003) was evaluated against the pharmacopeial test strains *Escherichia coli* ATCC®8739, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC®9027, *Staphylococcus aureus* ATCC®6538, *Bacillus subtilis* ATCC®6633, *Candida albicans* ATCC®10231, and *Aspergillus brasiliensis* ATCC®16404. For each concentration/strain combination, three replicates were performed (x_1 , x_2 , x_3), and the mean values ($\bar{x}$) and standard deviations were calculated. The results are summarized in Tables 1–3.

Table 1 – Results of the Study of the Antimicrobial Activity of Captopril Substance (Batches 5102-17-014, 5102-17-045, 5102-18-017)

Test cultures		Sample conc.	Unit of measure	Captopril substance series												
				5102-17-014				5102-18-017				5102-17-045				
Bacillus subtilis	With medication	1:10	CFU	x ₁	x ₂	x ₃	$\bar{x}_i$	x ₁	x ₂	x ₃	$\bar{x}_i$	x ₁	x ₂	x ₃	$\bar{x}_i$	
				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		1:20		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
				1:50	94	95	95	95	90	89	90	90	95	91	93	93
	Without medication	-	CFU	96	94	95	95	89	92	91	91	93	94	94	94	
	Common standard deviation															
	With medication	1:50	%	x _i =95				x _i =90				x _i =93				
				2.52												
	Without medication	-	%	x _i =95				x _i =91				x _i =94				
				2.08												

Continuation of the table

Test cultures		Sample conc.	Unit of measure	Captopril substance series											
				5102-17-014				5102-18-017				5102-17-045			
Candida albicans	With medication	1:10	CFU	x ₁	x ₂	x ₃	$\bar{x}_i$	x ₁	x ₂	x ₃	$\bar{x}_i$	x ₁	x ₂	x ₃	$\bar{x}_i$
				87	86	86	87	94	95	92	94	90	92	92	91
		1:20		92	87	90	90	94	96	95	95	89	91	92	91
		1:50		93	94	94	94	96	93	95	95	89	94	92	92
	Without medication	-	CFU	89	95	92	92	91	95	93	93	90	94	92	92
	Common standard deviation														
	With medication	1:10	%	x _i =87				x _i =94				x _i =91			
				3.51											
		1:20		x _i =90				x _i =95				x _i =91			
				2.64											
		1:50		x _i =94				x _i =95				x _i =92			
				1.52											
	Without medication		%	x _i =92				x _i =93				x _i =92			
				0.57											
Aspergillus brasiliensis	With medication	1:10	CFU	x ₁	x ₂	x ₃	$\bar{x}_i$	x ₁	x ₂	x ₃	$\bar{x}_i$	x ₁	x ₂	x ₃	$\bar{x}_i$
				48	45	40	44	44	39	35	39	39	37	40	39
		1:20		47	42	40	43	41	40	38	40	40	38	35	38
		1:50		39	40	41	40	38	31	39	36	36	38	36	37
	Without medication		CFU	42	40	43	42	39	42	40	40	39	36	38	38
	Common standard deviation														
	With medication	1:10	%	x _i =44				x _i =39				x _i =39			
				2.88											
		1:20		x _i =43				x _i =40				x _i =38			
				2.51											
		1:50		x _i =40				x _i =36				x _i =37			
				2.08											
	Without medication		%	x _i =42				x _i =40				x _i =38			
				2											

At concentrations 1:10 and 1:20, the substance demonstrated pronounced inhibition of *B. subtilis*, manifested by the absence of microbial growth, whereas at 1:50 growth was present and the CFU counts were close to the control. For *Candida albicans* and *Aspergillus brasiliensis*, the substance did not show significant fungicidal activity at the tested concentrations; at 1:10–1:50, numerical values and mean counts differed insignificantly from the control. Standard deviations across the three replicates

were small, indicating reproducibility of the measurements.

The Captopril substance exhibits selective antibacterial activity against some test strains at higher concentrations, but does not demonstrate meaningful antifungal effects under the test conditions.

For the finished dosage form of Captopril (batches 001, 002, 003), inhibition of *B. subtilis* was also observed at 1:10 and 1:20, i.e., absence of growth, while at 1:50 microbial growth was restored.

Table 2 – Results of the Study of the Antimicrobial Activity of Captopril Finished Dosage Form (Batches 001, 002, 003)

Test cultures		Sample conc.	Unit of measure	Captopril drug series											
				001				002				003			
Bacillus subtilis	With medication	1:10	CFU	x ₁	x ₂	x ₃	$\bar{x}_i$	x ₁	x ₂	x ₃	$\bar{x}_i$	x ₁	x ₂	x ₃	$\bar{x}_i$
				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		1:20		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		1:50		96	93	95	95	94	93	94	94	93	90	91	91
	Without medication	-	CFU	95	96	95	95	97	96	95	96	93	92	89	91
	Common standard deviation														
	With medication	1:50	%	x _i =95				x _i =94				x _i =91			
				2.08											
	Without medication	-	%	x _i =95				x _i =95				x _i =91			
				2.3											
Candida albicans	With medication	1:10	CFU	x ₁	x ₂	x ₃	$\bar{x}_i$	x ₁	x ₂	x ₃	$\bar{x}_i$	x ₁	x ₂	x ₃	$\bar{x}_i$
				94	95	95	95	94	90	92	92	87	86	86	86
		1:20		94	96	95	95	94	92	89	92	92	87	91	90
		1:50		96	93	95	95	94	93	88	92	89	93	91	91
	With medication	-	CFU	91	95	93	93	92	94	91	92	93	89	92	91
	Common standard deviation														
	With medication	1:10	%	x _i =95				x _i =92				x _i =86			
				4.58											
		1:20		x _i =95				x _i =92				x _i =90			
				2.51											
		1:50		x _i =95				x _i =92				x _i =91			
				2.08											
	Without medication		%	x _i =93				x _i =92				x _i =91			
				1.0											

Continuation of the table

Test cultures		Sample conc.	Unit of measure	Captopril drug series												
				001				002				003				
Aspergillus brasiliensis	With medication	1:10	CFU	x ₁	x ₂	x ₃	$\bar{x}_i$	x ₁	x ₂	x ₃	$\bar{x}_i$	x ₁	x ₂	x ₃	$\bar{x}_i$	
				41	42	40	41	38	39	35	37	40	38	34	37	
		1:20		39	40	39	39	42	40	39	40	36	34	40	40	
				1:50	39	38	41	39	39	33	42	38	41	36	35	37
	Without medication		CFU	38	41	43	40	42	37	39	40	37	42	38	39	
	Common standard deviation															
	With medication	1:10	%	x _i =41				x _i =37				x _i =37				
				2.3												
		1:20		x _i =39				x _i =40				x _i =40				
				0.57												
		1:50		x _i =39				x _i =38				x _i =37				
				1.0												
	Without medication		%	x _i =40				x _i =40				x _i =39				
				0.57												

For *Candida albicans* and *Aspergillus brasiliensis*, no significant deviations from the control were observed, confirming the absence of antifungal activity under the tested conditions.

Comparison of the batches shows minimal variability (similar $\bar{x}$ and SD values), indicating stability of the manufacturing process and consistency of the effect.

Thus, the finished dosage form reproduces the behavior of the substance—demonstrating a bacteriostatic effect at higher concentrations and no activity against the tested fungal strains.

riostatic effect at higher concentrations and no activity against the tested fungal strains.

In the next stage of our experiments, a qualitative assessment of growth was performed for *P. aeruginosa*. As shown in table 3, all batches and all concentrations exhibited growth (“+”), indicating no antimicrobial activity against this strain. This finding is consistent with the known high resistance of *Pseudomonas* to many substances.

Table 3 – Antimicrobial Activity Against *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*

Tested sample/series																			
Test cultures		Captopril substance									The drug Captopril								
		Series																	
		5102-17-014			5102-17-045			5102-17-014			001			002			003		
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	1:10	x ₁	x ₂	x ₃	x ₁	x ₂	x ₃	x ₁	x ₂	x ₃	x ₁	x ₂	x ₃	x ₁	x ₂	x ₃	x ₁	x ₂	x ₃
		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	1:20	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	1:50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Control (without medication)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Tested sample/series																			
Test cultures		Captopril substance									The drug Captopril								
		Series																	
		5102-17-014			5102-17-045			5102-17-014			001			002			003		
<i>Escherichia coli</i>	1:10	x ₁	x ₁	x ₂	x ₂	x ₁	x ₂	x ₂	x ₁	x ₂	x ₂	x ₂	x ₂	x ₁	x ₂	x ₂	x ₁	x ₂	x ₂
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1:50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Control (without medication)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Staphylococcus aureus</i>	1:10	x ₁	x ₁	x ₂	x ₂	x ₁	x ₂	x ₂	x ₁	x ₂	x ₂	x ₂	x ₂	x ₁	x ₂	x ₂	x ₁	x ₂	x ₂
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1:50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Control (without medication)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Qualitative Evaluation: “+” — growth, “—” — no growth																			

For *E. coli* and *S. aureus*, no growth (“—”) was observed at concentrations 1:10 and 1:20, while at 1:50 growth was restored (“+”). Thus, the inhibitory effect is manifested only at higher concentrations.

Thus, both the substance and the finished dosage form of Captopril exhibit a pronounced inhibitory effect against *E. coli* and *S. aureus* at concentrations 1:10–1:20, whereas *P. aeruginosa* is resistant and not inhibited at the tested concentrations.

Conclusion

The obtained results on the antimicrobial activity of Captopril samples produced by a domestic manufacturer demonstrate that at concentrations 1:10 and 1:20 the preparation suppressed the growth of *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* and *Bacillus subtilis*, but had no effect on *Pseudomonas aeruginosa*, *Candida albicans* or *Aspergillus brasiliensis*. At a higher dilution (1:50), antimicrobial activity disappeared. These observations apply to both the substance and the tablet form.

The observed activity against *E. coli*, *S. aureus* and *B. subtilis* is consistent with previously published data showing that L-captopril can inhibit

bacterial enzymes (particularly DapE), which may slow the synthesis of cell envelope components and thereby suppress bacterial growth [15].

The absence of effect against *P. aeruginosa* can be explained by well-known resistance mechanisms of this species: reduced outer membrane permeability, active efflux systems, and biofilm formation. These features make *Pseudomonas* less susceptible to many chemical compounds that are not specifically designed for it.

The lack of activity against *Candida* and *Aspergillus* is expected, since Captopril is not positioned as an antifungal agent and its chemical structure is not typical of azole or polyene fungicides.

The use of pharmacopeial ATCC test strains and standard culture media increases the comparability of the results with other studies.

The described method for determining the “microbiological purity” indicator for the Captopril substance and finished dosage form, as well as the standard inhibition test for this drug, may be incorporated into the manufacturer’s specification. The presence of intrinsic antimicrobial activity in the substance/preparation provides quality control specialists with an understanding of its potential influence on microbiological tests [1,2,16].

The obtained data confirm that Captopril exhibits concentration-dependent antimicrobial activity against several pharmacopeial bacterial strains under the test conditions. This has direct practical significance for microbiological purity testing procedures: without accounting for this property, false results may be obtained. It is recommended to implement neutralization steps or other sample preparation approaches and to document this proper-

ty in the manufacturer's specification and in quality control protocols.

Information about the presence or absence of antimicrobial activity in the Captopril substance and finished dosage form is not reported in the State Pharmacopeia of the Republic of Kazakhstan. The conducted studies made it possible to improve the effectiveness of the standard pharmacopeial methodology by suppressing antimicrobial activity during sample preparation.

References

1. European Pharmacopoeia. Microbiological quality of pharmaceutical preparations //EDQM, 2020.
2. United States Pharmacopeia (USP 43–NF 38). Microbiological Tests <61>, <62>. Rockville: USP, 2020.
3. Жакипбеков К.С., Тулемисов С.К., Датхаев У.М., Сакипова З.Б., Гладух Е.В., Немченко А.С. Перспективы развития фармацевтического рынка Республики Казахстан // SyberLeninka. – 2014. – № 38. – С. 11.
4. Вялов С.С., Степченко А.А., Дронова Т.А., Винницкая Е.В. Выбор препарата для лекарственной терапии с учетом особенностей субстанции: Рациональная фармакотерапия // М. – 2012 – №6(4). – С. 34-38.
5. Хабриева Р.У. Руководство по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ // М: ОАО «Издательство «Медицина», 2005. – 832с.
6. Юргель Н.В., Младенцева А.Л., Бурдейн А.В., Гельман М.А., Малина А.А., Косенко В.В. Руководство для предприятий фармацевтической промышленности методические рекомендации по валидации методик анализа лекарственных средств под редакцией //М.: Издательство «Спорт и культура-2000», 2007. – С. 10.
7. Зверев В.В., Бойченко М.Н. Микробиология: учебник //М.: ГЭОТАР-Медиа, 2014. – 608 с.
8. McDonnell G., Russell A.D. Antiseptics and disinfectants: Activity, action, resistance. Clin Microbiol Rev// 1999;12(1):147–179.
9. Walsh C. Molecular mechanisms of antibacterial resistance //Chem Rev. 2000;100:145–177.
10. Neu H.C. Mechanisms of antimicrobial resistance in bacteria // Am J Med. 1986;80:23–29.
11. Мусинов С.Р., Тулегенова А.У. «Государственная фармакопея — главный стандарт качества лекарственных средств и изделий медицинского назначения в Республике Казахстан» // *Вестник Научного центра экспертизы средств медицинского применения* — 2016. — № 2. — С. 26–30.
12. Livermore D. Mechanisms of resistance. Microbiol Rev. 1995;59:629–640.
13. Denyer S., Hodges N., Gorman S. Hugo & Russell's Pharmaceutical Microbiology //Wiley-Blackwell, 2011.
14. Denyer S.P., Baird R. Guide to microbiological quality control in pharmaceutical production //Wiley, 2015.
15. Debodyuti Dutta, S. Mishra. L-Captopril and derivatives as potential inhibitors of microbial enzyme DapE: //J Mol Graphics Modeling. 2018;84.
16. Brook I. (1989). Inoculum effect // Rev. Infect. Dis. 11, 361–368. 10.1093/clinids/11.3.361
17. CLSI Methods for Determining Bactericidal Activity of Antimicrobial Agents. //Approved Guideline. 2009;18.
18. Brauner A., Fridman O., Gefen O., Balaban N.Q. Distinguishing between resistance, tolerance and persistence // Nat Rev Microbiol. 2016;14:320–330.
19. Mounyr Balouiri, Moulay Sadiki, Saad Koraichi Ibsouda. Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity //A review. J Pharm Anal. 2016;6(2):71–79.
20. Шелема Н. Обеспечение качества лекарственных средств-одна из важнейших задач современной фармации //М: 2015. – С. 4.
21. Галынкин В.А., Качеровец В.И., Габилова А.Э. Фармацевтическая микробиология // М: Арнебия. – 2015.- С.183.
22. Качеровец В.И., Габилова А.Э., Гунар О.В., Галынкин В.А., Заикина Н.А. Введение в фармацевтическую микробиологию //СПб.: Проспект науки, 2014. -С. 238.
23. Габилова А.Э., Гунар О.В., Гарабаджиу А.В., Галынкин В.А. Микробиологическая обсемененность лекарственного растительного сырья // Международный форум «Продовольственная безопасность». – СПб: 2013. – С. 142-148.
24. Лабинская А.С., Блинкова Л.П., Ешииа А.С. Частная медицинская микробиология с техникой микробиологических исследований //М. «Медицина», 2005.-С. 599.
25. Debodyuti Dutta, Sabyashachi Mishra L-Captopril and its derivatives as potential inhibitors of microbial enzyme DapE: A combined approach of drug repurposing and similarity screening//June 2018, Journal of Molecular Graphics and Modeling 84
26. Pharmacopoeia of the Republic of Kazakhstan// National Center of Expertise of Medicines, 2020.
27. British Pharmacopoeia (BP). Microbiological Quality Tests. 2023

28. Шеряков А.А Государственная фармакопея Республики Беларусь //Том 1, 2012.
29. Hugo W.B., Russell A.D. *Pharmaceutical Microbiology* //8th Edition. Wiley, 2011.
30. Prescott L.M., Harley J.P., Klein D.A. *Microbiology* //10th Edition. McGraw-Hill, 2021.
31. Sandle T. *Microbiological Quality Control for Pharmaceuticals and Medical Devices* //Woodhead Publishing, 2016.
32. Balouiri M., Sadiki M., Ibsouda S.K. Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity //A review. *J Pharm Anal.* 2016;6(2):71–79.
33. Altman D.G. *Practical Statistics for Medical Research* //Chapman & Hall, 1991.

References

1. Altman D.G. *Practical Statistics for Medical Research*. Chapman & Hall, 1991.
2. Balouiri M., Sadiki M., Ibsouda S.K. (2016) Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: A review. *J Pharm Anal.* Vol.6(2), pp. 71–79.
3. Brauner A., Fridman O., Gefen O., Balaban N.Q. (2016) Distinguishing between resistance, tolerance and persistence. *Nat Rev Microbiol.* Vol.143, pp. 20–330.
4. Brook I. (1989) Inoculum effect *Rev. Infect. Dis.* vol. 11, pp. 361–368. 10.1093/clinids/11.3.361
5. British Pharmacopoeia (BP) 92023) *Microbiological Quality Tests*.
6. CLSI *Methods for Determining Bactericidal Activity of Antimicrobial Agents* (2009). Approved Guideline, vol. 18.
7. Debodutti Dutta, Sabyashachi Mishra. L-Captopril and its derivatives as potential inhibitors of microbial enzyme DapE: A combined approach of drug repurposing and similarity screening (2018) *J Mol Graphics Modeling*, pp. 84.
8. Denyer S.P., Hugo W.B., Hodges N.A., Gorman S.P. *Hugo & Russell's(2011) Pharmaceutical Microbiology*. 8th ed. Wiley-Blackwell, ISBN 9781444330632.
9. Denyer S.P., Baird R.M. (2006) *Guide to Microbiological Control in Pharmaceuticals and Medical Devices*. 2nd ed. Taylor & Francis / CRC Press; ISBN 9780748406159.
10. European Pharmacopoeia. *Microbiological quality of pharmaceutical preparations*. EDQM, 2020.
11. Габидова А.Э., Гунар О.В., Гарабаджиу А.В., Галынкин В.А. (2013) Микробиологическая обсеменённость лекарственного растительного сырья // Международный форум «Продовольственная безопасность». – СПб, 142-148 стр.
12. Галынкин В.А., Качеровец В.И., Габидова А.Э. (2015) Фармацевтическая микробиология // М: Арнебия. С.183.
13. Hugo W.B., Russell A.D. (2011) *Pharmaceutical Microbiology*. 8th Edition. Wiley
14. Кочеровец В.И., Габидова А.Э., Гунар О.В., Галынкин В.А., Заикина Н.А. (2014) Введение в фармацевтическую микробиологию. СПб.: Проспект науки, С. 238.
15. McDonnell G., Russell A.D. (1999) Antiseptics and disinfectants: Activity, action, resistance. *Clin Microbiol Rev.*;12(1):147–179.
16. Мусинов С.Р., Тулегенова А.У. (2016) «Государственная фармакопея — главный стандарт качества лекарственных средств и изделий медицинского назначения в Республике Казахстан». *Вестник Научного центра экспертизы средств медицинского применения*, №2:26–30.
17. Mounyr Balouiri, Moulay Sadiki, Saad Koraichi Ibsouda (2016) Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: A review. *J Pharm Anal.* vol. 6(2), pp.71–79.
18. Labinskaya A.S. (2005) *Chastnaya medical microbiology*.... M.: Medicine, 599 P.
19. Livermore D. Mechanisms of resistance. *Microbiol Rev.* 1995;59:629–640.
20. Neu H.C. (1986) Mechanisms of antimicrobial resistance in bacteria. *Am J Med.* vol.80, pp.23–29.
21. Perrin Y. et al. (2018) Drug-induced antibacterial activity in non-antibiotic pharmaceuticals. *J Appl Microbiol.* vol.124(4), pp.1128–1139.
22. Pharmacopoeia of the Republic of Kazakhstan (2020) National Center of Expertise of Medicines
23. Prescott L.M., Harley J.P., Klein D.A. (2021) *Microbiology*. 10th Edition. McGraw-Hill,.
24. Sandle T. (2016) *Microbiological Quality Control for Pharmaceuticals and Medical Devices*. Woodhead Publishing,.
25. Shelema N. (2015) *Ensuring the quality of medicines*. М. 4 с.
26. State Pharmacopoeia of the Republic of Belarus (2012) Vol. 1. 400 P.
27. United States Pharmacopeia (USP 43–NF 38). *Microbiological Tests* <61>, <62>. Rockville: USP, 2020.
28. Vyalov S.S., Stepchenko A.A., Dronova T.A., Vinnitskaya E.V. (2012) Selection of a drug for medicinal therapy taking into account the characteristics of the substance. *Rational pharmacotherapy.* vol.6(4), pp. 34–38.
29. Walsh C. (2000) Molecular mechanisms of antibacterial resistance. *Chem Rev.* vol.100, pp.145–177.
30. Zhakipbekov K.S., Tulemisov S.K., Dathaev U.M., Sakipova Z.B., Gladukh E.V., Nemchenko A.S. (2014) Prospects for the development of the pharmaceutical market of Respublika Kazakhstan. *SyberLeninka.* vol.38, pp.11-15
31. Zverev V.V., Boychenko M.N. (2014) *Microbiology: textbook*. М.: GEOTAR-Media, 608 P.
32. Хабриева Р.У. (2005) Руководство по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ // М: ОАО «Издательство «Медицина». 832с.

33. Юргель Н.В., Младенцева А.Л., Бурдейн А.В., Гельман М.А., Малина А.А., Косенко В.В (2007) Руководство для предприятий фармацевтической промышленности методические рекомендации по валидации методик анализа лекарственных средств под редакцией //М.: Издательство «Спорт и культура-2000», С. 10.

Information about authors:

Kudryakova Anna Vladimirovna – Head of Quality Control Department – Testing Laboratory of VIVA PHARM LLC (Almaty, Kazakhstan, e-mail: anna.kudryakova@vivapharm.kz).

Mukhataeva Karlygash Akparovna – PhD, Senior Lecturer, Department of Biotechnology, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: muhataeva-71@mail.ru).

Imanalina Sabina Amirlanovna – Head of the Microbiological Laboratory LLP “Pharmaceutical Company Medservice Plus” (Almaty, Kazakhstan, e-mail: Sabina.smile@mail.ru).

Ұлтанбекова Гүлнәр Дәулетбай қызы – б.ғ.к., әл-Фараби атындағы ҚазҰУ биотехнология кафедрасының аға оқытушысы (Алматы қ., Қазақстан, e-mail: ultanbekova77@mail.ru).

Сисемәлі Қуаныш Райымбекұлы – Магистр, биотехнология кафедрасы, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан, e-mail: kuanishsissemali@gmail.com).

Авторлар туралы мәлімет:

Кудрякова Анна Владимировна – Сапаны бақылау бөлімінің бастығы – «VIVA PHARM» жауапкершілігі шектеулі серіктестігінің сынақ зертханасы (Алматы, Қазақстан, e-mail: anna.kudryakova@vivapharm.kz)

Мұхатаева Қарлығаш Акпарқызы – б.ғ.д., аға оқытушы, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан, e-mail: muhataeva-71@mail.ru)

Иманалина Сабина Амирлановна – «КФК «Медсервис Плюс» ЖШС микробиологиялық зертханасының меңгерушісі (Алматы қ., Қазақстан, e-mail: Sabina.smile@mail.ru)

Ұлтанбекова Гүлнар Даулетбаевна – к.б.н., Ст.преподаватель, кафедра биотехнологии, Казахский национальный университет имени Аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: ultanbekova77@mail.ru)

Sissemaili Kuanysh Raiymbekuly – Master, Department of Biotechnology, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: kuanishsissemali@gmail.com)

Сведения об авторах:

Кудрякова Анна Владимировна – руководитель отдела контроля качества испытательной лаборатории ООО «VIVA PHARM» (Алматы, Казахстан, e-mail: anna.kudryakova@vivapharm.kz).

Мухатаева Карлыгаш Акпаровна – к. б. н., ст. преподаватель, кафедра биотехнологии, Казахский национальный университет имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: muhataeva-71@mail.ru).

Иманалина Сабина Амирлановна – заведующая микробиологической лабораторией ТОО «КФК «Медсервис Плюс» (Алматы, Казахстан, e-mail: Sabina.smile@mail.ru).

Ұлтанбекова Гүлнар Даулетбаевна – PhD, ст. преподаватель, кафедра биотехнологии, Казахский национальный университет имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: ultanbekova77@mail.ru).

Сисемали Куаныш Райымбекұлы – магистр, кафедра биотехнологии, Казахский национальный университет имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: kuanishsissemali@gmail.com).

*Received June 15, 2025
Accepted November 20, 2025*

ШОЛУ МАҚАЛАЛАР

REVIEW ARTICLES

ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ

B.D. Kossalbayev^{1*}, **A.M. Belkozhaev¹**, **A.O. Abaildayev¹**,
D.K. Kadirshe², **R.A. Turganova¹**, **R.N. Tuleyeva¹**,
G. Toleutay^{1,3}

¹ Geology and Oil-Gas Business Institute Named After K. Turyssov,
 Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

² S.D. Asfendiyarov Kazakh National Medical University, Almaty, Kazakhstan

³ Department of Chemistry, University of Tennessee, Knoxville, USA

*e-mail: kossalbayev.bekzhan@gmail.com

BACTERIAL CELLULOSE: ADVANCES AND CHALLENGES

Bacterial cellulose (BC) is a highly pure, crystalline biopolymer synthesized by a variety of microbial species, offering remarkable mechanical strength, high water-holding capacity, and excellent biocompatibility. These unique physicochemical properties have driven extensive research into BC-based materials for biomedical devices, wound dressings, tissue engineering scaffolds, controlled drug delivery systems, sustainable packaging, filtration membranes, and flexible or wearable electronics. Unlike plant-derived cellulose, BC is free from lignin, hemicellulose, and other biomass-associated impurities, resulting in a nanofibrillar network with high crystallinity and tunable porosity. However, despite its advantages, large-scale industrial utilization remains constrained by high production costs, slow fermentation rates, and challenges related to process scale-up and strain stability. Recent strategies to overcome these limitations include the optimization of culture media using agro-industrial residues, bioreactor engineering to enhance oxygen transfer and productivity, co-culture systems to boost metabolic efficiency, and genetic or synthetic biology approaches to reprogram biosynthetic pathways. Additionally, emerging applications such as BC-based composite materials, bioinks for 3D bioprinting, and functionalized scaffolds for regenerative medicine highlight the growing translational potential of BC research. This review provides an integrated overview of BC-producing microorganisms, technological bottlenecks, economic considerations, and current advances aimed at improving scalability, sustainability, and commercial viability. Finally, key outlooks for future innovations and industrial deployment are discussed.

Keywords: bacterial cellulose, biomass, biopolymer, sustainable packaging, agro-industrial by-products, scale-up.

Б.Д. Қосалбаев^{1*}, **А.М. Белкожаев¹**, **А.О. Абайлдаев¹**, **Д.К. Қадірше²**,
Р.А. Тұрғанова¹, **Р.Н. Түлеева¹**, **Г. Төлеутай^{1,3}**

¹ Геология және мұнай-газ ісі институты, Алматы, Қазақстан

² С.Д. Асфендияров атындағы Қазақ ұлттық медициналық, университеті, Алматы, Қазақстан

³ Теннесси университеті, Химия кафедрасы, Ноксвилл, АҚШ

*e-mail: kossalbayev.bekzhan@gmail.com

Бактериялық целлюлоза: жетістіктері мен қиындықтары

Бактериялық целлюлоза (БЦ) – әртүрлі микробтық түрлер арқылы синтезделетін жоғары тазалықтағы, кристалды құрылымды биополимер, ол ерекше механикалық беріктігімен, суды жоғары мөлшерде ұстау қабілетімен және тамаша биосәйкестік қасиеттерімен ерекшеленеді. Осындай бірегей физика-химиялық сипаттамалары БЦ негізіндегі материалдарды биомедициналық құрылғыларда, жара таңғыштарында, тіндік инженерияға арналған тірек құрылымдарында, бақыланатын дәрі жеткізу жүйелерінде, экологиялық тұрғыдан тұрақты орау материалдарында, сүзгілеу мембраналарында, сондай-ақ икемді және киілетін электроникада қолдануға кең мүмкіндік ашады. Өсімдік текті целлюлозадан айырмашылығы, БЦ құрамында лигнин, гемицеллюлоза және басқа да қоспалар болмайды, нәтижесінде жоғары кристалдылыққа ие наноталшықты құрылым түзіледі және оның кеуектілігі мен морфологиясын басқаруға болады. Дегенмен осы артықшылықтарына қарамастан, БЦ өндірудің кең ауқымды өнеркәсіптік қолданылуы жоғары өндірістік шығындармен, ферментацияның баяу жүруімен, штаммдардың тұрақтылығын қамтамасыз ету және процесті масштабтау қиындықтарымен шектеледі. Осы

бағытталған соңғы әдістемелерге агроөнеркәсіптік қалдықтарды қолдану арқылы қоректік орталарды оңтайландыру, оттегіні жеткізу мен өнімділікті арттыруға арналған биореактор инженериясы, метаболикалық үйлесімділікті күшейтетін ко-мәдениет жүйелері, сондай-ақ биосинтетикалық жолдарды қайта бағдарлауға мүмкіндік беретін генетикалық және синтетикалық биология тәсілдері жатады. Сонымен бірге БЦ негізіндегі композиттік материалдар, 3D биобаспаға арналған биоинктер және регенеративті медицинаға арналған функционалдандырылған матрицалар саласындағы жаңа бағыттар БЦ зерттеулерінің трансляциялық әлеуетінің артып келе жатқанын көрсетеді. Бұл шолуда БЦ өндіретін микроорганизмдер, технологиялық және экономикалық шектеулер, сондай-ақ масштабтау, тұрақтылық және коммерцияландыруды жақсартуға бағытталған қазіргі ғылыми жетістіктер жан-жақты қарастырылады.

Түйін сөздер: бактериялық целлюлоза, биомасса, биополимер, экологиялық орау, агроөнеркәсіптік жанама өнімдер, масштабтау.

Б.Д. Косалбаев^{1*}, А.М. Белкожаев¹, А.О. Абайлдаев¹, Д.К. Қадірше²,
Р.А. Турганова³, Р.Н. Түлеева⁴, Г. Толеутай¹

¹Институт геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова, Сатпаев университет, Алматы, Казахстан

²Казахский национальный медицинский университет им. С.Д. Асфендиярова,
Алматы, Казахстан

³Университет Лотарингии, Нанси, Франция

⁴Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

*e-mail: kossalbayev.bekzhan@gmail.com

Бактериальная целлюлоза: достижения и проблемы

Бактериальная целлюлоза (БЦ) представляет собой высокочистый, кристаллический биополимер, синтезируемый различными микроорганизмами и обладающий выдающейся механической прочностью, высокой влагоудерживающей способностью и превосходной биосовместимостью. Благодаря таким уникальным физико-химическим свойствам материалы на основе БЦ находят широкое применение в биомедицинских устройствах, раневых покрытиях, каркасах для тканевой инженерии, системах контролируемой доставки лекарств, экологически устойчивых упаковочных материалах, фильтрационных мембранах, а также в гибкой и носимой электронике. В отличие от растительной целлюлозы, БЦ не содержит лигнин, гемицеллюлозу и другие сопутствующие примеси, что обеспечивает формирование нанофибриллярной структуры с высокой степенью кристалличности и возможностью регулирования её пористости и морфологии. Несмотря на значительные преимущества, широкомасштабное промышленное производство БЦ ограничено высокими затратами на культивирование, медленной кинетикой ферментации, необходимостью поддержания стабильности продуцирующих штаммов и трудностями масштабирования технологических процессов. Для преодоления этих ограничений в последнее время активно развиваются подходы по оптимизации питательных сред с использованием агропромышленных побочных продуктов, инженерия биореакторов для улучшения передачи кислорода и повышения производительности, системы совместных культур для усиления метаболических потоков, а также методы генетической и синтетической биологии для перенастройки биосинтетических путей. Кроме того, перспективные направления включают создание композитных материалов на основе БЦ, разработку биочернил для 3D-биопечати и функционализированных матриц для регенеративной медицины. Данный обзор обобщает современные знания о микроорганизмах-продуцентах БЦ, технологических и экономических барьерах её производства, а также последних достижениях, направленных на повышение масштабируемости, устойчивости и коммерциализации данного биополимера.

Ключевые слова: бактериальная целлюлоза, биомасса, биополимер, экологичная упаковка, агропромышленные побочные продукты, масштабирование.

Abbreviations: BC – bacterial cellulose, EPS – exopolysaccharides, HS – Hestrin–Schramm medium, LCA – life cycle assessment

1. Introduction

Cellulose is the most abundant natural polymer on Earth, traditionally sourced from plant biomass [1]. However, bacterial cellulose (BC), first ob-

served by Adrian J. Brown in 1886, has emerged as a superior alternative due to its remarkable purity, unique nanofibrillar architecture, and exceptional physicochemical properties [2-4]. Unlike plant-derived cellulose, BC is synthesized free of lignin, hemicellulose, and other contaminants, resulting in a highly crystalline, ultra-fine fibril network with a degree of polymerization exceeding 10,000 units and crystallinity indices above 80% [5, 6]. These

structural advantages translate into a tensile strength typically ranging from 0.2 to 1.2 GPa and a Young's modulus of 15–35 GPa, while its water-holding capacity can exceed 1,000% of its dry weight, markedly outperforming conventional cellulose materials [7, 8].

Over the past two decades, research on BC has intensified, driven by its broad application potential [7]. In biomedical engineering, BC's biocompatibility and porous architecture have been harnessed for wound dressings that accelerate tissue regeneration and for vascular grafts capable of supporting endothelialization [8]. For instance, Czaja et al. (2007) demonstrated that BC membranes impregnated with silver nanoparticles exhibit potent antimicrobial activity [9], while Janmohammadi et al. (2022) reported BC-based scaffolds promoting osteoblast proliferation for bone tissue engineering [10]. In the realm of drug delivery, *in situ* functionalization of BC with pH-responsive polymers has enabled controlled release systems for chemotherapeutics, achieving sustained drug liberation over multiple days [11].

Beyond healthcare, the intrinsic flexibility and mechanical robustness of BC have spurred its integration into flexible electronics and sensors. Rashid et al. (2024) developed a BC–graphene composite as a highly sensitive strain sensor with a gauge factor above 200 [12], while Luo et al. (2019) fabricated a BC-based substrate for transparent, bendable electrodes in organic light-emitting diodes [13]. Filtration technologies have also benefited: Qi et al. (2017) engineered nanoporous BC membranes capable of sieving viruses and heavy-metal ions with over 99% removal efficiency under low pressure [14]. Sustainable packaging is another burgeoning field, where BC films reinforced with chitosan provide compostable, gas-barrier materials suitable for food preservation.

Despite these successes, commercialization of BC remains constrained by high upstream costs and scale-up complexities. Conventional Hestrin-Schramm (HS) medium, composed of glucose, yeast extract, and peptone, can account for over 60% of production expenses, while static culture methods yield only 1–2 g/L over 7–10 days [15]. To address this, recent studies have explored the valorization of agro-industrial residues. For example, Wu and Liu (2012) achieved BC titers of 10 g/L using thin stillage from ethanol distilleries [16], and Güzel et al. (2018) obtained 5.5 g/L on citrus peel hydrolysate with minimal pretreatment [17]. These approaches not only reduce raw-material costs by up to 70% but

also align BC production with circular bioeconomy principles.

Genetic and metabolic engineering strategies have further expanded BC productivity and functionality. Hur et al. (2018) used CRISPR interference to repress glucose dehydrogenase in *Komagataeibacter xylinus*, diverting carbon flux toward cellulose synthesis and increasing yields by 2.3-fold [18]. Advances in bioreactor design, such as airlift, rotating disk, and perfusion systems, have demonstrated volumetric productivities exceeding 5 g/L/day while maintaining fibril integrity [19]. Online process analytics for dissolved oxygen, pH, and redox potential have been employed to safeguard consistent quality across scales.

This review provides a system-level synthesis of the major BC producers and their metabolic traits, technical and economic bottlenecks and mitigation strategies, as well as future directions including biorefinery integration, BC-based bioinks, and life-cycle assessments. In contrast to previous reviews that typically focus on either material properties or production optimization in isolation, this work integrates microbial diversity, metabolic and genetic engineering approaches, co-culture strategies, the use of low-cost substrates, and scale-up considerations to support the advancement of BC production toward industrial implementation.

2. Optimization of BC production

Optimization of BC production involves improving strain performance, regulating metabolic pathways, and adjusting cultivation conditions to increase yield and material quality. Key strategies include selection or engineering of high-producing strains, co-culture approaches to enhance precursor supply, and process scale-up using low-cost substrates and controlled bioreactor environments (Figure 1).

2.1. Identification of potential cellulose-producing bacteria

A diverse array of bacterial genera have been identified and exploited for their BC-synthesizing capabilities, each offering unique advantages in terms of yield, fibril structure, and ease of cultivation [20].

Numerous studies have documented a remarkably diverse spectrum of bacterial (and even some protist) genera capable of synthesizing BC under a variety of conditions. Notably, *Komagataeibacter* sp., *Agrobacterium* sp. and *Enterobacter* sp. have all

been shown to produce substantial BC yields when grown on defined media [21]. In addition to these, several soil- and plant-associated microbes, such as *Rhizobium* sp. and *Lactobacillus* sp., have emerged as promising BC producers thanks to their ability to utilize complex carbon sources, as reported by Li et al. (2021) [22].

Going further back, early work by Carreira et al. (2011) identified *Sarcina* sp. as a source of amorphous cellulose with unique gel-forming properties [23], while Ye et al. (2019) demonstrated that *Acetobacter* sp. can generate highly crystalline BC suitable for electronic and biomedical applications [24]. More recently, Ghazali et al. (2021) expanded the roster of BC-synthesizers to include both *Azotobacter* sp. and the versatile *Pseudomonas* sp., underscoring the breadth of metabolic strategies bacteria employ to assemble nanofibrillar cellulose [25].

Beyond these well-studied groups, less conventional taxa have also been reported, including *Alcaligenes* sp. [27, 28] and additional *Gluconacetobacter* strains, which have been optimized for higher BC titers through medium engineering [29]. In contrast, *Leifsonia soli*, a soil-dwelling actinobacterium, has been reported to synthesize BC with unusually long fibrils, highlighting broader phylogenetic diversity among non-acetic acid BC producers [30, 31]. Moreover, photosynthetic Cyanobacteria and *Rhodococcus* sp. [26] have been shown to contribute to BC pools in mixed cultures, while Yim et al. (2017) described a marine-derived *Rhodobacter* sp. strain that forms robust pellicles under saline conditions [27]. Common to all these organisms is the ecological imperative to produce cellulose: it facilitates oxygen diffusion to cells for aerobic metabolism, offers protection against harmful ultraviolet radiation, and serves as a hydration reservoir in otherwise desiccating environments [28].

Komagataeibacter xylinus (formerly *Gluconacetobacter xylinus*) remains the model organism for BC production, owing to its high cellulose output and well-characterized operon [29]. In static culture, *K. xylinus* forms gelatinous pellicles at the air-liquid interface, while agitated cultures can yield irregular aggregates unless process parameters (e.g., shear stress, dissolved oxygen) are optimized [30]. Genetic tools have been developed to modulate expression of cellulose synthase genes, enabling the tuning of fibril diameter and crystallinity [31].

Other *Komagataeibacter* species, such as *K. hansenii* and *K. rhaeticus*, have demonstrated robust growth on agro-industrial residues, including fruit pomaces and crude glycerol, with BC yields comparable to those in HS medium [25, 32]. In particular, *K. hansenii* strains have been shown to produce uniform films on coffee cherry husk hydrolysate, highlighting the potential for valorizing waste streams [33].

Beyond acetic acid bacteria, genera such as *Rhizobium*, *Azotobacter*, and *Sarcina* have been explored for BC synthesis. *Rhizobium* sp. can generate both crystalline and amorphous cellulose matrices suitable for composite materials, while *Azotobacter vinelandii* can co-produce alginate and cellulose, offering dual biopolymer systems for advanced applications [6]. *Sarcina* spp. produce amorphous cellulose that has been investigated for biosensor backbones and immobilization matrices [34].

Recently, efforts to engineer *Escherichia coli* with BC synthase operons have enabled rapid genetic prototyping and the incorporation of non-native modifications, such as *in situ* functionalization with peptides or polysaccharides [35]. Although yields in recombinant hosts remain lower than native producers, synthetic biology approaches promise fine control over BC architecture and composition (Table 1).

Table 1 – Main bacteria actively used in BC production: substrates and culture conditions

Microorganism	Low-Cost Substrate	Cultivation Conditions	BC (g/L)	References
<i>Komagataeibacter xylinus</i>	Corn steep liquor is a byproduct of the maize wet-milling industry; it contains abundant amino acids, vitamins and minerals that support high-density bacterial growth and robust cellulose pellicle formation.	30 °C	12	[36]
<i>Komagataeibacter sucrofermentans</i> DSM15973	20 g/L pGLYC or 20 g/L cGLYC, 5 g/L YE, 5 g/L Pep, 1.1 g/L citric acid	30 °C	1.9	[37]

Continuation of the table

Microorganism	Low-Cost Substrate	Cultivation Conditions	BC (g/L)	References
<i>Gluconacetobacter xylinus</i>	Thin stillage is the liquid fraction remaining after ethanol distillation; it is rich in residual sugars, amino acids, and yeast nutrients, making it an economical feedstock for static pellicle production.	30 °C, static, 7 d	10	[16]
<i>Gluconacetobacter sacchari</i>	Dry olive mill residue comprises the solid waste from olive oil extraction, containing residual lipids, phenolic compounds and carbohydrates; after simple drying it can be used as a carbon and energy source for BC synthesis.	30 °C, static, 96 h	0.8	[38]
<i>Komagataeibacter rhaeticus</i> ENS9a	Pure glycerol (20 g/L); Crude glycerol (20 g/L)	30 °C, static, 96 h	2.6	[39]
<i>Gluconacetobacter hansenii</i>	Waste brewery yeast consists of spent yeast biomass from beer production; after mild acid or enzymatic hydrolysis it releases peptides, B-vitamins and polysaccharides that support high cellulose yields over a 14-day static culture.	30 °C, static, 14 d	7.0	[40]
<i>Gluconacetobacter xylinus</i>	Thin stillage wastewater from distilleries contains fermentable sugars and volatile organic acids; recycling this effluent reduces discharge costs while providing essential nutrients for a 7-day static pellicle.	30 °C, static, 7 d	6.6	[16]
<i>Gluconacetobacter xylinus</i>	Carob and haricot bean residues are agro-industrial legume wastes rich in complex carbohydrates and proteins; enzymatic or acid pretreatment breaks them down into fermentable sugars for static 9-day cellulose synthesis.	30 °C, static, 9 d	3.3	[41]
<i>Gluconacetobacter xylinus</i>	Lipid fermentation wastewater is an oily effluent from microbial oil production, rich in glycerol and free fatty acids that can replace pure carbon sources, though its high lipid content may require emulsification in a 5-day static setup.	28 °C, static, 5 d	0.63	[42]
<i>Gluconacetobacter xylinus</i> ATCC 10245	Crude distillery effluent is unconditioned waste from spirit production, containing ethanol	Static	10	[43]
<i>Gluconacetobacter oboediens</i>	Crude distillery effluent is unconditioned waste from spirit production, containing ethanol, residual sugars and minerals; simple filtration is sufficient to support an 8-day static BC fermentation.	30 °C, static, 8 d	8.2	[44]
<i>Gluconacetobacter xylinus</i>	Crude glycerol from biodiesel plants contains ~70–80% glycerol plus methanol and salts; after minimal purification it serves as an economical carbon source for 7-day static BC production.	30 °C, static, 7 d	12.4	[45]
<i>Komagataeibacter xylinus</i>	Sugarcane straw is the fibrous residue after harvest; dilute-acid or enzymatic pretreatment releases hemicellulosic sugars over a 15-day static culture, yielding moderate membrane growth.	30 °C, static, 15 d	5.0	[46]
<i>Komagataeibacter saccharivorans</i>	Crude distillery effluent, similar to other spirit wastes, provides residual sugars and minerals after simple clarification, enabling a 7-day static cellulose biosynthesis.	30 °C, static, 7 d	1.32	[47]
<i>Acetobacter pasteurianus</i>	Tomato juice is rich in glucose, fructose, organic acids and carotenoids, offering a sterile, nutrient-dense medium for 7-day BC production without supplementation.	30 °C, static, 7 d	7.96	[48]
<i>Gluconacetobacter xylinus</i>	A blend of sugar-beet molasses and cheese whey combines high sucrose and lactose levels with proteins and minerals, delivering a balanced carbon-nitrogen medium for a 14-day static culture.	28 °C, static, 14 d	18.6	[49]
<i>Komagataeibacter xylinus</i>	Mixed kitchen waste (vegetable and starch scraps) is homogenized and sterilized to yield a complex organic medium; over 15 days in static culture it generates moderate cellulose yields.	30 °C, static, 15 d	2.1	[50]

Continuation of the table

Microorganism	Low-Cost Substrate	Cultivation Conditions	BC (g/L)	References
<i>Gluconacetobacter xylinus</i>	Crude glycerol, identical to 2018 feedstock, again validated as a low-cost carbon source for a 7-day static culture, though yield can vary with glycerol purity.	30 °C, static, 7 d	2.96	[51]
<i>Gluconacetobacter xylinus</i>	A mixture of cashew apple juice and soybean molasses provides high sugar content plus trace nutrients; simple blending supports a 7-day static pellicle with good mechanical properties.	30 °C, static, 7 d	5.0	[52]
Symbiotic culture of bacteria and yeast (SCOBY)	Acerola juice is rich in vitamin C, simple sugars and organic acids; when fermented by a mixed bacterial – yeast consortium it yields a 10-day BC pellicle with enhanced antioxidant properties.	30 °C, static, 10 d	4.12	[53]

2.2 Genetic approaches

Genetic engineering has emerged as a powerful means to rewire and amplify BC biosynthesis, targeting both native producers and heterologous hosts. One strategy involves precise gene knock-outs to redirect metabolic flux: for example, deletion of the membrane-bound glucose dehydrogenase in *Komagataeibacter* resulted in a 2-fold boost in cellulose titers by preventing glucose diversion into gluconic acid [54]. Complementing loss-of-function mutations, promoter engineering and operon copy-number optimization have been used to elevate expression of the core cellulose synthase genes and their accessory factors. Buldum et al. (2018) demonstrated this in *Escherichia coli*, co-expressing the complete *bcs* operon alongside upstream glucanase under dual plasmid control, yielding a stable, reproducible chassis that lays the groundwork for further pathway refinement [55].

Building on these foundations, modern workflows integrate omics-guided metabolic flux analysis to pinpoint bottlenecks in precursor supply. Through ¹³C-labeling experiments and constraint-based modeling, researchers have identified limiting NADH regeneration and GTP availability as critical constraints, subsequently engineering overexpressed transhydrogenases and guanylate kinase to relieve these flux imbalances [56]. CRISPR interference platforms now enable fine-tuning of competing pathways – for instance, transient repression of phosphogluconate dehydratase channels more carbon toward UDP-Glc, the immediate substrate for cellulose synthase, yielding up to a 1.8-fold increase in BC in pilot bioreactors [57].

Adaptive laboratory evolution under selective pressures has been paired with whole-genome sequencing to isolate naturally occurring mutations

that confer both higher BC productivity and enhanced stress tolerance [58].

2.3 Co-culture approaches

Co-culture strategies have emerged as a versatile toolkit for amplifying both the yield and functionality of BC by leveraging metabolic complementarity among different microbes. In the pioneering work by Seto et al. (2006), co-cultivation of *Gluconacetobacter xylinus* st-60-12 with *Lactobacillus mali* st-20 in a 4% corn steep liquor (CSL)/sucrose medium yielded a threefold increase in BC production compared to monocultures [59]. Expanding on lactic acid bacteria partnerships, Jiang et al. (2023) demonstrated that pairing *Komagataeibacter nataicola* with *Lactobacillus fermentum* boosted titers from 2.5 to 13.8 g/L, a > 5-fold improvement, through enhanced $\beta(1\rightarrow4)$ -glucan synthase activity and organic acid-mediated flux activation [60]. Similarly, co-culture of *Bacillus cereus* with *K. xylinus* on corn stover enzymatic hydrolysate raised BC from 1.2 to 4.4 g/L, with acetoin and 2,3-butanediol from *B. cereus* driving increases in ATP and acetyl-CoA to fuel cellulose biosynthesis [60].

Beyond bacterial partnerships, exopolysaccharides (EPS) produced or added *in situ* can fine-tune BC's nanostructure and mechanics. Liu and Catchmark (2018) showed that supplementing *G. hansenii* cultures with 4–8 mg/L purified EPS from *Escherichia coli* ATCC 35860 integrated mannose-rich polymers into the cellulose network, boosting Young's modulus by 80% without altering crystallinity [61]. Brugnoli et al. (2023) engineered co-cultures of *Komagataeibacter* and hyaluronic acid-producing *Lactocaseibacillus* to fabricate BC–HA composites with BC yields reaching 3.4 g/L, embedding HA within the fibrillar matrix for potential biomedical scaffolds [62].

Cross-kingdom assemblies have further broadened co-culture possibilities. Caro-Astorga et al. (2021) established stable co-cultures of *Komagataeibacter rhaeticus* and *Saccharomyces cerevisiae*,

leveraging yeast-secreted enzymes to functionalize the cellulose during growth, enabling living BC materials with biosensing and biocatalytic functions [63].

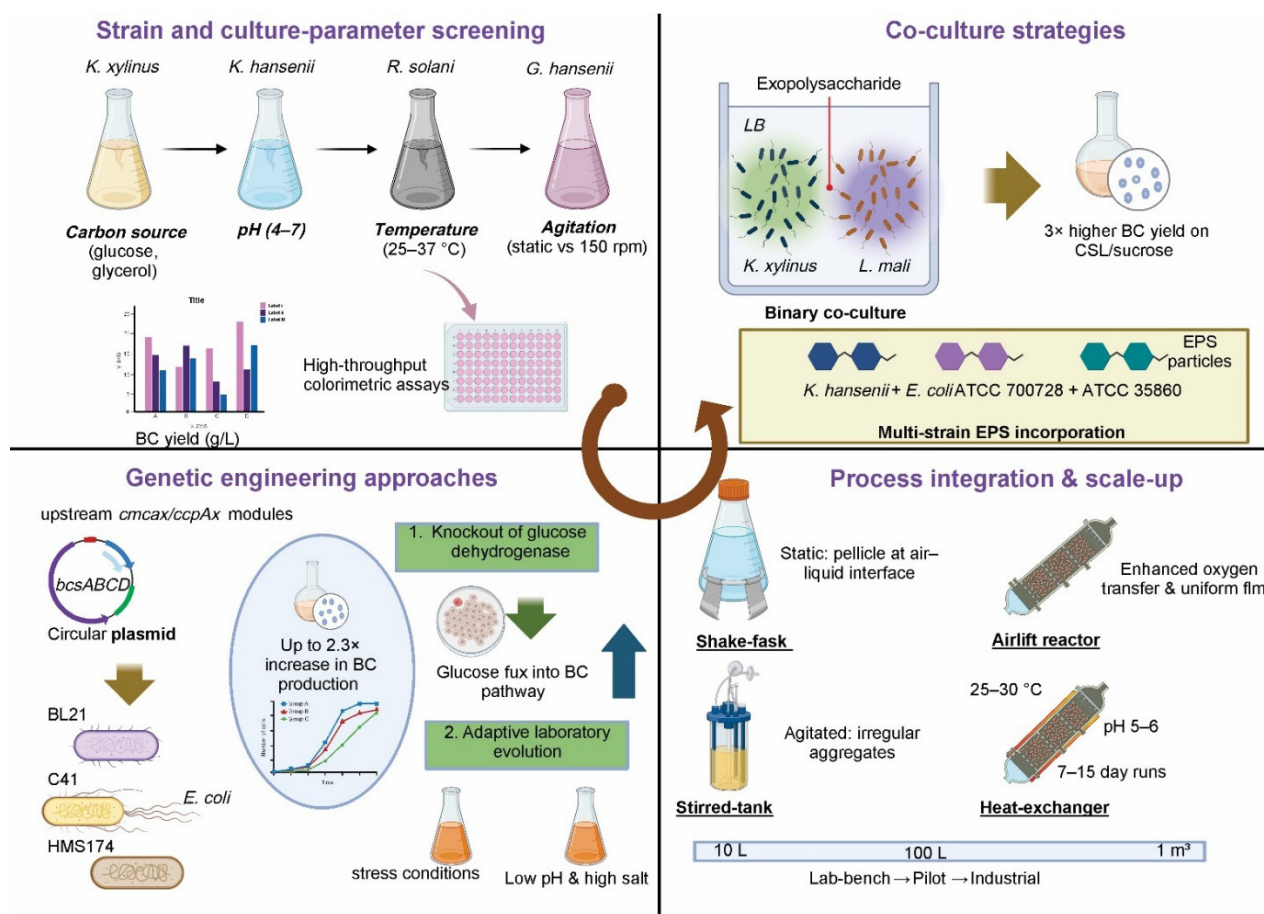


Figure 1 – Optimization of BC production. The workflow begins by screening diverse strains and culture parameters to pinpoint the highest-yielding BC producers. Next, targeted genetic modifications and adaptive evolution enhance their biosynthetic pathways and stress tolerance. Synergistic co-cultures exploit exopolysaccharide interactions to further boost cellulose output, and those optimized strains and conditions are then scaled from shake flasks into tailored bioreactor systems for industrial-grade production

The strategies summarized in Figure 1 highlight that successful enhancement of BC production requires a multilayered approach rather than reliance on a single intervention. Strain screening provides the foundational capacity for cellulose synthesis, but genetic engineering is often necessary to redirect carbon flux and improve pathway efficiency. Co-culture systems further expand metabolic capabilities by enabling complementary precursor supply or exopolysaccharide co-assembly. Ultimately, the effectiveness of these biological improvements depends on the integration of suitable cultivation modes and bioreactor configurations, particularly

with regard to oxygen transfer, pH control, and substrate economics. Thus, optimization of BC production is best understood as a coordinated workflow linking microbial design with scalable process engineering.

3. Main challenges and mitigation strategies

Despite the expanding toolbox of BC-producing microbes, several key challenges limit industrial scalability and economic viability. Table 2 summarizes these barriers alongside current mitigation strategies.

Table 2 – Key barriers and mitigation in BC production

Barrier	Impact	Mitigation strategies	References
High culture media Cost	HS medium ingredients are expensive; acidification leads to gluconic acid by-product.	Substitute with low-cost substrates; <i>in situ</i> pH control to minimize gluconic acid accumulation	[64, 65]
Low volumetric productivity	Static cultures limited to surface pellicle formation; shaking cultures suffer from shear-induced fragmentation.	Develop continuous or semi-continuous bioreactors with optimized aeration and mixing; use oxygen vectors to enhance dissolved oxygen	[66-68]
Strain variability and stability	Taxonomic reclassifications and undocumented strain IDs complicate reproducibility; plasmid-based genetic tools can be unstable.	Build standardized strain libraries with molecular barcoding; integrate cellulose operons chromosomally for genetic stability; employ CRISPR tools for precise genome edits	[68]
Scale-up complexity	Transitioning from flasks to industrial fermenters alters oxygen transfer, shear, and mass transfer characteristics.	Design modular scale-out systems; implement real-time process analytics; apply computational fluid dynamics to optimize reactor geometry	[69]
Sustainability and lifecycle	High water and energy consumption; limited end-of-life recycling pathways for BC composites.	Perform life cycle assessment (LCA) to guide process improvements; implement closed-loop water recycling; design compostable or enzymatically degradable BC materials	[70, 71]

High media cost

Research has demonstrated that agro-waste hydrolysates, such as sugarcane bagasse, fruit pomace, and crude glycerol from biodiesel production, can replace pure glucose at minimal yield penalties [8,18]. For instance, supplementation of spent sulfite liquor enabled *K. xylinus* to produce BC at 85% of HS yields, reducing raw material costs by over 60%. Coupling feedstock diversification with pH-stat fermentation can further suppress gluconic acid accumulation, maintaining metabolic flux toward cellulose synthesis [72-74].

Bioreactor design and process optimization

Bioreactor innovations have pivoted from static flasks to dynamic systems. Airlift reactors provide gentle mixing and enhanced oxygen transfer without damaging BC fibrils, while rotating disk reactors can produce tubular BC scaffolds with controlled porosity [75]. Advanced process control, leveraging online sensors and feedback loops for pH, dissolved oxygen, and redox potential, enables consistent product quality and higher volumetric productivity [76].

Genetic and synthetic biology

Chromosomal integration of the *bcs* operon under inducible promoters has stabilized high-yield phenotypes and allowed temporal control of cellulose synthesis [77]. Metabolic engineering to over-express UDP-Glc pyrophosphorylase and knock out competing pathways has increased precursor availability, resulting in up to 30% higher BC titers [78]. Heterologous expression in *E. coli* also facilitates

the incorporation of unnatural monomers for post-synthetic functionalization [79].

3.1 Future directions

As BC research matures, breakthroughs will increasingly hinge on interdisciplinary integration, melding microbial physiology with process engineering and advanced materials science. Below, we highlight five promising avenues that together can propel BC from laboratory curiosity to sustainable, high-value biomaterial platform.

Integrated biorefineries

Rather than viewing BC as a lone product, future processes should harness co-production of high-value metabolites, such as organic acids biosurfactants and nutraceuticals, in a single fermentation cascade. By coupling downstream separations to valorize each fraction, overall yield and revenue per unit feedstock can increase substantially. For example, feeding crude glycerol to a mixed *Komagataeibacter-Pseudomonas* consortium could generate BC pellicles while recovering rhamnolipids from the supernatant, enabling cost-effective glycerol remediation and dual-product biorefining [80].

3D printing and additive manufacturing

To meet the burgeoning demand for customized biomedical and wearable-electronics scaffolds, BC must be reformulated as a printable bioink with precisely tunable viscoelasticity. This will entail controlling nanofibril alignment and surface chemistry, through in-situ crosslinking agents or shear-directed assembly, to modulate shear thinning, yield stress and post-print shape fidelity. Advances in microex-

trusion printers and coaxial nozzles offer opportunities to embed live cells or conductive fillers directly during filament deposition, unlocking hierarchical, living constructs with integrated sensing or actuation functions [81].

Functional composite materials

Embedding functional moieties within the cellulose network during growth can create next-generation composites without post-fabrication coating steps. In-fermenter incorporation of monomers like aniline or pyrrole, followed by microbial or chemical polymerization, can yield BC-polyaniline or BC-polypyrrole films with intrinsic conductivity [82]. Seeding cultures with metal nanoparticle precursors plus mild reducing agents can produce uniform BC-metal nanocomposites for antimicrobial wound dressings or flexible electrodes. Stimuli-responsive additives, such as spiropyran or azobenzene derivatives, could confer light- or pH-switchable properties directly within the pellicle matrix [83].

Regulatory frameworks

To accelerate clinical trials and commercial uptake, the BC community must converge on standardized protocols for material characterization, mechanical testing and biocompatibility assays. Establishing ISO-aligned reference materials and round-robin interlaboratory studies will build confidence among regulators, enabling BC-based wound care products, implants and food additives to navigate approval pathways more efficiently [84].

Sustainability assessment

Rigorous LCA and techno-economic assessments are critical for guiding substrate choice, energy integration and downstream valorization. Comparing metrics such as global warming potential, water footprint and minimum selling price across feedstocks, from molasses and agro-residues to wastewaters, will identify sweet spots where environmental and economic benefits align. Incorporating renewable energy inputs and designing end-of-life strategies will ensure that large-scale BC production delivers genuine circular-bioeconomy outcomes [85, 86].

Conclusion

BC has progressed from a niche laboratory material to a leading candidate among next-generation biopolymers due to its exceptional physicochemical properties, including high mechanical strength, nanofibrillar purity, elasticity, and excellent biocompatibility. These attributes have enabled its integration into a wide range of fields, spanning biomedical applications such as wound dressings,

tissue engineering scaffolds, artificial skin substitutes, and controlled drug delivery systems, as well as environmentally conscious sectors such as biodegradable packaging, water purification membranes, and wearable or flexible electronic devices. Importantly, the ability to tailor BC's morphology and functionality through culture conditions, metabolic regulation, and composite formation provides a unique platform for manufacturing materials with application-specific performance. Despite these advantages, the widespread industrial deployment of BC remains limited by challenges in large-scale production, including relatively low volumetric productivity, high fermentation costs, sensitivity to shear stress, and difficulties in maintaining process reproducibility across reactors of increasing capacity. Recent advances in genetic engineering, adaptive laboratory evolution, and omics-guided metabolic optimization have begun to address these barriers by enhancing precursor supply, redirecting carbohydrate flux, and improving stress tolerance. Parallel progress in bioprocess engineering particularly continuous cultivation, airlift systems, and the valorization of agro-industrial residues as low-cost substrates contributes to cost reduction and sustainability. Looking forward, integrating BC production into circular biorefinery platforms, coupling biosynthesis with 3D bioprinting and additive manufacturing, and enabling in situ formation of multifunctional composites are likely to accelerate BC's transition from laboratory research to commercial-scale manufacturing. To support this transition, comprehensive life-cycle assessments, standardized material characterization protocols, and clear regulatory frameworks will be crucial in ensuring that BC fulfills its promise as a sustainable and industrially viable biomaterial.

Funding

This work was supported by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan under Grant No. BR27199103 titled "Development of Eco-Friendly Packaging Materials from Recyclable Paper and Biomass Waste with Adaptive and Enhanced Protective Properties".

Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge BioRender for providing the platform used to create the figure included in this review (Figure 1, License No. VB-28HQTWGU).

References

1. Brown Jr. R. M. Cellulose structure and biosynthesis: What is in store for the 21st century? // *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*. – 2004. – T. 42, № 3. – C. 487-495.
2. Brown R. M., Jr., Kudlicka K., Cousins S. K., Nagy R. Gravity effects on cellulose assembly // *Am J Bot.* – 1992. – T. 79, № 11. – C. 1247-58.
3. Brown A. J. XLIII.—On an acetic ferment which forms cellulose // *Journal of the Chemical Society, Transactions*. – 1886. – T. 49, № 0. – C. 432-439.
4. Wang J., Tavakoli J., Tang Y. Bacterial cellulose production, properties and applications with different culture methods – A review // *Carbohydr Polym.* – 2019. – T. 219. – C. 63-76.
5. Troncoso O. P., Torres F. G. Bacterial Cellulose—Graphene Based Nanocomposites // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2020. – T. 21, № 18. – C. 6532.
6. Iguchi M., Yamanaka S., Budhiono A. Bacterial cellulose—a masterpiece of nature's arts // *Journal of Materials Science*. – 2000. – T. 35, № 2. – C. 261-270.
7. Ul-Islam M., Khan T., Park J. K. Nanoreinforced bacterial cellulose–montmorillonite composites for biomedical applications // *Carbohydrate Polymers*. – 2012. – T. 89, № 4. – C. 1189-1197.
8. Shemesh M., Zilberman M. Structure-property effects of novel bioresorbable hybrid structures with controlled release of analgesic drugs for wound healing applications // *Acta Biomater.* – 2014. – T. 10, № 3. – C. 1380-91.
9. Czaja W., Krystynowicz A., Bielecki S., Brown R. M., Jr. Microbial cellulose—the natural power to heal wounds // *Biomaterials*. – 2006. – T. 27, № 2. – C. 145-51.
10. Janmohammadi M., Nazemi Z., Salehi A. O. M., Seyfoori A., John J. V., Nourbakhsh M. S., Akbari M. Cellulose-based composite scaffolds for bone tissue engineering and localized drug delivery // *Bioact Mater.* – 2023. – T. 20. – C. 137-163.
11. Wang B., Hu S., Teng Y., Chen J., Wang H., Xu Y., Wang K., Xu J., Cheng Y., Gao X. Current advance of nanotechnology in diagnosis and treatment for malignant tumors // *Signal Transduction and Targeted Therapy*. – 2024. – T. 9, № 1. – C. 200.
12. Rashid A. B., Kafy A., Kabir N., Ishrak H., Rifat F. F. Cellulose Nanofibers/Reduced Graphene Oxide Nanocomposites for Humidity Sensor // *International Journal of Polymer Science*. – 2024. – T. 2024, № 1. – C. 2937816.
13. Luo H., Xie J., Xiong L., Zhu Y., Yang Z., Wan Y. Fabrication of flexible, ultra-strong, and highly conductive bacterial cellulose-based paper by engineering dispersion of graphene nanosheets // *Composites Part B: Engineering*. – 2019. – T. 162. – C. 484-490.
14. Qi F., Qi B., Cui Z., Chen X., Wan Y., Luo J. Cellulose-based separation membranes: A sustainable evolution or fleeting trend? // *Advanced Membranes*. – 2025. – T. 5. – C. 100153.
15. Hestrin S., Schramm M. Synthesis of cellulose by *Acetobacter xylinum*. II. Preparation of freeze-dried cells capable of polymerizing glucose to cellulose // *Biochem J.* – 1954. – T. 58, № 2. – C. 345-52.
16. Wu J.-M., Liu R.-H. Thin stillage supplementation greatly enhances bacterial cellulose production by *Gluconacetobacter xylinus* // *Carbohydrate Polymers*. – 2012. – T. 90, № 1. – C. 116-121.
17. Güzel M., Akpınar Ö. Production and Characterization of Bacterial Cellulose from Citrus Peels // *Waste and Biomass Valorization*. – 2019. – T. 10, № 8. – C. 2165-2175.
18. Hur D. H., Choi W. S., Kim T. Y., Lee S. Y., Park J. H., Jeong K. J. Enhanced Production of Bacterial Cellulose in *Komagataeibacter xylinus* Via Tuning of Biosynthesis Genes with Synthetic RBS // *J Microbiol Biotechnol.* – 2020. – T. 30, № 9. – C. 1430-1435.
19. Fernandes I. d. A. A., Pedro A. C., Ribeiro V. R., Bortolini D. G., Ozaki M. S. C., Maciel G. M., Haminiuk C. W. I. Bacterial cellulose: From production optimization to new applications // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2020. – T. 164. – C. 2598-2611.
20. Klemm D., Heublein B., Fink H.-P., Bohn A. Cellulose: Fascinating Biopolymer and Sustainable Raw Material // *Angeordnete Chemie International Edition*. – 2005. – T. 44, № 22. – C. 3358-3393.
21. Lu T., Gao H., Liao B., Wu J., Zhang W., Huang J., Liu M., Huang J., Chang Z., Jin M., Yi Z., Jiang D. Characterization and optimization of production of bacterial cellulose from strain CGMCC 17276 based on whole-genome analysis // *Carbohydrate Polymers*. – 2020. – T. 232. – C. 115788.
22. Li W., Zhang S., Zhang T., Shen Y., Han L., Peng Z., Xie Z., Zhong C., Jia S. Bacterial cellulose production from ethylenediamine pretreated *Caragana korshinskii* Kom // *Industrial Crops and Products*. – 2021. – T. 164. – C. 113340.
23. Carreira P., Mendes J. A. S., Trovatti E., Serafim L. S., Freire C. S. R., Silvestre A. J. D., Neto C. P. Utilization of residues from agro-forest industries in the production of high value bacterial cellulose // *Bioresource Technology*. – 2011. – T. 102, № 15. – C. 7354-7360.
24. Ye J., Zheng S., Zhang Z., Yang F., Ma K., Feng Y., Zheng J., Mao D., Yang X. Bacterial cellulose production by *Acetobacter xylinum* ATCC 23767 using tobacco waste extract as culture medium // *Bioresource Technology*. – 2019. – T. 274. – C. 518-524.
25. Ghozali M., Meliana Y., Chalid M. Synthesis and characterization of bacterial cellulose by *Acetobacter xylinum* using liquid tapioca waste // *Materials Today: Proceedings*. – 2021. – T. 44. – C. 2131-2134.
26. Khan H., Kadam A., Dutt D. Studies on bacterial cellulose produced by a novel strain of *Lactobacillus* genus // *Carbohydrate Polymers*. – 2020. – T. 229. – C. 115513.
27. Yim S. M., Song J. E., Kim H. R. Production and characterization of bacterial cellulose fabrics by nitrogen sources of tea and carbon sources of sugar // *Process Biochemistry*. – 2017. – T. 59. – C. 26-36.

28. Quintana-Quirino M., Morales-Osorio C., Viguera Ramírez G., Vázquez-Torres H., Shirai K. Bacterial cellulose grows with a honeycomb geometry in a solid-state culture of *Gluconacetobacter xylinus* using polyurethane foam support // *Process Biochemistry*. – 2019. – T. 82. – C. 1-9.
29. Singhania R. R., Patel A. K., Tsai M. L., Chen C. W., Di Dong C. Genetic modification for enhancing bacterial cellulose production and its applications // *Bioengineered*. – 2021. – T. 12, № 1. – C. 6793-6807.
30. Jonas R., Farah L. F. Production and application of microbial cellulose // *Polymer Degradation and Stability*. – 1998. – T. 59, № 1. – C. 101-106.
31. Florea M., Hagemann H., Santosa G., Abbott J., Micklem C. N., Spencer-Milnes X., de Arroyo Garcia L., Paschou D., Lazenbutt C., Kong D., Chughtai H., Jensen K., Freemont P. S., Kitney R., Reeve B., Ellis T. Engineering control of bacterial cellulose production using a genetic toolkit and a new cellulose-producing strain // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2016. – T. 113, № 24. – C. E3431-E3440.
32. Rodrigues D. M., da Silva M. F., Almeida F. L. C., de Mélo A. H. F., Forte M. B. S., Martin C., Barud H. d. S., Baudel H. M., Goldbeck R. A green approach to biomass residue valorization: Bacterial nanocellulose production from agro-industrial waste // *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. – 2024. – T. 56. – C. 103036.
33. Morais K. D. S., Guilherme E. P. X., Menezes B. D. S., Forte M. B. S., Leal P. L., Aguiar-Oliveira E. Study of the pretreatment and hydrolysis of a mixture of coffee husk, cowpea bean husk and cocoa pod for bacterial cellulose production // *Bioprocess Biosyst Eng*. – 2025. – T. 48, № 6. – C. 993-1006.
34. Czaja W. K., Young D. J., Kawecki M., Brown R. M., Jr. The future prospects of microbial cellulose in biomedical applications // *Biomacromolecules*. – 2007. – T. 8, № 1. – C. 1-12.
35. Buldum G., Bismarck A., Mantalaris A. Recombinant biosynthesis of bacterial cellulose in genetically modified *Escherichia coli* // *Bioprocess Biosyst Eng*. – 2018. – T. 41, № 2. – C. 265-279.
36. Bae S., Sugano Y., Shoda M. Improvement of bacterial cellulose production by addition of agar in a jar fermentor // *Journal of Bioscience and Bioengineering*. – 2004. – T. 97, № 1. – C. 33-38.
37. Lee S., Abraham A., Lim A. C. S., Choi O., Seo J. G., Sang B.-I. Characterisation of bacterial nanocellulose and nanostructured carbon produced from crude glycerol by *Komagataeibacter sucrofermentans* // *Bioresource Technology*. – 2021. – T. 342. – C. 125918.
38. Gomes F. P., Silva N. H. C. S., Trovatti E., Serafim L. S., Duarte M. F., Silvestre A. J. D., Neto C. P., Freire C. S. R. Production of bacterial cellulose by *Gluconacetobacter sacchari* using dry olive mill residue // *Biomass and Bioenergy*. – 2013. – T. 55. – C. 205-211.
39. Mangayil R., Rissanen A. J., Pammo A., Guizelini D., Losoi P., Sarlin E., Tuukkanen S., Santala V. Characterization of a novel bacterial cellulose producer for the production of eco-friendly piezoelectric-responsive films from a minimal medium containing waste carbon // *Cellulose*. – 2021. – T. 28, № 2. – C. 671-689.
40. Lin D., Lopez-Sanchez P., Li R., Li Z. Production of bacterial cellulose by *Gluconacetobacter hansenii* CGMCC 3917 using only waste beer yeast as nutrient source // *Bioresource Technology*. – 2014. – T. 151. – C. 113-119.
41. Bilgi E., Bayir E., Sendemir-Urkmez A., Hames E. E. Optimization of bacterial cellulose production by *Gluconacetobacter xylinus* using carob and haricot bean // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2016. – T. 90. – C. 2-10.
42. Huang C., Guo H.-J., Xiong L., Wang B., Shi S.-L., Chen X.-F., Lin X.-Q., Wang C., Luo J., Chen X.-D. Using wastewater after lipid fermentation as substrate for bacterial cellulose production by *Gluconacetobacter xylinus* // *Carbohydrate Polymers*. – 2016. – T. 136. – C. 198-202.
43. Kim S.-Y., Kim J.-N., Wee Y.-J., Park D.-H., Ryu H.-W. Production of bacterial cellulose by *Gluconacetobacter* sp. RKY5 isolated from persimmon vinegar // *Applied Biochemistry and Biotechnology*. – 2006. – T. 131, № 1. – C. 705-715.
44. Jahan F., Kumar V., Saxena R. K. Distillery effluent as a potential medium for bacterial cellulose production: A biopolymer of great commercial importance // *Bioresource Technology*. – 2018. – T. 250. – C. 922-926.
45. Soemphol W., Hongsachart P., Tanamool V. Production and characterization of bacterial cellulose produced from agricultural by-product by *Gluconacetobacter* strains // *Materials Today: Proceedings*. – 2018. – T. 5, № 5, Part 1. – C. 11159-11168.
46. Dhar P., Pratto B., Gonçalves Cruz A. J., Bankar S. Valorization of sugarcane straw to produce highly conductive bacterial cellulose / graphene nanocomposite films through in situ fermentation: Kinetic analysis and property evaluation // *Journal of Cleaner Production*. – 2019. – T. 238. – C. 117859.
47. Gayathri G., Srinikethan G. Bacterial Cellulose production by *K. saccharivorans* BC1 strain using crude distillery effluent as cheap and cost effective nutrient medium // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2019. – T. 138. – C. 950-957.
48. Kumar V., Sharma D. K., Bansal V., Mehta D., Sangwan R. S., Yadav S. K. Efficient and economic process for the production of bacterial cellulose from isolated strain of *Acetobacter pasteurianus* of RSV-4 bacterium // *Bioresource Technology*. – 2019. – T. 275. – C. 430-433.
49. Salari M., Sowti Khiabani M., Rezaei Mokarram R., Ghanbarzadeh B., Samadi Kafil H. Preparation and characterization of cellulose nanocrystals from bacterial cellulose produced in sugar beet molasses and cheese whey media // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2019. – T. 122. – C. 280-288.
50. Wu M., Chen W., Hu J., Tian D., Shen F., Zeng Y., Yang G., Zhang Y., Deng S. Valorizing kitchen waste through bacterial cellulose production towards a more sustainable biorefinery // *Science of The Total Environment*. – 2019. – T. 695. – C. 133898.
51. Dikshit P. K., Kim B. S. Bacterial cellulose production from biodiesel-derived crude glycerol, magnetic functionalization, and its application as carrier for lipase immobilization // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2020. – T. 153. – C. 902-911.

52. Souza E. F., Furtado M. R., Carvalho C. W. P., Freitas-Silva O., Gottschalk L. M. F. Production and characterization of *Gluconacetobacter xylinus* bacterial cellulose using cashew apple juice and soybean molasses // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2020. – T. 146. – C. 285-289.
53. Leonarski E., Cesca K., Zanella E., Stambuk B. U., de Oliveira D., Poletto P. Production of kombucha-like beverage and bacterial cellulose by acerola byproduct as raw material // *LWT*. – 2021. – T. 135. – C. 110075.
54. Zhang H., Ye C., Xu N., Chen C., Chen X., Yuan F., Xu Y., Yang J., Sun D. Reconstruction of a Genome-scale Metabolic Network of *Komagataeibacter nataicola* RZS01 for Cellulose Production // *Scientific Reports*. – 2017. – T. 7, № 1. – C. 7911.
55. Imai T., Sun S., Horikawa Y., Wada M., Sugiyama J. Functional Reconstitution of Cellulose Synthase in *Escherichia coli* // *Biomacromolecules*. – 2014. – T. 15, № 11. – C. 4206-4213.
56. Bordbar A., Monk J. M., King Z. A., Palsson B. O. Constraint-based models predict metabolic and associated cellular functions // *Nature Reviews Genetics*. – 2014. – T. 15, № 2. – C. 107-120.
57. Kim G., Kim H. J., Kim K., Kim H. J., Yang J., Seo S. W. Tunable translation-level CRISPR interference by dCas13 and engineered gRNA in bacteria // *Nature Communications*. – 2024. – T. 15, № 1. – C. 5319.
58. Tonoyan L., Fleming G. T. A., Friel R., O'Flaherty V. Continuous culture of *Escherichia coli*, under selective pressure by a novel antimicrobial complex, does not result in development of resistance // *Scientific Reports*. – 2019. – T. 9, № 1. – C. 2401.
59. Seto A., Saito Y., Matsushige M., Kobayashi H., Sasaki Y., Tonouchi N., Tsuchida T., Yoshinaga F., Ueda K., Beppu T. Effective cellulose production by a coculture of *Gluconacetobacter xylinus* and *Lactobacillus mali* // *Applied Microbiology and Biotechnology*. – 2006. – T. 73, № 4. – C. 915-921.
60. Jiang H., Song Z., Hao Y., Hu X., Lin X., Liu S., Li C. Effect of co-culture of *Komagataeibacter nataicola* and selected *Lactobacillus fermentum* on the production and characterization of bacterial cellulose // *LWT*. – 2023. – T. 173. – C. 114224.
61. Liu K., Catchmark J. M. Enhanced mechanical properties of bacterial cellulose nanocomposites produced by co-culturing *Gluconacetobacter hansenii* and *Escherichia coli* under static conditions // *Carbohydr Polym*. – 2019. – T. 219. – C. 12-20.
62. Brugnoli M., Mazzini I., La China S., De Vero L., Gullo M. A Microbial Co-Culturing System for Producing Cellulose-Hyaluronic Acid Composites // *Microorganisms*. – 2023. – T. 11, № 6.
63. Gilbert C., Tang T. C., Ott W., Dorr B. A., Shaw W. M., Sun G. L., Lu T. K., Ellis T. Living materials with programmable functionalities grown from engineered microbial co-cultures // *Nat Mater*. – 2021. – T. 20, № 5. – C. 691-700.
64. Parchaykina M. V., Liyaskina E. V., Bogatyreva A. O., Baykov M. A., Gotina D. S., Arzhanov N. E., Netrusov A. I., Revin V. V. Cost-Effective Production of Bacterial Cellulose and Tubular Materials by Cultivating *Komagataeibacter sucrofermentans* B-11267 on a Molasses Medium // *Polymers*. – 2025. – T. 17, № 2. – C. 179.
65. Rivas B., Moldes A. B., Dominguez J. M., Parajó J. C. Development of culture media containing spent yeast cells of *Debaryomyces hansenii* and corn steep liquor for lactic acid production with *Lactobacillus rhamnosus* // *International Journal of Food Microbiology*. – 2004. – T. 97, № 1. – C. 93-98.
66. Donlan R. M., Costerton J. W. Biofilms: survival mechanisms of clinically relevant microorganisms // *Clin Microbiol Rev*. – 2002. – T. 15, № 2. – C. 167-93.
67. Lee K.-Y., Buldum G., Mantalaris A., Bismarck A. More Than Meets the Eye in Bacterial Cellulose: Biosynthesis, Bioprocessing, and Applications in Advanced Fiber Composites // *Macromolecular Bioscience*. – 2014. – T. 14, № 1. – C. 10-32.
68. Gupta P., Pruthi P. A., Pruthi V. Role of Exopolysaccharides in Biofilm Formation // *Introduction to Biofilm Engineering* American Chemical Society, 2019. – C. 17-57.
69. Seletzky J. M., Noak U., Fricke J., Welk E., Eberhard W., Knocke C., Büchs J. Scale-up from shake flasks to fermenters in batch and continuous mode with *Corynebacterium glutamicum* on lactic acid based on oxygen transfer and pH // *Biotechnol Bioeng*. – 2007. – T. 98, № 4. – C. 800-11.
70. Geraghty R., Graham-Jones J., Pemberton R., Summerscales J., Bray S. Sustainability considerations for end-of-life fibre-reinforced plastic boats // *Regional Studies in Marine Science*. – 2025. – T. 83. – C. 104054.
71. Hermansson F., Ekvall T., Janssen M., Svanström M. Allocation in recycling of composites – the case of life cycle assessment of products from carbon fiber composites // *The International Journal of Life Cycle Assessment*. – 2022. – T. 27, № 3. – C. 419-432.
72. Lasagni F., Cassanelli S., Gullo M. How carbon sources drive cellulose synthesis in two *Komagataeibacter xylinus* strains // *Scientific Reports*. – 2024. – T. 14, № 1. – C. 20494.
73. Quijano L., Rodrigues R., Fischer D., Tovar-Castro J. D., Payne A., Navone L., Hu Y., Yan H., Pinmanee P., Poon E., Yang J., Barro E. Bacterial cellulose cookbook: A systematic review on sustainable and cost-effective substrates // *Journal of Bioresources and Bioproducts*. – 2024. – T. 9, № 4. – C. 379-409.
74. Przygodzka K., Chareża M., Banaszek A., Zielińska B., Ekiert E., Drozd R. Bacterial Cellulose Production by *Komagataeibacter xylinus* with the Use of Enzyme-Degraded Oligo- and Polysaccharides as the Substrates // *Applied Sciences*. – 2022. – T. 12, № 24. – C. 12673.
75. Palladino F., Marcelino P. R. F., Schlogl A. E., José Á. H. M., Rodrigues R. d. C. L. B., Fabrino D. L., Santos I. J. B., Rosa C. A. Bioreactors: Applications and Innovations for a Sustainable and Healthy Future—A Critical Review // *Applied Sciences*. – 2024. – T. 14, № 20. – C. 9346.
76. Merchuk J. C. Airlift Bioreactors: Review of Recent Advances // *The Canadian Journal of Chemical Engineering*. – 2003. – T. 81, № 3-4. – C. 324-337.
77. Wong H. C., Fear A. L., Calhoon R. D., Eichinger G. H., Mayer R., Amikam D., Benziman M., Gelfand D. H., Meade J. H., Emerick A. W., et al. Genetic organization of the cellulose synthase operon in *Acetobacter xylinum* // *Proc Natl Acad Sci U S A*. – 1990. – T. 87, № 20. – C. 8130-4.

78. Ryngajłło M., Jędrzejczak-Krzepkowska M., Kubiak K., Ludwicka K., Bielecki S. Towards control of cellulose biosynthesis by *Komagataeibacter* using systems-level and strain engineering strategies: current progress and perspectives // *Appl Microbiol Biotechnol.* – 2020. – T. 104, № 15. – C. 6565-6585.
79. Liu Y., Lee C., Li F., Trček J., Bähre H., Guo R.-T., Chen C.-C., Chernobrovkin A., Zubarev R., Römmling U. A Cyclic di-GMP Network Is Present in Gram-Positive *Streptococcus* and Gram-Negative *Proteus* Species // *ACS Infectious Diseases.* – 2020. – T. 6, № 10. – C. 2672-2687.
80. Andhalkar V. V., Foong S. Y., Kee S. H., Lam S. S., Chan Y. H., Djellabi R., Bhubalan K., Medina F., Constantí M. Integrated Biorefinery Design with Techno-Economic and Life Cycle Assessment Tools in Polyhydroxyalkanoates Processing // *Macromolecular Materials and Engineering.* – 2023. – T. 308, № 11. – C. 2300100.
81. Sharma C., Raza M. A., Purohit S. D., Pathak P., Gautam S., Corridon P. R., Han S. S. Cellulose-based 3D printing bio-inks for biomedical applications: A review // *International Journal of Biological Macromolecules.* – 2025. – T. 305. – C. 141174.
82. Dhar P., Etula J., Bankar S. B. In Situ Bioprocessing of Bacterial Cellulose with Graphene: Percolation Network Formation, Kinetic Analysis with Physicochemical and Structural Properties Assessment // *ACS Applied Bio Materials.* – 2019. – T. 2, № 9. – C. 4052-4066.
83. Gao M., Li J., Bao Z., Hu M., Nian R., Feng D., An D., Li X., Xian M., Zhang H. A natural in situ fabrication method of functional bacterial cellulose using a microorganism // *Nature Communications.* – 2019. – T. 10, № 1. – C. 437.
84. Skiba E. A., Gladysheva E. K., Golubev D. S., Budaeva V. V., Aleshina L. A., Sakovich G. V. Self-standardization of quality of bacterial cellulose produced by *Medusomyces gisevii* in nutrient media derived from *Miscanthus* biomass // *Carbohydrate Polymers.* – 2021. – T. 252. – C. 117178.
85. Osman A. I., Fang B., Zhang Y., Liu Y., Yu J., Farghali M., Rashwan A. K., Chen Z., Chen L., Ihara I., Rooney D. W., Yap P.-S. Life cycle assessment and techno-economic analysis of sustainable bioenergy production: a review // *Environmental Chemistry Letters.* – 2024. – T. 22, № 3. – C. 1115-1154.
86. Silva F. A. G. S., Branco S., Dourado F., Neto B., Gama M. Life cycle assessment of bacterial cellulose and comparison to other cellulosic sources // *Journal of Cleaner Production.* – 2025. – T. 493. – C. 144876.

References

1. Andhalkar V. V., Foong S. Y., Kee S. H., Lam S. S., Chan Y. H., Djellabi R., Bhubalan K., Medina F., Constantí M. Integrated Biorefinery Design with Techno-Economic and Life Cycle Assessment Tools in Polyhydroxyalkanoates Processing // *Macromolecular Materials and Engineering.* 2023. Vol. 308, No. 11. P. 2300100.
2. Bae S., Sugano Y., Shoda M. Improvement of bacterial cellulose production by addition of agar in a jar fermentor // *Journal of Bioscience and Bioengineering.* 2004. Vol. 97, No. 1. P. 33-38.
3. Bilgi E., Bayir E., Sendemir-Urkmek A., Hames E. E. Optimization of bacterial cellulose production by *Gluconacetobacter xylinus* using carob and haricot bean // *International Journal of Biological Macromolecules.* 2016. Vol. 90. P. 2-10.
4. Bordbar A., Monk J. M., King Z. A., Palsson B. O. Constraint-based models predict metabolic and associated cellular functions // *Nature Reviews Genetics.* 2014. Vol. 15, No. 2. P. 107-120.
5. Brown A. J. XLIII. On an acetic ferment which forms cellulose // *Journal of the Chemical Society, Transactions.* 1886. Vol. 49. P. 432-439.
6. Brown Jr. R. M. Cellulose structure and biosynthesis: What is in store for the 21st century? // *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry.* 2004. Vol. 42, No.3. P. 487-495.
7. Brown R. M., Jr., Kudlicka K., Cousins S. K., Nagy R. Gravity effects on cellulose assembly // *American Journal of Botany.* 1992. Vol. 79, No. 11. P. 1247-58.
8. Brugnoli M., Mazzini I., La China S., De Vero L., Gullo M. A Microbial Co-Culturing System for Producing Cellulose-Hyaluronic Acid Composites // *Microorganisms.* 2023. Vol. 11, No. 6.
9. Buldum G., Bismarck A., Mantalaris A. Recombinant biosynthesis of bacterial cellulose in genetically modified *Escherichia coli* // *Bioprocess Biosyst Eng.* 2018. Vol. 41, No. 2. P. 265-279.
10. Carreira P., Mendes J. A. S., Trovatti E., Serafim L. S., Freire C. S. R., Silvestre A. J. D., Neto C. P. Utilization of residues from agro-forest industries in the production of high value bacterial cellulose // *Bioresource Technology.* 2011. Vol. 102, No. 15. P. 7354-7360.
11. Czaja W. K., Young D. J., Kawecki M., Brown R. M., Jr. The future prospects of microbial cellulose in biomedical applications // *Biomacromolecules.* 2007. Vol. 8, No. 1. P. 1-12.
12. Czaja W., Krystynowicz A., Bielecki S., Brown R. M., Jr. Microbial cellulose, the natural power to heal wounds // *Biomaterials.* 2006. Vol. 27, No. 2. P. 145-151.
13. Dhar P., Etula J., Bankar S. B. In Situ Bioprocessing of Bacterial Cellulose with Graphene... // *ACS Applied Bio Materials.* 2019. Vol. 2, No. 9. P. 4052-4066.
14. Dhar P., Pratto B., Gonçalves Cruz A. J., Bankar S. Valorization of sugarcane straw to produce highly conductive bacterial cellulose / graphene nanocomposite films... // *Journal of Cleaner Production.* 2019. Vol. 238. P. 117859.
15. Dikshit P. K., Kim B. S. Bacterial cellulose production from biodiesel-derived crude glycerol, magnetic functionalization, and its application as carrier for lipase immobilization // *International Journal of Biological Macromolecules.* 2020. Vol. 153. P. 902-911.
16. Donlan R. M., Costerton J. W. Biofilms: survival mechanisms of clinically relevant microorganisms // *Clin Microbiol Rev.* 2002. Vol. 15, No. 2. P. 167-93.

17. Fernandes I. d. A. A., Pedro A. C., Ribeiro V. R., Bortolini D. G., Ozaki M. S. C., Maciel G. M., Haminiuk C. W. I. Bacterial cellulose: From production optimization to new applications // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020. Vol. 164. P. 2598-2611.
18. Florea M., Hagemann H., Santosa G., Abbott J., Micklem C. N., Spencer-Milnes X., et al. Engineering control of bacterial cellulose production... // *PNAS*. 2016. Vol. 113, No. 24. P. E3431-E3440.
19. Gao M., Li J., Bao Z., Hu M., Nian R., Feng D., et al. A natural in situ fabrication method of functional bacterial cellulose... // *Nature Communications*. 2019. Vol. 10, No. 1. P. 437.
20. Gayathri G., Srinikethan G. Bacterial Cellulose production by *K. saccharivorans* BC1 strain using crude distillery effluent... // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2019. Vol. 138. P. 950-957.
21. Geraghty R., Graham-Jones J., Pemberton R., Summerscales J., Bray S. Sustainability considerations for end-of-life fibre-reinforced plastic boats // *Regional Studies in Marine Science*. 2025. Vol. 83. P. 104054.
22. Ghazali M., Meliana Y., Chalid M. Synthesis and characterization of bacterial cellulose... // *Materials Today: Proceedings*. 2021. Vol. 44. P. 2131-2134.
23. Gilbert C., Tang T. C., Ott W., Dorr B. A., Shaw W. M., Sun G. L., Lu T. K., Ellis T. Living materials with programmable functionalities... // *Nature Materials*. 2021. Vol. 20, No. 5. P. 691-700.
24. Gomes F. P., Silva N. H. C. S., Trovatti E., Serafim L. S., Duarte M. F., Silvestre A. J. D., et al. Production of bacterial cellulose by *Gluconacetobacter sacchari*... // *Biomass and Bioenergy*. 2013. Vol. 55. P. 205-211.
25. Gupta P., Pruthi P. A., Pruthi V. Role of Exopolysaccharides in Biofilm Formation // In: *Introduction to Biofilm Engineering*. ACS, 2019. P. 17-57.
26. Güzel M., Akpınar Ö. Production and Characterization of Bacterial Cellulose from Citrus Peels // *Waste and Biomass Valorization*. 2019. Vol. 10, No. 8. P. 2165-2175.
27. Hermansson F., Ekval T., Janssen M., Svanström M. Allocation in recycling of composites... // *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2022. Vol. 27. P. 419-432.
28. Hestrin S., Schramm M. Synthesis of cellulose by *Acetobacter xylinum*... // *Biochemical Journal*. 1954. Vol. 58, No. 2. P. 345-352.
29. Huang C., Guo H.-J., Xiong L., Wang B., Shi S.-L., Chen X.-F., et al. Using wastewater after lipid fermentation... // *Carbohydrate Polymers*. 2016. Vol. 136. P. 198-202.
30. Hur D. H., Choi W. S., Kim T. Y., Lee S. Y., Park J. H., Jeong K. J. Enhanced Production of Bacterial Cellulose... // *J Microbiol Biotechnol*. 2020. Vol. 30, No. 9. P. 1430-1435.
31. Iguchi M., Yamanaka S., Budhiono A. Bacterial cellulose, a masterpiece of nature's arts // *Journal of Materials Science*. 2000. Vol. 35, No. 2. P. 261-270.
32. Imai T., Sun S., Horikawa Y., Wada M., Sugiyama J. Functional Reconstitution of Cellulose Synthase in *Escherichia coli* // *Biomacromolecules*. 2014. V. 15, № 11. P. 4206-4213. DOI: 10.1021/bm501217g.
33. Jahan F., Kumar V., Saxena R. K. Distillery effluent as a potential medium... // *Bioresource Technology*. 2018. Vol. 250. P. 922-926.
34. Janmohammadi M., Nazemi Z., Salehi A. O. M., Seyfoori A., John J. V., Nourbakhsh M. S., Akbari M. Cellulose-based composite scaffolds... // *Bioactive Materials*. 2023. Vol. 20. P. 137-163.
35. Jiang H., Song Z., Hao Y., Hu X., Lin X., Liu S., Li C. Effect of co-culture of *Komagataeibacter nataicola* and *Lactobacillus fermentum*... // *LWT*. 2023. Vol. 173. P. 114224.
36. Jonas R., Farah L. F. Production and application of microbial cellulose // *Polymer Degradation and Stability*. 1998. Vol. 59, No. 1. P. 101-106.
37. Khan H., Kadam A., Dutt D. Studies on bacterial cellulose produced by a novel strain of *Lactobacillus* genus // *Carbohydrate Polymers*. 2020. Vol. 229. P. 115513.
38. Kim G., Kim H. J., Kim K., Kim H. J., Yang J., Seo S. W. Tunable translation-level CRISPR interference by dCas13 and engineered gRNA in bacteria // *Nature Communications*. 2024. Vol. 15, No. 1. P. 5319.
39. Kim S.-Y., Kim J.-N., Wee Y.-J., Park D.-H., Ryu H.-W. Production of bacterial cellulose by *Gluconacetobacter* sp. RKY5 isolated from persimmon vinegar // *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 2006. Vol. 131, No.1. P. 705-715.
40. Klemm D., Heublein B., Fink H.-P., Bohn A. Cellulose: Fascinating Biopolymer and Sustainable Raw Material // *Angewandte Chemie International Edition*. 2005. Vol. 44, No. 22. P. 3358-3393.
41. Kumar V., Sharma D. K., Bansal V., Mehta D., Sangwan R. S., Yadav S. K. Efficient and economic process for the production of bacterial cellulose from isolated strain... // *Bioresource Technology*. 2019. Vol. 275. P. 430-433.
42. Lasagni F., Cassanelli S., Gullo M. How carbon sources drive cellulose synthesis in two *Komagataeibacter xylinus* strains // *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14, No. 1. P. 20494.
43. Lee K.-Y., Buldum G., Mantalaris A., Bismarck A. More Than Meets the Eye in Bacterial Cellulose: Biosynthesis, Bioprocessing, and Applications in Advanced Fiber Composites // *Macromolecular Bioscience*. 2014. Vol. 14, No. 1. P. 10-32.
44. Lee S., Abraham A., Lim A. C. S., Choi O., Seo J. G., Sang B.-I. Characterisation of bacterial nanocellulose and nanostructured carbon produced from crude glycerol by *Komagataeibacter sucrofermentans* // *Bioresource Technology*. 2021. Vol. 342. P. 125918.
45. Leonarski E., Cesca K., Zanella E., Stambuk B. U., de Oliveira D., Poletto P. Production of kombucha-like beverage and bacterial cellulose by acerola byproduct... // *LWT*. 2021. Vol. 135. P. 110075.
46. Li W., Zhang S., Zhang T., Shen Y., Han L., Peng Z., Xie Z., Zhong C., Jia S. Bacterial cellulose production from ethylenediamine pretreated *Caragana korshinskii* Kom // *Industrial Crops and Products*. 2021. Vol. 164. P. 113340.

47. Lin D., Lopez-Sanchez P., Li R., Li Z. Production of bacterial cellulose by *Gluconacetobacter hansenii*... using only waste beer yeast // *Bioresource Technology*. 2014. Vol. 151. P. 113-119.
48. Liu K., Catchmark J. M. Enhanced mechanical properties of bacterial cellulose nanocomposites produced by co-culturing *Gluconacetobacter hansenii* and *Escherichia coli*... // *Carbohydrate Polymers*. 2019. Vol. 219. P. 12-20.
49. Liu Y., Lee C., Li F., Trček J., Bähre H., Guo R.-T., Chen C.-C., Chernobrovkin A., Zubarev R., Römmling U. A Cyclic di-GMP Network Is Present in Gram-Positive *Streptococcus* and Gram-Negative *Proteus* Species // *ACS Infectious Diseases*. 2020. Vol. 6, No. 10. P. 2672-2687.
50. Lu T., Gao H., Liao B., Wu J., Zhang W., Huang J., Liu M., Huang J., Chang Z., Jin M., Yi Z., Jiang D. Characterization and optimization of production of bacterial cellulose from strain CGMCC 17276... // *Carbohydrate Polymers*. 2020. Vol. 232. P. 115788.
51. Luo H., Xie J., Xiong L., Zhu Y., Yang Z., Wan Y. Fabrication of flexible, ultra-strong, and highly conductive bacterial cellulose-based paper... // *Composites Part B: Engineering*. 2019. Vol. 162. P. 484-490.
52. Mangayil R., Rissanen A. J., Pammo A., Guizelini D., Losoi P., Sarlin E., Tuukkanen S., Santala V. Characterization of a novel bacterial cellulose producer for eco-friendly piezoelectric films... // *Cellulose*. 2021. Vol. 28, No. 2. P. 671-689.
53. Merchuk J. C. Airlift Bioreactors: Review of Recent Advances // *The Canadian Journal of Chemical Engineering*. 2003. Vol. 81, No. 3-4. P. 324-337.
54. Morais K. D. S., Guilherme E. P. X., Menezes B. D. S., Forte M. B. S., Leal P. L., Aguiar-Oliveira E. Study of the pretreatment and hydrolysis... // *Bioprocess Biosyst Eng*. 2025. Vol. 48, No. 6. P. 993-1006.
55. Osman A. I., Fang B., Zhang Y., Liu Y., Yu J., Farghali M., Rashwan A. K., et al. Life cycle assessment and techno-economic analysis of sustainable bioenergy production... // *Environmental Chemistry Letters*. 2024. Vol. 22. P. 1115-1154.
56. Palladino F., Marcelino P. R. F., Schlögl A. E., José Á. H. M., Rodrigues R. d. C. L. B., Fabrino D. L., Santos I. J. B., Rosa C. A. Bioreactors: Applications and Innovations... // *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14, No. 20. P. 9346.
57. Parchaykina M. V., Liyaskina E. V., Bogatyreva A. O., Baykov M. A., Gotina D. S., Arzhanov N. E., Netrusov A. I., Revina V. V. Cost-Effective Production of Bacterial Cellulose... // *Polymers*. 2025. Vol. 17, No. 2. P. 179.
58. Przygodzka K., Chareża M., Banaszek A., Zielińska B., Ekiert E., Drozd R. Bacterial Cellulose Production by *Komagataibacter xylinus* using Enzyme-Degraded Oligo- and Polysaccharides // *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12, No. 24. P. 12673.
59. Qi F., Qi B., Cui Z., Chen X., Wan Y., Luo J. Cellulose-based separation membranes: A sustainable evolution or fleeting trend? // *Advanced Membranes*. 2025. Vol. 5. P. 100153.
60. Quijano L., Rodrigues R., Fischer D., Tovar-Castro J. D., Payne A., Navone L., Hu Y., Yan H., Pinmanee P., Poon E., Yang J., Barro E. Bacterial cellulose cookbook // *Journal of Bioresources and Bioproducts*. 2024. Vol. 9, No. 4. P. 379-409.
61. Quintana-Quirino M., Morales-Osorio C., Viguera Ramírez G., Vázquez-Torres H., Shirai K. Bacterial cellulose grows with a honeycomb geometry... // *Process Biochemistry*. 2019. Vol. 82. P. 1-9.
62. Rashid A. B., Kafy A., Kabir N., Ishrak H., Rifat F. F. Cellulose Nanofibers/Reduced Graphene Oxide Nanocomposites for Humidity Sensor // *International Journal of Polymer Science*. 2024. Vol. 2024, No. 1. P. 2937816.
63. Rivas B., Moldes A. B., Domínguez J. M., Parajó J. C. Development of culture media containing spent yeast cells... // *International Journal of Food Microbiology*. 2004. Vol. 97, No. 1. P. 93-98.
64. Rodrigues D. M., da Silva M. F., Almeida F. L. C., de Melo A. H. F., Forte M. B. S., Martín C., Barud H. d. S., Baudel H. M., Goldbeck R. A green approach to biomass residue valorization... // *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2024. Vol. 56. P. 103036.
65. Ryngajłło M., Jędrzejczak-Krzepkowska M., Kubiak K., Ludwicka K., Bielecki S. Towards control of cellulose biosynthesis by *Komagataibacter*... // *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2020. Vol. 104, No. 15. P. 6565-6585.
66. Salari M., Sowti Khiabani M., Rezaei Mokarram R., Ghanbarzadeh B., Samadi Kafil H. Preparation and characterization of cellulose nanocrystals from bacterial cellulose... // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2019. Vol. 122. P. 280-288.
67. Seletzky J. M., Noak U., Fricke J., Welk E., Eberhard W., Knocke C., Büchs J. Scale-up from shake flasks to fermenters... // *Biotechnol Bioeng*. 2007. Vol. 98, No. 4. P. 800-811.
68. Seto A., Saito Y., Matsushige M., Kobayashi H., Sasaki Y., Tonouchi N., Tsuchida T., Yoshinaga F., Ueda K., Beppu T. Effective cellulose production by a coculture... // *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2006. Vol. 73, No. 4. P. 915-921.
69. Sharma C., Raza M. A., Purohit S. D., Pathak P., Gautam S., Corridon P. R., Han S. S. Cellulose-based 3D printing bioinks for biomedical applications: A review // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2025. Vol. 305. P. 141174.
70. Shemesh M., Zilberman M. Structure-property effects of novel bioresorbable hybrid structures... // *Acta Biomaterialia*. 2014. Vol. 10, No. 3. P. 1380-1391.
71. Silva F. A. G. S., Branco S., Dourado F., Neto B., Gama M. Life cycle assessment of bacterial cellulose and comparison to other cellulosic sources // *Journal of Cleaner Production*. 2025. Vol. 493. P. 144876.
72. Singhania R. R., Patel A. K., Tsai M. L., Chen C. W., Di Dong C. Genetic modification for enhancing bacterial cellulose production... // *Bioengineered*. 2021. Vol. 12, No. 1. P. 6793-6807.
73. Skiba E. A., Gladysheva E. K., Golubev D. S., Budaeva V. V., Aleshina L. A., Sakovich G. V. Self-standardization of quality of bacterial cellulose produced by *Medusomyces gisevii*... // *Carbohydrate Polymers*. 2021. Vol. 252. P. 117178.
74. Soemphol W., Hongsachart P., Tanamool V. Production and characterization of bacterial cellulose from agricultural by-product... // *Materials Today: Proceedings*. 2018. Vol. 5, No. 5. P. 11159-11168.
75. Souza E. F., Furtado M. R., Carvalho C. W. P., Freitas-Silva O., Gottschalk L. M. F. Production and characterization of *Gluconacetobacter xylinus* bacterial cellulose using cashew apple juice and soybean molasses // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020. Vol. 146. P. 285-289.

76. Tonoyan L., Fleming G. T. A., Friel R., O'Flaherty V. Continuous culture of *Escherichia coli* under selective pressure... // *Scientific Reports*. 2019. Vol. 9, No. 1. P. 2401.
77. Troncoso O. P., Torres F. G. Bacterial Cellulose, Graphene Based Nanocomposites // *International Journal of Molecular Sciences*. 2020. Vol. 21, No. 18. P. 6532.
78. Ul-Islam M., Khan T., Park J. K. Nanoreinforced bacterial cellulose, montmorillonite composites for biomedical applications // *Carbohydrate Polymers*. 2012. Vol. 89, No. 4. P. 1189-1197.
79. Wang B., Hu S., Teng Y., Chen J., Wang H., Xu Y., Wang K., Xu J., Cheng Y., Gao X. Current advance of nanotechnology in diagnosis and treatment for malignant tumors // *Signal Transduction and Targeted Therapy*. 2024. Vol. 9, No. 1. P. 200.
80. Wang J., Tavakoli J., Tang Y. Bacterial cellulose production, properties and applications... // *Carbohydrate Polymers*. 2019. Vol. 219. P. 63-76.
81. Wong H. C., Fear A. L., Calhoon R. D., Eichinger G. H., Mayer R., Amikam D., Benziman M., Gelfand D. H., Meade J. H., Emerick A. W., et al. Genetic organization of the cellulose synthase operon in *Acetobacter xylinum* // *PNAS*. 1990. Vol. 87, No. 20. P. 8130-8134.
82. Wu J.-M., Liu R.-H. Thin stillage supplementation greatly enhances bacterial cellulose production... // *Carbohydrate Polymers*. 2012. Vol. 90, No. 1. P. 116-121.
83. Wu M., Chen W., Hu J., Tian D., Shen F., Zeng Y., Yang G., Zhang Y., Deng S. Valorizing kitchen waste through bacterial cellulose production... // *Science of The Total Environment*. 2019. Vol. 695. P. 133898.
84. Ye J., Zheng S., Zhang Z., Yang F., Ma K., Feng Y., Zheng J., Mao D., Yang X. Bacterial cellulose production by *Acetobacter xylinum*... using tobacco waste extract // *Bioresource Technology*. 2019. Vol. 274. P. 518-524.
85. Yim S. M., Song J. E., Kim H. R. Production and characterization of bacterial cellulose fabrics by nitrogen sources of tea and sugar // *Process Biochemistry*. 2017. Vol. 59. P. 26-36.
86. Zhang H., Ye C., Xu N., Chen C., Chen X., Yuan F., Xu Y., Yang J., Sun D. Reconstruction of a Genome-scale Metabolic Network of *Komagataeibacter nataicola* RZS01 // *Scientific Reports*. 2017. Vol. 7, No.1. P. 7911.

Information about authors:

Kossalbayev Bekzhan Duisenbiuly (corresponding author) – PhD, Associate Professor of Department of Chemical and Biochemical Engineering, Geology and Oil-Gas Business Institute Named After K. Turyssov, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: kossalbayev.bekzhan@gmail.com; +77759044888).

Belkozhaev Ayaz Maratovich – PhD, Associate Professor of Department of Chemical and Biochemical Engineering, Geology and Oil-Gas Business Institute Named After K. Turyssov, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: a.belkozhaev@satbayev.university; +77473746591).

Abaildayev Arman Orazalyuly – Senior lecturer of Department of Chemical and Biochemical Engineering, Geology and Oil-Gas Business Institute Named After K. Turyssov, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan, email: a.abaildayev@satbayev.university; +77771258282);

Kadirshe Danara Karzhaubaykyzy – Chief Specialist of the International Faculty at Asfendiyarov Kazakh National Medical University (KazNMU) (Almaty, Kazakhstan, e-mail: kadirwe.d@kaznmu.kz; +7 747 538 3499).

Turganova Ronagul Adiljanovna – PhD in AgroSciences, University of Lorraine (Nancy, France, e-mail: ronagul.turganova@gmail.com; +77023498834).

Tuleyeva Rysgul Nurlanovna – PhD student at the Department of Chemistry and Technology of Organic Substances, Natural Compounds, and Polymers, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: rysgultuleyeva@gmail.com; +77089452633).

Toleutay Gaukhar – PhD of Department of Chemical and Biochemical Engineering, Geology and Oil-Gas Business Institute Named After K. Turyssov, Satbayev University, Department of Chemistry (Almaty, Kazakhstan, e-mail: gaukhar.toleutay@gmail.com; +18658248691).

Авторлар туралы мәлімет:

Қосалбаев Бекжан Дүйсенбіұлы – PhD, Химиялық және биохимиялық инженерия кафедрасының қауымдастырылған профессоры, К. Тұрысов атындағы Геология және мұнай-газ ісі институты, Сәтбаев университеті (Алматы, Қазақстан, e-mail: kossalbayev.bekzhan@gmail.com; +77759044888).

Белкожаев Аяз Маратович (жауапты автор) – PhD, Химиялық және биохимиялық инженерия кафедрасының қауымдастырылған профессоры, К. Тұрысов атындағы Геология және мұнай-газ ісі институты, Сәтбаев университеті (Алматы, Қазақстан, e-mail: a.belkozhaev@satbayev.university; +77473746591).

Абайлдаев Арман Оразалыұлы – Химиялық және биохимиялық инженерия кафедрасының аға оқытушысы, К. Тұрысов атындағы Геология және мұнай-газ ісі институты, Сәтбаев университеті (Алматы, Қазақстан, e-mail: a.abaildayev@satbayev.university; +77771258282).

Қадірше Данара Қаржаубайқызы – С. Д. Асфендияров атындағы Қазақ ұлттық медицина университетінің (ҚазҰМУ) Халықаралық факультетінің бас маманы (Алматы, Қазақстан, e-mail: kadirwe.d@kaznmu.kz; +7 747 538 3499).

Турганова Ронагуль Адилжановна – агроғылымдар бойынша PhD докторы, Лотарингия университеті (Нанси, Франция, e-mail: ronagul.turganova@gmail.com; +77023498834).

Түлеева Рысгуль Нурлановна – докторант, органикалық заттар, табиғи қосылыстар және полимерлер химиясы мен технологиясы кафедрасы, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, (Алматы, Қазақстан, e-mail: rysgultuleyeva@gmail.com; +77089452633).

Төлеутай Гаухар – PhD, Химиялық және биохимиялық инженерия кафедрасы, К. Турысов атындағы Геология және мұнай-газ ісі институты, Сәтбаев университеті (Алматы, Қазақстан, e-mail: gaukhar.toleutay@gmail.com; +18658248691).

Сведения об авторах:

Косалбаев Бекжан Дуисенбиұлы – PhD, ассоциированный профессор кафедры химической и биохимической инженерии Института геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова, Университет Сатпаева (Алматы, Казахстан, e-mail: kossalbayev.bekzhan@gmail.com).

Белкожаев Аяз Маратович (ответственный автор) – PhD, ассоциированный профессор кафедры химической и биохимической инженерии Института геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова, Университет Сатпаева (Алматы, Казахстан, e-mail: a.belkozhaev@satbayev.university).

Абайлдаев Арман Оразалыұлы – старший преподаватель кафедры химической и биохимической инженерии Института геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова, Университет Сатпаева (Алматы, Казахстан, e-mail: a.abaildayev@satbayev.university).

Кадирше Данара Каржаубаевна – главный специалист международного факультета Казахского национального медицинского университета имени С.Д. Асфендиярова (Алматы, Казахстан, e-mail: kadirwe.d@kaznmu.kz).

Турганова Ронагуль Адилжановна – PhD по агронаукам, Университет Лотарингии (Нанси, Франция e-mail: ronagul.turganova@gmail.com).

Тулеева Рысгуль Нурлановна – докторант, кафедра химии и технологии органических веществ, природных соединений и полимеров, Казахский национальный университет имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: rysgultuleyeva@gmail.com).

Төлеутай Гаухар – PhD, кафедра химической и биохимической инженерии Института геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова, Университет Сатпаева (Алматы, Казахстан, e-mail: gaukhar.toleutay@gmail.com).

*Received July 18, 2025
Accepted November 20, 2025*

АВТОРЛАРҒА АРНАЛҒАН АҚПАРАТ ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ INFORMATION FOR AUTHORS

Требования к научной статье для опубликования в журнале «Вестник КазНУ. Серия биологическая»:

- ✓ Редакционная коллегия принимает ранее неопубликованные экспериментальные статьи по научным направлениям журнала. Статья представляется в электронном формате (в форматах .doc, .docx, .rtf) ТОЛЬКО посредством ее загрузки через функционал сайта журнала (Open Journal System или Editorial Manager).
- ✓ Кегль шрифта – 12 (аннотация, ключевые слова, литература – 10, текст таблиц – 9–11), шрифт – Times New Roman, выравнивание – по ширине текста, интервал – одинарный, абзацный отступ – 0,8 см, поля: верхнее и нижнее – 2 см, левое и правое – 2 см.
- ✓ Объем статьи (без учета названия, сведений об авторах, аннотации, ключевых слов, библиографического списка) должен составлять не менее 1 500–7 000 слов для естественнонаучных и технических направлений.
- ✓ При подаче статьи авторы должны отправить заполненную заявку, сопроводительное письмо и рукопись статьи, оформленную по нижеуказанным правилам.
- ✓ Авторы в ОБЯЗАТЕЛЬНОМ порядке должны указать в сопроводительном письме в системе Open Journal System или Editorial Manager о том, что направляемая статья/рукопись нигде ранее не публиковалась, и что в статье отсутствуют заимствованные фрагменты текста из других работ без ссылок на них.
- ✓ Порядок оплаты и стоимость за публикацию статьи устанавливается издательским домом «Қазақ университеті» и производится автором после одобрения внешними рецензентами и научным редактором.

Структура статьи:

Работы, оформленные без соблюдения этих правил, возвращаются без рассмотрения.

Первая страница:

Первая строка – номер МРНТИ

Название статьи (Заголовок)

Автор(ы) статьи

Орсид ID номера авторов

Сокращения и обозначения

Аннотация

Ключевые слова/словосочетания

Первая строка – номер МРНТИ (в исключительных случаях УДК), выравнивание – по левому краю, шрифт – полужирный. Номер МРНТИ необходимо найти на сайте <http://grnti.ru/>.

Название статьи (Заголовок) должно отражать суть и содержание статьи и привлекать внимание читателя. Название должно быть кратким, информативным и не содержать жаргонизмов или аббревиатур. Оптимальная длина заголовка – 5–7 слов (в некоторых случаях 10–12 слов). Название статьи должно быть представлено на русском, казахском и английском языках. Название статьи представляется полужирным шрифтом строчными буквами, выравнивание – по центру.

✓ **Автор(ы) статьи** – количество авторов не ограничено. В список должны входить данные авторов, которые имеют прямое отношение к написанию статьи, те, кто выполнял эксперименты и получил данные и результаты, отраженные в статье, те, кто является автором основной идеи публикации.

Сведения об авторах представляются обычным шрифтом строчными буквами, выравнивание – по центру. Принадлежность авторов к определенному месту работы указывается в виде надстрочных индексов до фамилии^{1, 2, 3}. Авторы из одной и той же организации указываются под одинаковой надстрочной цифрой. Для авторов КазНУ обязательное указание ID номеров ORCID с использованием гиперссылки в значке , для авторов сторонних организаций по желанию. Корреспондентный автор отмечается надстрочным знаком*.

¹Инициалы и фамилия, ²Инициалы и фамилия*

¹место работы (аффилиация), город, страна

²место работы (аффилиация), город, страна

*Корреспондентный автор – e-mail

Корреспондентным автором является тот автор, который ведет переписку с редакцией до и после печати и отвечает на все замечания и исправления по статье. Важно указать действующий электронный адрес и контактные данные при подачи статьи.

-
1. **Сокращения и обозначения** – если имеются.
 - ✓ **Аннотация** объемом **не менее 150 слов, не более 300 слов** на русском, казахском и английском языках.
 - Структура аннотации включает в себя следующие **ОБЯЗАТЕЛЬНЫЕ** пункты:
 1. Вступительное слово о теме исследования.
 2. Цель, основные направления и идеи научного исследования.
 3. Краткое описание научной и практической значимости работы.
 4. Краткое описание методологии исследования.
 5. Основные результаты и анализ, выводы исследовательской работы.
 6. Ценность проведенного исследования (внесенный вклад данной работы в соответствующую область знаний).
 7. Практическое значение итогов работы.
 - ✓ **Ключевые слова/словосочетания** – количеством 3–5 на русском, казахском и английском языках.

Последующая страница (новая):

Введение

Материалы и Методы

Результаты и Обсуждение

Заключение, выводы

Благодарности

Источник финансирования

Конфликт интересов

Литература

Введение состоит из следующих основных элементов:

- ✓ Обоснование выбора темы; актуальность темы или проблемы. В обосновании выбора темы на основе описания опыта предшественников сообщается о наличии проблемной ситуации (отсутствие каких-либо исследований, появление нового объекта и т.д.). Актуальность темы определяется общим интересом к изученности данного объекта, но отсутствием исчерпывающих ответов на имеющиеся вопросы, она доказывается теоретической или практической значимостью темы.
- ✓ В секции должны быть охвачены фундаментальные и новые труды по исследуемой тематике зарубежных авторов на английском языке (не менее 15 трудов), анализ данных трудов с точки зрения их научного вклада, а также пробелы в исследовании, которые Вы дополняете в своей статье.
- ✓ Определение объекта, предмета, целей, задач, методов, подходов, гипотезы и значения вашей работы. Цель исследования связана с доказательством тезиса, то есть представлением предмета исследования в избранном автором аспекте.

Материалы и Методы – должны состоять из описания материалов и хода работы, а также полного описания использованных методов.

✓ Характеристика или описание материала исследования включает его представление в качественном и количественном отношении. Характеристика материала – один из факторов, определяющий достоверность выводов и методов исследования.

✓ В этом разделе описывается, как проблема была изучена: подробная информация без повторения ранее опубликованных установленных процедур; используется идентификация оборудования (программного обеспечения) и описание материалов, с обязательным внесением новизны при использовании материалов и методов.

- ✓ Научная методология должна включать в себя:
 - ✓ - исследовательский вопрос(-ы);
 - ✓ - выдвигаемую гипотезу (тезис);
 - ✓ - этапы исследования;
 - ✓ - методы исследования;
 - ✓ - результаты исследования.
- ✓ НЕДОПУСТИМО наличие множества ссылок, не имеющих отношения к работе, или неуместные суждения о ваших собственных достижениях, ссылки на Ваши предыдущие работы.

Результаты и Обсуждение – приводится анализ и обсуждение полученных вами результатов исследования. Приводятся выводы по полученным в ходе исследования результатам, раскрывается основная суть. И это один из самых важных разделов статьи. В нем необходимо провести анализ результатов своей работы и обсуждение соответствующих результатов в сравнении с предыдущими работами иностранных и отечественных авторов, анализами и выводами.

Заключение, выводы

Обобщение и подведение итогов работы на данном этапе; подтверждение истинности выдвигаемого утверждения, высказанного автором, и заключение автора об изменении научного знания с учетом полученных результатов. Выводы не должны быть абстрактными, они должны быть использованы для обобщения результатов исследования в той или иной научной области, с описанием предложений или возможностей дальнейшей работы.

Структура заключения должна содержать следующие вопросы: Каковы цели и методы исследования? Какие результаты получены? Каковы выводы? Каковы перспективы и возможности внедрения, применения разработки?

Конфликт интересов – желательно указать имеющиеся конфликты интересов со стороны авторов и соавторов касательно материалов статьи. Если нет никаких конфликтов к опубликованию материалов в статье, указать, что авторы не имеют конфликта интересов.

Благодарности – Перечислите людей, которые оказали помощь во время исследования (например, предоставили помощь в переводе, письменную помощь или предоставили материал/оборудование для работы и т.д.)

Источник финансирования – Следует указать в рамках какого проекта или программы была выполнена работа, указать год и номер договора по проекту/программе.

Литература

Список используемой литературы, или Библиографический список состоит из не менее 25 наименований литературы для естественнонаучных и технических направлений и из общего числа наименований на английском языке должно быть не менее 50%.

Для естественнонаучных статей ссылки оформляются в квадратных скобках с указанием нумерации по мере появления цитируемых работ в тексте. Стиль оформления списка литературы согласно ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления» (требование к изданиям, входящих в перечень ККСОН).

Далее следует второй список литературы (**References**, который должен быть предоставлен в другой форме, то есть – романизированным алфавитом (транслитерация). **References** ТОЛЬКО те работы, которые цитируются в тексте. Reference оформляется в алфавитном порядке!

Романизированный список литературы должен выглядеть в следующем виде для источников на кириллице: автор(-ы) (транслитерация) → (год в круглых скобках) → название статьи в транслитерированном варианте [перевод названия статьи на английский язык в квадратных скобках], название русскоязычного источника (транслитерация, либо английское название – если есть), выходные данные с обозначениями на английском языке.

Например: Gokhberg L., Kuznetsova T. (2011) Strategiya-2020: novye kontury rossiiskoi innovatsionnoi politiki [Strategy 2020: New Outlines of Innovation Policy]. *Foresight-Russia*, vol. 5, no 4, pp. 8–30.

Стиль оформления Романизированного списка литературы из источников на английском (другом иностранном) языке для естественнонаучных и технических направлений – Chicago Style (www.chicagomanualofstyle.org).

Cramer W., Bondeau A., Woodward F.I., Prentice I.C., Betts R.A., Brovkin V., Cox P.M., Fisher V., Foley J.A., Friend A.D., Kucharik C., Lomas M.R., Ramankutty N., Sitch S., Smith B., White A., Young-Molling C. (2001) Global response of terrestrial ecosystem structure and function to CO₂ and climate change: Results from six dynamic global vegetation models. *Glob. Change Biol.*, vol. 7, pp. 357–373.

В данном разделе необходимо учесть:

- Цитируются основные научные публикации, передовые методы исследования, которые применяются в данной области науки и на которых основана работа автора.
- Избегайте чрезмерных самоцитирований.
- Избегайте чрезмерных ссылок на публикации авторов СНГ/СССР, используйте мировой опыт (Pubmed, Web of Science). Не следует ссылаться на энциклопедии, монографии, диссертации и материалы, на которые нет общего доступа.
- Библиографический список должен содержать фундаментальные и наиболее актуальные труды, опубликованные известными зарубежными авторами и исследователями по теме статьи.

Стоимость публикации – 60 000 тенге/страница

Реквизиты:

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный университет имени аль-Фараби»

Индекс 050040

адрес: г. Алматы, пр. Аль-Фараби 71

БИН 990140001154

КБЕ 16

АО «First Heartland Jýsan Bank»

ИИК KZ19998CTB0000567141 – тенге

ИИК KZ40998CTB0000567151 – USD

БИК TSESKZKA

МАЗМҰНЫ – CONTENTS – СОДЕРЖАНИЕ

1-бөлім Ботаника	Section 1 Botany	Раздел 1 Ботаника
А. Ахмет, А.У. Исаева, Т.У. Байдуйсенова, А.К. Косауова Шымкент қаласы флорасындағы қыналар мен мүктердің таралуы мен экологиясы..... 4		
Ғ.И. Исаев, Б.Қ. Маулен, Н.Н. Салыбекова, И.Ғ. Икрамов, А.И. Әзімбай, Е.Н. Балтабай, Қ.Қ. Құлымбет ХҚТУ ботаникалық бағындағы <i>Juglans nigra</i> L. түрінің жерсіндірілу ерекшеліктері және морфо-анатомиялық, физиологиялық дамуы..... 14		
А.Е. Нұрманбек, Н.З. Ахтаева, Л.Н. Кисебаева Макроскопия и микроскопия перспективного лекарственного растения <i>Arthropytum longibracteatum</i> 26		
2-бөлім Зоология	Section 2 Zoology	Раздел 2 Зоология
Abdulhakeem Idris Abdulhakeem, Umaru Joel and Akeem Babatunde Dauda Nutrient composition of male and female nile tilapia <i>Oreochromis niloticus</i> (Linnaeus, 1758) from captured and cultured sources..... 38		
Н.С. Сиханова, И.И. Рахимов, А.Ж. Берденқұлова, Е.А. Шынбергенов Жыртқыштардың синантроптануы және олардың антропогенді ландшафттағы экологиясының ерекшеліктері (Қызылорда қаласы мысалында)..... 45		
3-бөлім Өсімдіктер физиологиясы	Section 3 Plant Physiology	Раздел 3 Физиология растений
Д.Д. Алтыбаева, В.А. Чудинов, В.П. Шаманин, Т.В. Савин, И.А. Бела, Н.И. Коробейников, М.А. Розова, В.И. Цыганков, В.С. Юсов, А.И. Моргунов Адаптация и продуктивность яровой мягкой и твердой пшеницы в зависимости от условий в Казахстане и России 64		
4-бөлім Биотехнология	Section 4 Biotechnology	Раздел 4 Биотехнология
И.С. Савицкая, Д.Х. Шокатаева, И.И. Абашидзе, А.Б. Талипова, С.Д. Жантлесова, Ж. Хамитқызы Бактериялық целлюлоза негізіндегі нанокүрылымды биоматериалды стерилдеу әдісін таңдау 78		
Н.К. Динанова, К.П. Аубакирова, А. Рахатқызы, Л.С. Ерболова, Ж.Н. Бақытжанова, М. Георгиева, Н.Н. Галиакпаров Құлпынай (<i>Fragaria ananassa</i> Duch.) сорттарын in vitro жағдайында енгізу шарттарын оңтайландыру 91		
5-бөлім Адам мен жануарлар физиологиясы	Section 5 Humans and animals physiology	Раздел 5 Физиология человека и животных
С.Т. Тулеуханов, В.П. Зинченко, А.М. Малибаева, С.Б. Оразова, Б.Қ. Қайрат Гиппокамп нейрондық желісіндегі қозуды бақылауда кальций-өткізгіш каинатты және амра-рецепторларының ролі.... 104		
Жақсымов Б.И., Бахтиярова Ш.Қ., Джунусова А.Б., Капышева У.Н. Ірі қара малының аусылға қарсы салынған екпеден кейінгі зат алмасу көрсеткіштерінің динамикасы 115		

А.К. Джумагалиева, З.Б. Тунгушбаева Действие кадмия на семенники	124
---	-----

6-бөлім
Микробиология

Section 6
Microbiology

Раздел 6
Микробиология

Д.Е. Акшимбаев, А.Н. Безрукова, Г.А. Бакирова, Г.Ш. Мусина, Г.А. Джамалова Оценка бактериальной безопасности технологических матриц птицефабрики Казахстана.....	134
A.V. Kudryakova, K.A. Mukhatayeva, S.A. Imanalina, G.D. Ultanbekova, K.R. Sisemali Study of the antimicrobial activity of captopril pharmaceutical products produced in Kazakhstan	144

Шолу мақалалар

Review articles

Обзорные статьи

B.D. Kossalbayev, A.M. Belkozhaev, A.O. Abaildayev, D.K. Kadirshe, R.A. Turganova, R.N. Tuleyeva, G. Toleutay Bacterial cellulose: advances and challenges	
---	--

Авторларға арналған ақпарат.....	219
----------------------------------	-----