

ISSN (Print) 2616-7034
ISSN (Online) 2663-130X

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің

ХАБАРШЫСЫ

BULLETIN

of L.N. Gumilyov
Eurasian National University

ВЕСТНИК

Евразийского национального
университета имени Л.Н. Гумилева

БИОЛОГИЯЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР сериясы

BIOSCIENCE Series

Серия БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

№2 (151)/ 2025

2010 жылдан бастап шығады

Founded in 2010

Издается с 2010 года

Жылына 4 рет шығады

Published 4 times a year

Выходит 4 раза в год

Астана, 2025

Astana, 2025

Бас редактор:

Р.І. Берсімбаев,

ҚР ҰҒА академигі, б.ғ.д, проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан

Бас редактордың орынбасары

Ж.К. Масалимов, *б.ғ.к., доцент, Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан*

Редакция алқасы:

Акильжанова А.Р.	м.ғ.д., PhD, Назарбаев университеті, Астана (Қазақстан)
Аликулов З.А.	б.ғ.к., проф., Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана (Қазақстан)
Аскарова Ш.Н.	б.ғ.к., PhD, Назарбаев университеті, Астана (Қазақстан)
Ау У.	PhD, проф., Техас университеті, Техас (АҚШ)
Бисенбаев А.К.	б.ғ.д., проф., ҚР ҰҒА академигі, Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы (Қазақстан)
Здунек-Застока Э.	PhD, проф., Варшава жаратылыстану ғылымдары университеті, Варшава (Польша)
Изотти А.	PhD, проф., Генуя университеті, Генуя (Италия)
Ильдербаев О.З.	м.ғ.д., проф., Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана (Қазақстан)
Коломиец М.	PhD, проф., Техас университеті, Техас (АҚШ)
Константинов Ю.М.	б.ғ.д., проф., Иркутск мемлекеттік университеті, Иркутск (Ресей)
Курманбаева А.Б.	PhD, оқытушы-зерттеуші, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана (Қазақстан)
Позо М.Х.	PhD, Испания ұлттық зерттеу кеңесінің Zaidin тәжірибелік станциясы, Гранада (Испания)
Рубцов Н.	б.ғ.д., проф., Цитология және генетика институты, Новосібір (Ресей)
Саги М.	PhD, проф., Бен Гурион атындағы Негев университеті, Беэр-Шева (Израиль)
Сарбасов Д.Д.	PhD, проф., Назарбаев университеті, Астана (Қазақстан)
Тарлыков П.В.	PhD, зертхана меңгерушісі, Ұлттық биотехнология орталығы, Астана (Қазақстан)
Халилов Р.И.	ф.-м.ғ.д., Баку мемлекеттік университеті, Баку (Әзірбайжан)

Редакцияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Астана қ., Сәтбаев к-сі, 2,
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті
E-mail: eurjourbio@enu.kz

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Хабаршысы. **БИОЛОГИЯЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР** сериясы
Меншіктенуші: КеАҚ "Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті"
Мерзімділігі: жылына 4 рет
Қазақстан Республикасының Ақпарат және коммуникациялар министрлігімен тіркелген
02.02.2021ж. № KZ11VPY00031938 қайта есепке қою туралы куәлігі
Типографияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Астана қ., Қажымұқан к-сі 13/1
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті
Сайт: <http://bulbio.enu.kz>

Editor-in-Chief:

R.I. Bersimbaev,

*Academician of NAS RK, Doctor of Biological Sciences, Prof.,
L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan*

Deputy Editor-in-Chief:

Zh.K. Masalimov, *Candidate of Biological Sciences, Associate professor,
L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan*

Editorial board

Akilzhanova A.R.	Doctor of Medical Sciences, PhD, Nazarbayev University, Astana (Kazakhstan)
Alikulov Z.A.	Prof., Can. of Biological Sciences, L.N. Gumilyov ENU, Astana (Kazakhstan)
Askarova Sh.N.	PhD, Can. of Biological Sciences, Nazarbayev University, Astana (Kazakhstan)
Au W.	PhD, Prof., University of Texas, Texas (USA)
Bisenbayev A.K.	Doctor of Biological Sciences, Prof., Academician of NAS RK, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty (Kazakhstan)
Zdunek-Zastocka E.	PhD, Prof, Warsaw University of Life Sciences, Warsaw (Poland)
Izzotti A.	PhD, Prof., University of Genoa, Genoa (Italy)
Ilderbayev O.Z.	Doctor of Medical Sciences, Prof., L.N. Gumilyov ENU, Astana (Kazakhstan)
Kolomicz M.	PhD, Prof., University of Texas, Texas (USA)
Konstantinov Yu.M.	Doctor of Biological Sciences, Prof., Irkutsk State University, Irkutsk (Russia)
Kurmanbayeva A.B.	PhD, teacher-researcher, L.N. Gumilyov ENU, Astana (Kazakhstan)
Pozo M.J.	PhD, Zaidin Experimental Station of the Spanish National Research Council, Granada (Spain)
Rubtsov N.	Doctor of Biological Sciences, Prof., Institute of Cytology and Genetics, Novosibirsk (Russia)
Sagi M.	PhD, Prof., Ben Gurion University of the Negev, Beer Sheva (Israel)
Sarbassov D.D.	PhD, Prof., Nazarbayev University, Astana (Kazakhstan)
Tarlykov P.V.	PhD, Head of the Laboratory, National Center for Biotechnology, Astana (Kazakhstan)
Khalilov R.I.	Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Baku State University, Baku (Azerbaijan)

Editorial address: **2 Satpayev str., of., L.N. Gumilyov Eurasian National University,
Astana, Kazakhstan, 010008**
E-mail: **eurjourbio@enu.kz**

Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University. BIOSCIENCE Series

Owner: Non-profit joint-stock company «L.N. Gumilyov Eurasian National University»

Periodicity: 4 times a year

Registered by the Ministry of Information and Communication of the Republic of Kazakhstan Rediscount certificate
№ KZ11VPY00031938 from 02.02.2021

Address of Printing Office: 13/1 Kazhimukan str., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
010008

Website: <http://bulbio.enu.kz>

Главный редактор:

Р.И. Берсимбай,

профессор, д.б.н., академик НАН РК, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Зам. главного редактора

Ж.К. Масалимов, *к.б.н., доцент, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан*

Редакционная коллегия:

Акильжанова А.Р.	д.м.н., PhD, Назарбаев Университет, Астана (Казахстан)
Аликулов З.А.	к.б.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана (Казахстан)
Аскарова Ш.Н.	к.б.н., PhD, Назарбаев Университет, Астана (Казахстан)
Ау У.	PhD, проф., Техасский университет, Техас (США)
Бисенбаев А.К.	д.б.н., проф., академик НАН РК, КазНУ имени аль-Фараби, Алматы (Казахстан)
Здунек-Застока Э.	PhD, проф., Варшавский университет естественных наук, Варшава (Польша)
Изотти А.	PhD, проф., Университет Генуя, Генуя (Италия)
Ильдербаев О.З.	д.м.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана (Казахстан)
Коломиец М.	PhD, профессор, Техасский университет, Техас (США)
Константинов Ю.М.	д.б.н., проф., Иркутский государственный университет, Иркутск (Россия)
Курманбаева А.Б.	PhD, преподаватель-исследователь, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана (Казахстан)
Позо М.Х.	PhD, Экспериментальная станция Zaidin Испанского национального исследовательского совета, Гранада (Испания)
Рубцов Н.	д.б.н., профессор, Институт цитологии и генетики, Новосибирск (Россия)
Саги М.	PhD, профессор, Университет имени Бен-Гуриона в Негеве, Беэр-Шева (Израиль)
Сарбасов Д.Д.	PhD, профессор, Назарбаев Университет, Астана (Казахстан)
Тарлыков П.В.	PhD, заведующий лабораторией, Национальный центр биотехнологии, Астана (Казахстан)
Халилов Р.И.	д.ф.-м.н., Бакинский государственный университет, Баку (Азербайджан)

Адрес редакции: **010008, Казахстан, г. Астана, ул. Сатпаева, 2,**
Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева
E-mail: eurjourbio@enu.kz

Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева. Серия БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ
Собственник: НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева»

Периодичность: 4 раза в год

Зарегистрирован Министерством информации и коммуникаций Республики Казахстан Свидетельство о постановке на переучет № KZ11VPY00031938 от 02.02.2021 г.

Адрес типографии: 010008, Казахстан, г. Астана, ул. Кажымукана, 13/1,

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева

Сайт: <http://bulbio.enu.kz>

МАЗМҰНЫ/ CONTENT/ СОДЕРЖАНИЕ

А.П. Науанова, А.Н. Қонқыбаева, Д.М. Ернашева, А.Б. Оңғарбай, А.А. Аманжолова

Ірі қара көңінде таралған *Streptomyces* тұқымдасына жататын актиномицеттердің түрлері, және олардың жаздық бидай өскіндерінің өсуіне әсері.....

A.P. Nauanova, A.N. Konkybayeva, D.M. Yerpasheva, A.B. Onggarbay, A.A. Amanzholova

Types of *Streptomyces* actinomycetes widespread in cattle manure and their influence on the growth of spring wheat seedlings.....

А.П. Науанова, А.Н. Қонқыбаева, Д.М. Ернашева, А.Б. Оңғарбай, А.А. Аманжолова

Виды актиномицетов рода *Streptomyces*, распространенных в навозе КРС, и их влияние на рост проростков яровой пшеницы.....

8

Н. Ибрагимова, М. Лю, А. Айтынова, Т. Гапурхаева, А. Красноштанов, Г. Пономарева, К. Шойбек, Д. Иса

Тышқандардағы *Proteus mirabilis*-индукцияланған несеп-жыныс жолдарының инфекциясына (ЖЖИ) жаңа антибиотик күшейткішін (ПА) әсерінің бағалау.....

N. Ibragimova, M. Lyu, A. Aitynova, T. Gapurkhaeva, A. Krasnoshtanov, G. Ponomareva, K. Shoibek, D. Issa

Evaluation of a novel Potentiator of Antibiotic (PA) effect on *Proteus mirabilis*-induced urinary tract infection (UTI) in mice.....

Н. Ибрагимова, М. Лю, А. Айтынова, Т. Гапурхаева, А. Красноштанов, Г. Пономарева, К. Шойбек, Д. Иса

Оценка эффекта нового потенциатора антибиотиков (ПА) на инфекцию мочевыводящих путей (ИМП), индуцированной *Proteus mirabilis* у мышей.....

28

А.Б. Тусупова, Р.К. Татаева, Ж.П. Сембаева, С.И. Чухатина, О.Ю. Федоренко, М.М. Байбулова

Серотонергиялық және дофаминергиялық жүйенің гендері және олардың суицидтік мінез-құлықпен байланысты полиморфизмдері.....

A.B. Tussupova, R.K. Tatayeva, Zh.P. Sembaeva, S.I. Chukhatina, O.Yu. Fedorenko, M.M. Baibulova

Serotonergic and dopaminergic system genes and their polymorphisms associated with suicidal behavior.....

А.Б. Тусупова, Р.К. Татаева, Ж.П. Сембаева, С.И. Чухатина, О.Ю. Федоренко, М.М. Байбулова

Гены серотонинергической и дофаминергической системы и их полиморфизмы, ассоциированные с суицидальным поведением.....

41

М.Н. Жүсіп, Қ.Қ. Ахметов, А.В. Мищенко, А.Б. Калиева

Павлодар облысының жасыл екпелеріндегі терек (*Populus L.*) жапырақтарының минерлері.....

М.Н. Zhussip, К.К. Akhmetov, A.V. Mishchenko, A.B. Kaliyeva Leaf miners of poplar (<i>Populus</i> L.) in green spaces of Pavlodar region.....	
М.Н. Жусип, К.К. Ахметов, А.В. Мищенко, А.Б. Калиева Листоные минеры тополя (<i>Populus</i> L.) в зеленых насаждениях Павлодарской области.....	62
А.Т. Самат, Б. Бекболат, А. Солтабаева, К. Жанасова, М.Т. Мырзабаева, М.К. Бейсекова, А. Бектұрова, Ж. Нұрбекова, Ж.К. Масалимов, А.Б. Құрманбаева Жоғары температура стрессінің <i>Hordeum vulgare</i> L. өсуіне әсері.....	
A.T. Samat, B. Bekbolat, A. Soltabayeva, K. Zhanassova, M.T. Myrzabayeva, M.K. Beisekova, A. Bekturova, Zh. Nurbekova, Zh.K. Masalimov, A.B. Kurmanbayeva Effect of high temperature stress on <i>Hordeum vulgare</i> L. growth.....	
А.Т. Самат, Б. Бекболат, А. Солтабаева, К. Жанасова, М.Т. Мырзабаева, М.К. Бейсекова, А. Бектұрова, Ж. Нұрбекова, Ж.К. Масалимов, А.Б. Құрманбаева Влияние высокотемпературного стресса на рост <i>Hordeum vulgare</i> L.....	76
Д.Т. Утеулиева, Ж.М. Ихласова, А.С. Бисенгазиева, С.Н. Бохорова, Ә.Д. Құрмекеш, А.У. Туякбаева, С.М. Хан Лерха жусан-еркек бидайық (<i>Agropyron sibiricum, Artemisia lerchiana</i>) қауымдастығындағы органикалық заттардың қор динамикасы.....	
D.T. Uteulieva, Zh. M.Ikhlalova, A. S.Bisengazieva, S.N. Bokhorova, A.D. Kurmekesh, A.U. Tuyakbayeva, S.M. Khan Dynamics of organic matter reserves in the lerh wormwood – wheatgrass (<i>Agropyron sibiricum, Artemisia lerchiana</i>) community.....	
Д.Т. Утеулиева, Ж.М. Ихласова, А.С. Бисенгазиева, С.Н. Бохорова, А.Д. Курмекеш, А.У. Туякбаева, Ш.М. Хан Динамика запасов органического вещества в лерхополынно – житняковом (<i>Agropyron sibiricum, Artemisia lerchiana</i>) сообществе.....	93
Г.Ж. Сұлтанғазина, А.Н. Куприянов, С.Б. Қуанышбаев, В.Н. Чашков, А. Ысқақ, А.Б. Нугманов, Д.А. Исаева <i>Pinus sylvestris</i> L. түрінің өрттен кейінгі алқаптарда қалпына келуіне арналған орман өсіру жағдайлары (Аманқарағай және Қазанбасы аралды ормандары, Қостанай облысы)	
G.J. Sultangazina, A.N. Kuprijanov, S.B. Kuanyshbayev, V.N. Chashkov, A. Yskak, A.B. Nugmanov, D.A. Issayeva Forest conditions for the regeneration of <i>Pinus sylvestris</i> L. in burnt areas (island pine forests of Amankaragai and Kazanbasy, Kostanay Region).....	
Г.Ж. Сұлтангазина, А.Н. Куприянов, С. Б. Қуанышбаев, В.Н. Чашков, А. Ысқақ, А.Б. Нугманов, Д.А. Исаева Лесорастительные условия для возобновления <i>Pinus sylvestris</i> L. на гарях (островные боры Аманкарагай и Казанбасы, Костанайская область).....	111
П.В. Веселова, Д.И. Маралов, Г.М. Құдабаева, Г.Т. Ситпаева, З.А. Инелова, А.Ж. Чилдибаева, К.С. Избастина Бетпақдала шөлінің флорасындағы <i>Poaceae Barnhart</i> тұқымдасының түрлік алуандығы (Ұлытау облысы).....	
P.V. Vesselova, D.I. Maralov, G.M. Kudabayeva, G.T. Sitpayeva, Z.A. Inelova, A.Z. Childibaeva, K.S. Izbastina Species diversity of the family <i>Poaceae Barnhart</i> in the flora of the <i>Betpakdala Desert</i> (Ulytau region).....	
П.В. Веселова, Д.И. Маралов, Г.М. Құдабаева, Г.Т. Ситпаева, З.А. Инелова, А.Ж. Чилдибаева, К.С. Избастина Видовое разнообразие семейства <i>Poaceae Barnhart</i> флоры пустыни бетпақдала (Улытауская область).....	129

Р.М. Уалиева, А.В. Осипова, М.М. Каверина, А.А. Фаурат, С.Б. Жангазин

Гиперспектралды деректерді пайдалану арқылы жаздық бидай зиянкестерінің спектрлік сипаттамалары: диагностикасы және түсінің бейімделу ерекшеліктері.....

R.M. Ualiyeva, A.V. Osipova, M.M. Kaverina, A.A. Faurat, S.B. Zhangazin

Spectral Characteristics of Spring Wheat Pests Using Hyperspectral Data: Diagnostics and Adaptation Features of Colouring.....

Р.М. Уалиева, А.В. Осипова, М.М. Каверина, А.А. Фаурат, С.Б. Жангазин

Спектральные характеристики вредителей яровой пшеницы с использованием гиперспектральных данных: диагностика и адаптационные особенности окраса.....

148

М.С. Бақытжанова, К.Х. Махмудова, А.У. Тұяқбаева, Н.А. Утарбаева, А.А. Биткеева, Т. Атичи

Linaria cretacea Fisch ex Spreng. (*Plantaginaceae*) фитохимиялық және элементтік құрамы

M.S. Bakytzhanova, K.H. Makhmudova, A.U. Tuyakbayeva, N.A. Utarbayeva, A.A. Bitkeyeva, T. Atici

Phytochemical and elemental composition of the *Linaria cretacea* Fisch ex Spreng (*Plantaginaceae*)

М.С. Бақытжанова, К.Х. Махмудова, А.У. Тұяқбаева, Н.А. Утарбаева, А.А. Биткеева, Т. Атичи

Фитохимический и элементный состав *Linaria cretacea* Fisch ex Spreng (*Plantaginaceae*)

169

М. Кадырбаев, Е.Д. Данилова, Е.В. Бойко

Ауыл шаруашылығы дақылдарының өнімділігі мен тұрақтылығының индукторлары ретінде өсімдік тектес сығындыларды пайдалану перспективалары.....

M. Kadyrbaev, E.D. Danilova, E.V. Boyko

Prospects for the use of plant-derived extracts as inducers of productivity and sustainability of agricultural crops

М. Кадырбаев, Е.Д. Данилова, Е.В. Бойко

Перспективы использования растительных экстрактов в качестве стимуляторов продуктивности и устойчивости сельскохозяйственных культур.....

184



МРНТИ 06.33.29

<https://doi.org/10.32523/2616-7034-2025-151-2-8-27>

Научная статья

Виды актиномицетов рода *Streptomyces*, распространенных в навозе КРС, и их влияние на рост проростков яровой пшеницы

А.П. Науанова^{1,2}, А.Н. Конкыбаева^{2*}, Д.М. Ерпашева², А.Б. Онгарбай²,
А.А. Аманжолова²

¹Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан

²Био-КАТУ, Астана, Казахстан

*Автор-корреспондент: adina.kon@mail.ru

Аннотация. В данной статье представлены культурально-морфологические признаки актиномицетов, выделенных из коровьего навоза, а также результаты их генотипирования и оценки ростостимулирующих свойств в отношении к проросткам яровой пшеницы. В условиях *in vitro* была проведена инокуляция семян штаммами *Streptomyces macrosporeus* шт.№32, *Streptomyces albogriseolus* шт.№37, *Streptomyces pratensis* шт.№24, *Streptomyces griseorubens* шт.№34 и *Streptomyces flavofuscus* шт.№38, *Streptomyces pratensis* шт.№24. В результате была установлена высокая эффективность этих микроорганизмов в стимулировании роста растений. Обработка семян культуральными фильтратами штаммов *Str. albogriseolus* шт.№37 и *Str. flavofuscus* шт.№38 обеспечила 100% всхожесть семян, что свидетельствует о высокой биологической эффективности данных штаммов. Некоторые штаммы эффективно стимулировали развитие корневой системы, тогда как другие увеличивали всхожесть семян или демонстрировали способность к синтезу цитокининов. Так, обработка семян пшеницы суспензией штаммов *Str. pratensis* шт.№24, *Str. griseorubens* шт.№34, *Str. albogriseolus* шт.№37 и *Str. flavofuscus* шт.№38 привела к заметному повышению всхожести. Максимальное увеличение длины корешков составил 1,8 раза, а длина проростков увеличилась в 3,3 раза по сравнению с контролем, что свидетельствует о целесообразности использования данных штаммов в агрономии. Наиболее выраженное влияние на развитие проростков оказывали штаммы *Str. flavofuscus* шт.№38, *Str. albogriseolus* шт.№37 и *Str. griseorubens* шт.№34, причем максимальная длина проростков была достигнута при инокуляции штаммом *Str. flavofuscus* шт.№38, что указывает на его высокую ростостимулирующую активность. Для стимуляции роста корешков оптимальными оказались штаммы *Str. albogriseolus* шт.№37 и *Str. flavofuscus* шт.№38, обеспечивающие увеличение длины корней до 1,7 раза по сравнению с контролем. В этом контексте использование штаммов *Streptomyces sp* в качестве биопрепаратов представляет собой перспективное направление для экологически чистого сельского хозяйства.

Ключевые слова: актиномицеты, коровий навоз, пшеница, питательные среды, ростостимулирующие свойства

Поступила: 23.03.2025. Одобрена: 24.06.2025. Доступна онлайн: 04.07.2025

Введение

Экономическое развитие Казахстана как аграрной республики во многом определяется состоянием сельскохозяйственного сектора, который зависит от высокой урожайности, преимущественно зерновых культур. Зерновые культуры являются универсальным фактором экономической стабильности страны. В этом контексте биопрепараты играют ключевую роль, наделяя фермерские практики новыми возможностями и открывая горизонты для устойчивого развития. С учетом нарастающего влияния экологических факторов и изменения климата актуальной задачей является использование природных механизмов, способствующих восстановлению и поддержанию плодородия почвы [1].

Успешность сельскохозяйственного производства, урожайность и качество продукции напрямую связаны с биологической активностью почвы, на которую влияют численность и состав микрофлоры, включающей как полезные, так и патогенные микроорганизмы [2,3]. Поиск новых источников биологически активных веществ природного происхождения остается актуальной задачей, учитывая рост доли биопрепаратов в сельском хозяйстве и повышения устойчивости вредоносных организмов к традиционным средствам защиты растений [4].

Актиномицеты составляют значительную часть микробного сообщества почвы [5]. В частности, почвенные актинобактерии рода *Streptomyces* представляют собой неисчерпаемый источник биоактивных соединений. Несмотря на то, что в современных базах данных зарегистрировано свыше 10 тысяч биологически активных соединений, синтезируемых этими микроорганизмами, их биологический потенциал остается далеко не полностью изученным [6].

Род *Streptomyces* является крупнейшей группой семейства актинобактерий *Streptomycetaceae*, включающей более 691 верифицированного вида. Наибольший интерес представляют их биологически активные вторичные метаболиты, включая противогрибковые, противовирусные, противоопухолевые и гипотензивные соединения, а также антибиотики и иммунодепрессанты [7].

Продуктивность сельского хозяйства во многом зависит от присутствия почвенных микроорганизмов, способных продуцировать ферменты, белки и антибиотики, подавляющие фитопатогены и защищающие растения от заболеваний [8]. Однако не все микроорганизмы обладают такими функциями [9].

Идентификация микроорганизмов достигает видового уровня, что позволяет оценить их потенциальные биотехнологические свойства [10]. Классификация актиномицетов представляет собой сложную задачу, требующую анализа их биохимических свойств. Тем не менее, с помощью морфологического определителя Гаузе можно дифференцировать роды *Streptomyces* и классифицировать его представителей по секциям и сериям [11].

Анализ соотношения морфотипов позволяет оценить структуру актиномицетного комплекса в разных экосистемах [12,13]. При определенных условиях актиномицеты способны синтезировать антибиотики, что стало основой для создания биопрепаратов, стимулирующих рост и развитие растений [14].

Изменения в составе микробных групп, таких, как бактерии, актиномицеты и грибы, способствуют глубокому пониманию процессов компостирования [15]. Хотя большинство

исследований сосредоточено на микробных изменениях в процессе компостирования, анализ свежих образцов навоза остается недостаточно изученным [16].

В последние годы использование полезных микроорганизмов в сельском хозяйстве продемонстрировало их положительное влияние на урожайность и качество зерновых культур в неблагоприятных условиях [17-19].

Целью данного исследования является изучение способности некоторых штаммов актиномицетов, выделенных из коровьего навоза, к образованию биомассы на различных питательных средах и их влияния на рост яровой пшеницы. Ключевую роль в разработке биопрепарата играют численность и состав микроорганизмов, что делает актуальным поиск и характеристику перспективных штаммов для экологически чистого сельского хозяйства.

Материалы и методы исследований

Исследование проводилось с применением как общепринятых, так и специализированных методов. Для достижения поставленных целей использовались микробиологические техники, включая селективные питательные среды и метод серийного разведения. Таксономическая классификация выделенных микроорганизмов проводилась с помощью окрашивания культур и последующего микроскопического анализа морфологических характеристик [20].

Объектом исследования являлся коровий навоз. Эксперименты проводились в лаборатории биотехнологии микроорганизмов ТОО «Био-КАТУ». Изоляция микроорганизмов из коровьего навоза осуществлялась методом посева разведенных суспензий на плотные питательные среды [21].

Количественное содержание бактерий, использующих органическую форму азота, оценивали на мясопептонном агаре (МПА); а для бактерий и актиномицетов, использующих минеральный источник азота, применяли крахмало-аммиачный агар (КАА). Аэробные целлюлозоразрушающие микроорганизмы выявляли на среде Гетчинсона с последующим разделением по группам [22]. Численность и структура микробного комплекса определялась методом посева разведений на плотные питательные среды. Общая микробная обсемененность вычислялась по числу выросших колоний, а колониеобразующие единицы (КОЕ) в 1 мл рассчитывались по формуле (1):

$$M = a \times 10^n / V, \quad (1)$$

где a – количество выросших колоний;

10^n – разведение;

V – посевная доза (0,1 мл).

Идентификация микроорганизмов проводилась методом прямого секвенирования нуклеотидной последовательности 16S рРНК. Для определения нуклеотидной идентичности использовали сравнение с международной базой Gene Bank. Амплификация гена

16S рРНК проводилась с помощью ПЦР с праймерами «8f 5'–AGAGTTTGATCCTGGCTCAG-3'» и «806R- 5' GGACTACCAGGGTATCTAAT». Идентификация проводилась в Gene Bank с алгоритмом BLAST (<http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/>).

Выделение ДНК осуществляли с использованием набора «ДНК/РНК-С-ФАКТОР», а ее концентрацию определяли с помощью спектрофотометра NanoDrop 1000 при длинах волн 260 нм и 280 нм. Реакция ПЦР включала компоненты, такие, как 25 нг ДНК и Taq Polymerase, термоциклирование при 95°C, 55°C и 72°C.

Анализ амплифицированных фрагментов проводили методом электрофореза в агарозном гелем в системе PowerPac, визуализируя ДНК с бромидом этидия. Очистку ПЦР-продуктов выполняли методом магнитной очистки. Секвенирование осуществлялось с использованием BigDye® Terminator Kit, а анализ последовательности выполняли в SeqMan (DNA Star) с последующим сравнением с базами данных. Филогенетические деревья строили с использованием программы Mega X и алгоритм Muscle [23].

В лабораторных условиях, в соответствии с методикой О.А. Берестецкого [24], исследовали ростостимулирующие свойства культуральных фильтратов (КФ) актиномицетов на проростках яровой пшеницы.

Семена замачивали в КФ в течение 24 часов. В каждом варианте использовали 30 семян, свободных от внешних признаков заболеваний. По завершении обработки семена промывали водопроводной водой, затем переносились на фильтровальную бумагу в чашки Петри, где их культивировали в течение семи суток при 20-22°C. В результате анализа были определены ключевые показатели: энергия прорастания, всхожесть семян, общее количество проросших семян, а также длина как ростка, так и корня.

Полученные результаты расширяют представления о взаимодействии микроорганизмов и сельскохозяйственных культур, демонстрируя влияние почвенной микробиоты на рост и развитие растений. Исследование подчеркивает значимость актиномицетов в экологически устойчивом сельском хозяйстве, открывая перспективы для разработки эффективных биопрепаратов.

Результаты исследования

Изучен микробный состав коровьего навоза с акцентом на количественный и качественный анализ микроорганизмов. Выделение микроорганизмов проводилось на четырех различных твердых питательных средах: МПА, КАА, Эшби и Гаузе (Таблица 1). Результаты микробиологического анализа показали, что исследуемые образцы содержат широкий спектр микроорганизмов различных категорий. В свежем навозе отмечено значительное количество микроорганизмов, использующих органические формы азота.

Таблица 1

Результаты микробиологического анализа навоза на твердых питательных средах (КОЕ/мл)

Вариант	МПА	КАА	Гаузе	Эшби
Коровий навоз	9×10 ⁶	7×10 ⁶	4×10 ⁴	20×10 ⁶

Согласно полученным данным, число аммонификаторов на МПА составило 9 млн/мл, тогда как микроорганизмы, потребляющие минеральные формы азота, были зафиксированы в количестве 7 млн/мл на крахмально-аммиачном агаре. Оценка количественного и качественного состава микроорганизмов, обитающих в свежем навозе, позволила выделить чистые культуры для последующего изучения их свойств и потенциального использования в разработке эффективных биопрепаратов. Хотя некоторые из этих микроорганизмов могут способствовать росту растений и повышению плодородия почвы.

Таблица 2 содержит описание культурально-морфологических признаков выделенных штаммов. Колонии бактерий, выделенные на МПА, характеризуются круглой формой, матовой текстурой и ровными краями, с окраской от белого до бело-желтого (таблица 2). Их диаметр на чашках Петри составляет 5 мм, структура колоний однородная и мелкозернистая, при этом многие штаммы пропускают свет.

Таблица 2

**Культурально-морфологические свойства актиномицетов,
выделенных из коровьего навоза**

Штаммы	Среда	Размер, мм	Форма	Профиль	Край	Поверхность	Оптические свойства поверхности	Цвет	Структура	Консистенция
шт.№24	Гаузе	10	К	В	Р	Г	Непрозрачная	Оранжевый	Неоднородная	С
шт.№32	МПА	5	К	П	Р	М	Прозрачная	Белый	Однородная	Пл
шт.№34	КАА	4	К	В	Н	М	Непрозрачная	Белый	Однородная	С
шт.№37	КАА	2	К	В	Р	Г	Непрозрачная	Белый с ободком	Однородная	Пл
шт.№38	КАА	2,5	К	В	Н	Г	Прозрачная	Бело-молочный	Однородная	С
шт.№41	Гетчинсон	5,8	К	В	Г	Г	Непрозрачная	Бело-серый	Однородная	С

Примечание: К- Круглая; В – Выпуклый; П – Плоский; Р – Ровный; Н – Неровный; М – Матовая; Г – Гладкий; С – Слизистая; Пл – Плотная.

В результате генотипирования микроорганизмов выявлено, что в навозе КРС распространены такие виды, как *Streptomyces flavofuscus*, *Streptomyces griseorubens*, *Streptomyces albogriseolus*, *Streptomyces macrosporeus*, *Streptomyces pratensis* (таблица 3).

Колонии, выращенные на питательной среде Гаузе, имеют выпуклый профиль, гладкую поверхность и окраску от светло-бледного до оранжевого. Диаметр этих колоний доходит до 10 мм, их структура неоднородная, но более крупнозернистая, а оптические свойства большинства штаммов мутные. Консистенция колоний сухая.

Бактерии, выросшие на среде КАА, образовывали выпуклые колонии с глянцевой текстурой, цвет которых варьировался от прозрачного до белого, а диаметр составлял 2-4 мм.

Микроорганизмы, разрушающие целлюлозу, формировали выпуклые колонии с порошкообразной поверхностью, окрашенные в белый или серый цвет, с диаметром 5-6 мм. На среде Гетчинсона преобладали почвенные актиномицеты.

Таблица 3

Результаты генотипирования микроорганизмов

№ п/п	Последовательность	Наименование штамма
1	TGCGGCGTGCTTACACATGCAAGTCGAACGATGAACCACTTCGGTGCGGATT AGTGGCGAACGGGTGAGTAACACGTGGGCAATCTGCCCTGCACTCTGGGACAA GCCCTGGAAACGGGGTCTAATACCGGATACTGACCCGCTTGGGCATCCAAGCG GTTTCGAAAGCTCCGGCGGTGCAGGATGAGCCCGCGGCCTATCAGCTTGTGGT GAGGTAATGGCTCACCAAGGCGACGACGGGTAGCCGGCCTGAGAGGGCGACCG GCCACACTGGGACTGAGACACGGCCCAGACTCCTACGGGAGGCAGCAGTGGGG AATATTGCACAATGGGCGAAAGCCTGATGCAGCGACGCCGCTGAGGGATGAC GGCCTTCGGGTGTAAACCTCTTTCAGCAGGGAAGAAGCGAAAGTGACGGTAC CTGCAGAAGAAGCGCCGGCTAACTACGTGCCAGCAGCCGCGTAATACGTAGG GCGCGAGCGTTGTCCGGAATTATTGGGCGTAAAGAGCTCGTAGGCGGCTTGT GCGTCGGTTGTGAAAGCCCGGGGCTTAACCCCGGGTCTGCAGTCGATACGGGC AGGCTAGAGTTTCGGTAGGGGAGATCGGAATTCCTGGTGTAGCGGTGAAATGCG CAGATATCAGGAGGAACACCGGTGGCGAAGGCGGATCTCTGGGCCGATACTGA CGCTGAGGAGCGAAAGCGTGGGGAGCGAACAGGATTAGATAC	<i>Streptomyces macrosporeus</i> шт.№24
2	GCATGCTTACACATGCAAGTCGAACGATGAACCACTTCGGTGCGGATTAGTG GCCAACGGGTGAGTAACACGTGGGCAATCTGCCCTGCACTCTGGGACAAGCC CTGGAAACGGGGTCTAATACCGGATACTGACCCGCTTGGGCATCCAAGCGGT TCGAAAGCTCCGGCGGTGCAGGATGAGCCCGCGGCCTATCAGCTTGTGGTGA GGTAATGGCTCACCAAGGCGACGACGGGTAGCCGGCCTGAGAGGGCGACCGGC CACACTGGGACTGAGACACGGCCCAGACTCCTACGGGAGGCAGCAGTGGGGAA TATTGCACAATGGGCGAAAGCCTGATGCAGCGACGCCGCTGAGGGATGACGG CCTTCGGGTGTAAACCTCTTTCAGCAGGGAAGAAGCGAAAGTGACGGTACCT GCAGAAGAAGCGCCGGCTAACTACGTGCCAGCAGCCGCGTAATACGTAGGGC GCGAGCGTTGTCCGGAATTATTGGGCGTAAAGAGCTCGTAGGCGGCTTGTAC GTCGGTTGTGAAAGCCCGGGGCTTAACCCCGGGTCTGCAGTCGATACGGGCAG GCTAGAGTTTCGGTAGGGGAGATCGGAATTCCTGGTGTAGCGGTGAAATGCGCA	<i>Streptomyces albogriseolus</i> шт.№32
	GATATCAGGAGGAACACCGGTGGCGAAGGCGGATCTCTGGGCCGATACTGACG CTGAGGAGCGAAAGCGTGGGGAGCGAACAGGATTAGATACCCTGGTAGT	

3	TCGTACGATGAAGCCGCTTCGGTGGTGGATTAGTGGCGAACGGGTGAGTAAC ACGTGGGCAATCTGCCCTTCACTCTGGGACAAGCCCTGGAACGGGGTCTAA TACCGGATAACACTCTGTCCCGCATGGGACGGGGTTAAAAGCTCCGGCGGTG AAGGATGAGCCCGCGGCCTATCAGCTTGTGGTGGGGTAATGGCCTACCAAG GCGACGACGGGTAGCCGGCCTGAGAGGGCGACCGGCCACACTGGGACTGAGAC ACGGCCAGACTCCTACGGGAGGCAGCAGTGGGGAATATTGCACAATGGGCGA AAGCCTGATGCAGCGACGCCGCTGAGGGATGACGGCCTTCGGGTGTAAAC	Streptomyces pratensis шт.№34
4	TACACATGCAGTCGAACGATGAACCACTTCGGTGGGGATTAGTGGCGAA CGGGTGAGTAACACGTGGGCAATCTGCCCTGCACTCTGGGACAAGCCCT GGAACGGGGTCTAATACCGGATACTGACCCGCTTGGGCATCCAAGCGGT TCGAAAGCTCCGGCGGTGCAGGATGAGCCCGCGGCCTATCAGCTTGTGG TGAGGTAATGGCTACCAAGGCGACGACGGGTAGCCGGCCTGAGAGGGCG ACCGGCCACACTGGGACTGAGACACGGCCAGACTCCTACGGGAGGCAGC AGTGGGGAATATTGCACAATGGGCGAAA	Streptomyces griseorubens шт.№37
5	TCGTACGATGAAGCCGCTTCGGTGGTGGATTAGTGGCGAACGGGTGAGTAAC ACGTGGGCAATCTGCCCTTCACTCTGGGACAAGCCCTGGAACGGGGTCTAA TACCGGATAACACTCTGTCCCGCATGGGACGGGGTTAAAAGCTCCGGCGGTG AAGGATGAGCCCGCGGCCTATCAGCTTGTGGTGGGGTAATGGCCTACCAAG GCGACGACGGGTAGCCGGCCTGAGAGGGCGACCGGCCACACTGGGACTGAGAC ACGGCCAGACTCCTACGGGAGGCAGCAGTGGGGAATATTGCACAATGGGCGA AAGCCTGATGCAGCGACGCCGCTGAGGGATGACGGCCTTCGGGTGTAAAC	Streptomyces pratensis шт.№38
6	CCACATGCAAGTCGAACGATGAAGCCGCTTCGGTGGTGGATTAGTGGCGAACG GGTGAGTAACACGTGGGCAATCTGCCCTTCACTCTGGGACAAGCCCTGGAAC GGGGTCTAATACCGGATAACACTCTGTCCCGCATGGGACGGGGTTAAAAGCTC CGGCGGTGAAGGATGAGCCCGCGGCCTATCAGCTTGTGGTGGGGTAATGGCC TACCAAGGCGACGACGGGTAGCCGGCCTGAGAGGGCGACCGGCCACACTGGGA CTGAGACACGGCCAGACTCCTACGGGAGGCAGCAGTGGGGAATATTGCACA	Streptomyces flavofuscus шт.№41

В таблице 4 представлены результаты по депонированию полученных нуклеотидных последовательностей актиномицетов в международной базе данных GenBank.

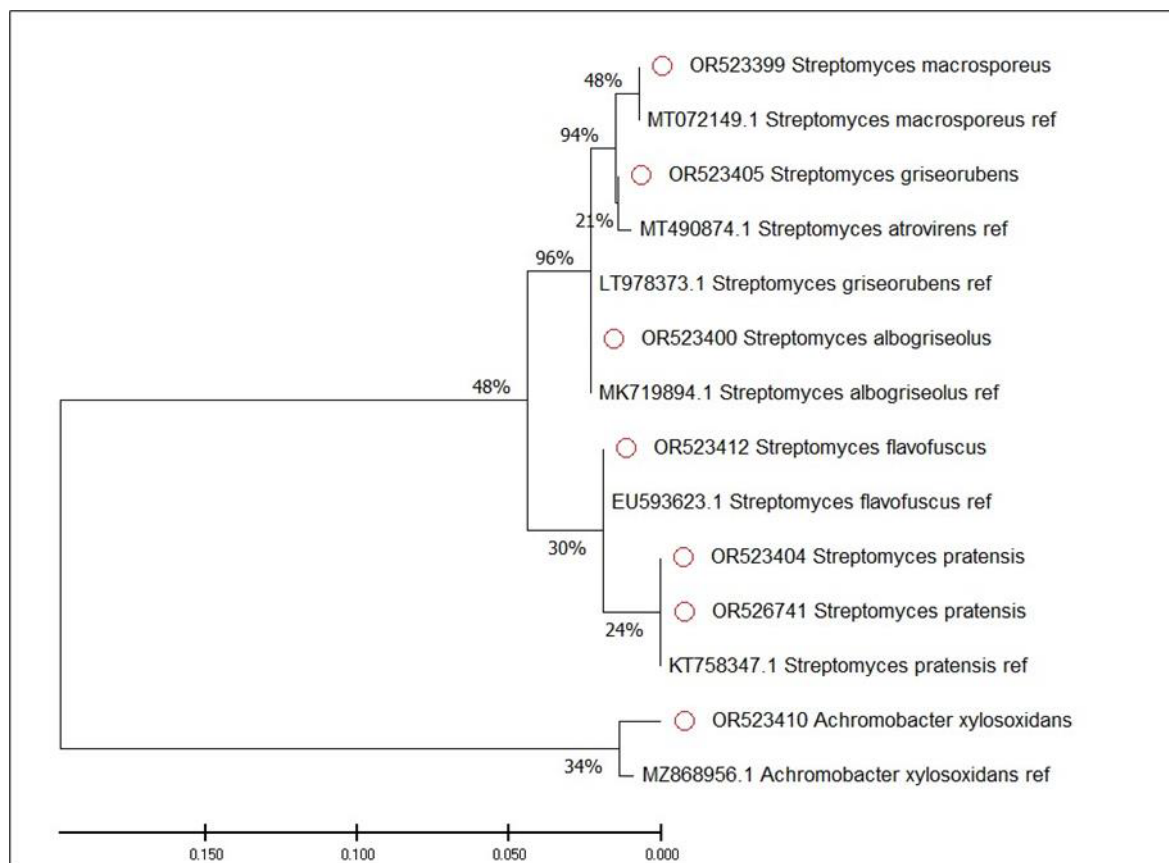
Таблица 4

Депонирование нуклеотидных последовательностей

Наименование штамма	№ депонирования
<i>Streptomyces macrosporeus</i> шт.№24	OR523399
<i>Streptomyces albogriseolus</i> шт.№32	OR523400
<i>Streptomyces pratensis</i> шт.№34	OR523404
<i>Streptomyces griseorubens</i> шт.№37	OR523405
<i>Streptomyces pratensis</i> шт.№38	OR526741
<i>Streptomyces flavofuscus</i> шт.№41	OR523412

На основании извлеченных нуклеотидных последовательностей бактериальных штаммов был осуществлён филогенетический анализ, включающий в себя построение

филогенетических деревьев. Эти деревья отображают эволюционные взаимосвязи между организмами, раскрывая их генетическую наследственность и филогенетическую историю (Рисунок 1).



Примечание: Красным кругом отмечены образцы, исследованные в данной работе.

Рисунок 1. Филогенетическое дерево исследованных образцов по маркерному гену 16s rRNA с использованием метода максимального правдоподобия

Для разработки биопрепаратов на основе актиномицетов, выделенных из коровьего навоза, было изолировано шесть чистых культур с использованием микробиологических методов. В условиях лаборатории исследовалось, как различные штаммы влияют на рост проростков твердой пшеницы (Таблица 5).

Всхожесть является ключевым показателем качества семян, отражающим их пригодность для посева. Этот параметр определяется как доля нормально проросших семян в пробе и выражается в процентах. Семена с высокой всхожестью при соблюдении оптимальной агротехники дают быстрые и крепкие ростки. Семена, не соответствующие стандартным требованиям по всхожести, не допускаются к посеву. Повышение всхожести сельскохозяйственных культур остаётся одной из приоритетных задач в семеноводстве.

Таблица 5

Влияние культуральных фильтратов микроорганизмов на рост и развитие пшеницы

Штамм №	Энергия прорастания, %	Всхожесть, % (6 сутки)	Длина ростка, см	Длина корешка, см	Число корешков, шт
Контроль	62±2	90±0	2,15±0,7	2,85±0,01	4,5±0,06
<i>Str. pratensis</i> шт.№24	82±2	97±2,6	3,0±0,1	3,66±0,02	4,89±0,01
<i>Str. macrosporeus</i> шт.№32	83±3,6	95±1	2,7±0,17	3,3±0,1	4,8±0,01
<i>Str. griseorubens</i> шт.№34	92±2	92±1	5,82±0,01	3,17±0,02	4,89±0,02
<i>Str. albogriseolus</i> шт.№37	100±0	100±0	6,53±0,02	5,03±0,02	4,9±0,03
<i>Str. flavofuscus</i> шт.№38	100±0	100±0	7,29±0,03	5,15±0,01	4,98±0,01
<i>Str. pratensis</i> шт.№41	95±2	95±1,7	4,84±0,03	3,29±0,01	4,89±0,02
HCP ₀₅	2,7	2,4	0,5	0,06	0,05

В результате эксперимента обработка семян культуральными фильтратами штаммов *Str. albogriseolus* шт.№37 и *Str. flavofuscus* шт.№38 обеспечила 100% всхожесть семян, что свидетельствует о высокой эффективности данных штаммов. Этот показатель является значимым, поскольку всхожесть семян играет ключевую роль в успешном развитии растений.

При исследовании ростостимулирующих свойств новых штаммов были выявлены наиболее активные из них, способные стимулировать рост растений. Некоторые штаммы способствовали развитию корневой системы, другие повышали всхожесть семян или демонстрировали цитокинин продуцирующую активность. Например, обработка семян пшеницы суспензией штаммов *Str. pratensis* шт.№24, *Str. griseorubens* шт.№34, *Str. albogriseolus* шт.№37 и *Str. flavofuscus* шт.№38 привела к значительному увеличению всхожести (Рисунок 2).

Штаммы с цитокинин продуцирующей активностью оказывали существенное влияние на развитие проростков пшеницы. При этом ростки развивались интенсивнее, чем корневая система, что подчеркивает необходимость сбалансированного роста надземной и подземной частей растения. Максимальный рост длины корешков составил 1,8 раза, а длина ростков увеличилась в 3,3 раза по сравнению с контролем, что свидетельствует о целесообразности использования данных штаммов в агрономии.

По результатам исследования наибольшее влияние на развитие проростков оказывали штаммы *Str. flavofuscus* шт.№38, *Str. albogriseolus* шт.№37 и *Str. griseorubens* шт.№34, при этом максимальная длина проростков была достигнута при инокуляции штаммом *Str. flavofuscus* шт.№38, что указывает на его выраженные ростостимулирующие свойства. Для стимуляции роста корешков наиболее эффективными оказались штаммы *Str.*

albogriseolus шт.№37 и *Str. flavofuscus* шт.№38, где прирост длины достигал 1,7 раза по сравнению с контролем. Важно отметить, наибольший эффект на развитие зеленой массы оказали метаболиты, продуцируемые *Str. albogriseolus* шт.№37, *Str. macrosporeus* шт.№32 и *Str. flavofuscus* шт.№38. Таким образом, полученные результаты подтверждают перспективность использования указанных штаммов для повышения урожайности и стимуляции роста растений, что может иметь положительное влияние на сельское хозяйство и агрономию в целом.

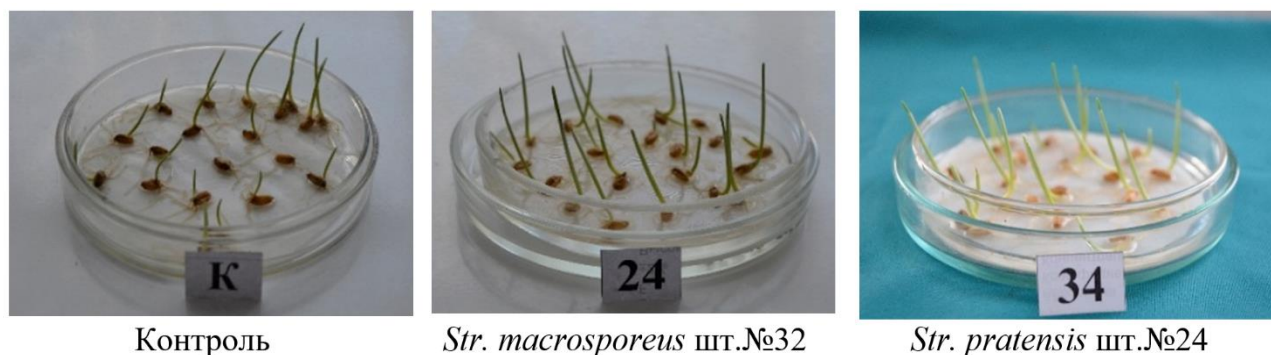


Рисунок 2. Рост и развитие проростков пшеницы под действием КФ штаммов микроорганизмов

Обсуждение

Навоз, являющийся продуктом жизнедеятельности крупного рогатого скота (КРС), представляет собой ценный источник питательных веществ. При рациональном использовании он способствует повышению плодородия почвы [25,26]. Внесение обработанного навоза КРС может увеличить урожайность сельскохозяйственных культур. Например, применение 60 т/га навоза повышает урожайность яровой пшеницы и сои на 32%, а ячменя – на 59% по сравнению с контрольной группой [27,28].

Исследования *in vitro* продемонстрировали противогрибковую активность изолятов стрептомицетов, продуцирующих боррелидин, против *Pythium aphanidermatum*, *P. splendens*, *P. sylvaticum*, *P. ultimum* и возбудителей фитофтороза, таких, как *Phytophthora capsici*, *P. cinnamomi*, *P. palmivora* и *P. parasitica* [29,30]. Некоторые штаммы *Streptomyces*, колонизирующие корни томатов, повышают их устойчивость к *Rhizoctonia solani* за счет активации липоксигеназы и фенилаланин-аммиачной лиазы, что способствует катаболизму сложных органических веществ и улучшает рост растений.

Применение биопрепаратов снижает потребность в минеральных удобрениях и способствует устойчивому аграрному производству [31]. Грамположительные бактерии рода *Streptomyces* активно чувствуют в стимуляции роста растений и восстановлении почвы [32].

Streptomyces участвуют в разложении сложных соединений, таких, как лигноцеллюлоза, ксилан, целлюлоза и лигнин, способствуя разложению органических материалов в почве [33]. Стрептомицеты, выделенные из растений и ризосферы, демонстрируют

ростостимулирующую активность [34]. Некоторые виды способны усваивать растворимый минеральный фосфор, синтезируя сидерофоры, ауксины, цитокинины и витамины, что улучшает фосфорное питание растений и способствует их развитию [35-37].

В настоящее время использование биопрепаратов рассматривается как альтернативный метод сокращения применения минеральных удобрений и повышения урожайности. Они позволяют эффективно осваивать пустынные территории в экологически безопасных условиях, снижая затраты на сельское хозяйство и повышая доступность питательных веществ [38, 39].

Заключение

В лабораторных условиях были изучены микробиологические свойства коровьего навоза с целью выделения новых штаммов актиномицетов. Выделенные ростостимулирующие штаммы в дальнейшем могут быть использованы для разработки биопрепаратов, направленных на переработку отходов животноводства и повышение урожайности сельскохозяйственных культур.

Результаты исследования показали следующее:

1. Анализ микробного состава коровьего навоза показал 9 млн/мл аммонификаторов, при этом азотфиксирующие бактерии доминировали и достигали 20×10^6 КОЕ/мл.

2. Выявлено, что в навозе крупно-рогатого скота распространены такие виды актиномицетов, как *Str. flavofuscus*, *Str. griseorubens*, *Str. albogriseolus*, *Str. macrosporeus*, *Str. pratensis*. Эти штаммы могут быть использованы для переработки отходов животноводства в органическое удобрение.

3. Выделенные актиномицеты продемонстрировали ростостимулирующие свойства, повышая всхожесть семян твердой пшеницы, особенно при обработке штаммами *Str. pratensis* шт.№24, *Str. griseorubens* шт.№34, *Str. albogriseolus* шт.№37, *Str. flavofuscus* шт.№38. *Str. pratensis* Шт.№24 проявил способность к синтезу цитокининов, а ауксин-продуцирующими свойствами обладали штаммы *Str. pratensis* шт.№24 и *Str. macrosporeus* шт.№32, что активно стимулировало рост корней.

Такой научный подход способен улучшить агрономические практики и способствовать устойчивому развитию сельского хозяйства.

Вклад авторов

Н.А.П. – разработка концепции, утверждение окончательного варианта статьи для публикации. **К.А.Н., О.А.Б., и А.А.А.** – проведение исследования, подготовка и редактирование статьи. **Е.Д.М.** – проведение исследования, написание статьи.

Финансирование

Исследования выполнены в рамках проекта ИРН BR24992961 «Разработка новых технологий переработки угольных отходов с использованием биосистем в органоминеральные удобрения для повышения плодородия почвы и урожайности сельскохозяйственных культур».

Конфликты интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Соблюдение этических норм

Настоящая статья не содержит описания выполненных авторами исследований с участием людей или использованием животных в качестве объектов.

Список литературы

1. Шавкинова ММ, Соколова ОЯ. Факторы, влияющие на содержание актиномицетов в почве. Современное общество: глобальные и региональные процессы. 2021;9-13.
2. Скороходов ВЮ. Биологическая активность почвы как фактор влияния на урожайность при возделывании яровой твёрдой пшеницы в монокультуре и севооборотах степной зоны южного Урала. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2022;3:195-202. doi.org/10.32786/2071-9485-2022-03-23
3. Михайлова НН, Никитина ЕА, Елисеева ЛВ. Влияние микробиологических удобрений на биологическую активность почвы и урожайность гороха. Научно-образовательные и прикладные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции. 2021;178-182.
4. Новикова ИИ. Микробиологическая защита растений - основа фитосанитарной оптимизации агроэкосистем. Защита и карантин растений. 2017;4:3-6.
5. Светлакова НА, Серазетдинова ЮР. Бактерии рода Streptomyces как наиболее важные актиномицеты и их влияние на развитие растений. VIII Пущинская конференция «Биохимия, физиология и биосферная роль микроорганизмов», Школа-конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Генетические технологии в микробиологии и микробное разнообразие»: сборник тезисов. 2022;6. doi.org/10.34756/GEOS.2022.17.38404
6. Dewi TK, Agustiani D, Antonius S. Secondary metabolites production by actinomycetes and their antifungal activity. KnE Life Sciences. 2017;256-264. doi.org/10.18502/cls.v3i4.713
7. Рогожин ЕА, Барашкова АС. Антибиотический потенциал алкалофильных актиномицетов из рода streptomyces //Современные синтетические методологии для создания лекарственных препаратов и функциональных материалов (MOSM 2024). 2024;304-304.
8. Патрушева ММ. Поиск активных антагонистов для борьбы с фузариозом сельскохозяйственных культур. Молодые ученые в решении актуальных проблем науки. 2023;304-305.
9. Албегова АВ. Национальный проект «экология» федеральный проект «чистая страна».
10. Кызметова ЛА. и др. Изучение видового состава микромицетов в лесных почвах Кунгей Алатау (Казахстан). Разнообразие почв и биоты Северной и Центральной Азии. 2021;261-263.
11. Гаузе ГФ, Преображенская ТП, Свешникова МА. Определитель актиномицетов. 1983;247.
12. Назаренко НН, Свистова ИД, Корецкая ИИ. Структура комплекса почвенных актиномицетов в промышленной и транспортной зонах г. Воронежа. Экология урбанизированных территорий. 2015;3:18-21.
13. Назаренко НН, Свистова ИД, Корецкая ИИ. Актиномицеты как биоиндикационный показатель автотранспортного загрязнения почвы. Утилизация отходов производства и потребления: инновационные подходы и технологии. 2020;139-144.

14. Вафин ИХ, Сафин РИ. Оценка эффективности применения физиологически активных веществ и удобрений на озимой пшенице. Агробиотехнологии и цифровое земледелие. 2022;2:19-23.
15. Арипов БФ и др. Динамика биосинтеза белка различными штаммами почвенных актиномицетов. Central Asian Journal of Medical and Natural Science. 2021;2:3:191-198.
16. Tiquia SM, Wan HC, Tam NFY. Microbial population dynamics and enzyme activities during composting. Compost science & utilization. 2002;10:2:150-161. doi.org/10.1080/1065657X.2002.10702075
17. Mumtaz MZ, et al. Production of lactic and acetic acids by Bacillus sp. ZM20 and Bacillus cereus following exposure to zinc oxide: A possible mechanism for Zn solubilization. Rhizosphere. 2019;12:100170. doi.org/10.1016/j.rhisph.2019.100170
18. Hussain A, et al. Production and implication of bio-activated organic fertilizer enriched with zinc-solubilizing bacteria to boost up maize (Zea mays L.) production and biofortification under two cropping seasons. Agronomy. 2019;10:1:39. doi.org/10.3390/agronomy10010039
19. Zhu Y, et al. Plant growth-promoting rhizobacteria: A good companion for heavy metal phytoremediation. Chemosphere. 2023;338:139475. doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139475
20. Batubara UM, et al. Isolation and characterization of cellulolytic bacteria diversity in peatland ecosystem and their cellulolytic activities. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021;934:1:012028. doi.org/10.1088/1755-1315/934/1/012028
21. Мокаренко ТВ, Воробьева ЕВ. Практическое пособие по спецкурсу «Большой практикум». Пробоотбор в химико-экологическом мониторинге. 2004;30.
22. Нетрусов АИ и др. Практикум по микробиологии. М.: Академия. 2005;608:608.
23. Oveisi M, et al. Potential for endozoochorous seed dispersal by sheep and goats: Risk of weed seed transport via animal faeces. Weed Research. 2021;61:1:1-12. doi.org/10.1111/wre.12461
24. Калинин АА и др. Влияние нового биокомпозита на основе грибов рода триходерма на почвенные микроорганизмы и растения разных таксонов. Теоретическая и прикладная экология. 2021;2:115-121.
25. Usman S, Burt JA. Preliminary experimental assessments of 12 different organic materials for soil quality and soil fertility management exercises //International Journal of Current Research and Review. 2013;5:6:7. doi.org/10.25750/1995-4301-2021-2-115-121
26. Tiquia SM, Tam NFY. Characterization and composting of poultry litter in forced-aeration piles. Process Biochemistry. 2002;37:8:869-880. doi.org/10.1016/S0032-9592(01)00274-6
27. Никитин СН, Захаров СА. Влияние минеральных удобрений, биопрепаратов и последствия навоза на биологические свойства почвы и урожайность яровой пшеницы. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2016;2:37-42. doi.org/10.18286/1816-4501-2016-2-37-42
28. Титова ГА. Действие и последствия осадков городских сточных вод и навоза КРС на урожайность сельскохозяйственных культур. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2012;3: 43-46.
29. Dolya B, et al. A database of sequenced genomes of different Streptomyces albus J1074 strains and uses thereof. Visnyk Lviv Univ Biol Ser. 2021. doi.org/10.30970/VLUBS.2021.85.03
30. Chen YY, Chen PC, Tsay TT. The biocontrol efficacy and antibiotic activity of Streptomyces plicatus on the oomycete Phytophthora capsica. Biological Control. 2016; 98: 34-42. doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.02.011

31. Ebrahimi-Zarandi M, et al. Exploring two Streptomyces species to control Rhizoctonia solani in tomato. Agronomy. 2021;11:7:1384. doi.org/10.3390/agronomy11071384
32. Trujillo ME, et al. Endophytic actinobacteria and the interaction of Micromonospora and nitrogen fixing plants. Frontiers in Microbiology. 2015;6:1341. doi.org/10.3389/fmicb.2015.01341
33. Olanrewaju OS, Babalola OO. Streptomyces: implications and interactions in plant growth promotion. Applied microbiology and biotechnology. 2019;103:1179-1188.
34. Vurukonda SSKP, Giovanardi D, Stefani E. Plant growth promoting and biocontrol activity of Streptomyces spp. as endophytes. International journal of molecular sciences. 2018;19:4:952. doi.org/10.3390/ijms19040952
35. Bulut S. Evaluation of yield and quality parameters of phosphorous-solubilizing and N-fixing bacteria inoculated in wheat (Triticum aestivum L.). Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 2013;37:5:545-554. doi.org/10.3906/tar-1212-96
36. Hayes JE, Richardson AE, Simpson RJ. Components of organic phosphorus in soil extracts that are hydrolysed by phytase and acid phosphatase //Biology and Fertility of Soils. 2000;32:279-286.
37. Elkoca E, Turan M, Donmez MF. Effects of single, dual and triple inoculations with Bacillus subtilis, Bacillus megaterium and Rhizobium leguminosarum bv. Phaseoli on nodulation, nutrient uptake, yield and yield parameters of common bean (Phaseolus vulgaris l. cv.'elkoca-05'). Journal of Plant Nutrition. 2010;33:14:2104-2119. doi.org/10.1080/01904167.2010.519084
38. Singh JS, Pandey VC, Singh DP. Efficient soil microorganisms: a new dimension for sustainable agriculture and environmental development. Agriculture, ecosystems & environment. 2011;140:339-353. doi.org/10.1016/j.agee.2011.01.017
39. Zaeim AN, Torkaman M, Ghasemeeyan H. The Importance of Biofertilizers in Sustainable Production of Wheat: A. Int. J. Sci. Res. Sci. Tec. 2017;3:6: 252-258.

Ірі қара көңінде таралған Streptomyces тұқымдасына жататын актиномицеттердің түрлері және олардың жаздық бидай өскіндерінің өсуіне әсері

**А.П. Науанова^{1,2}, Э.М. Баимбетова¹, А.Н. Қонқыбаева^{2*},
Д.М. Ерпашева², А.Б. Оңғарбай², А.А. Аманжолова²**

¹*С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан*

²*Био-КАТУ, Астана, Қазақстан*

Аңдатпа. Бұл мақалада ірі қара көңінен бөлініп алынған актиномицеттердің морфологиялық белгілері, сондай-ақ олардың генотиптеу және жаздық бидайдың өскіндеріне қатысты өсуді ынталандырушы қасиеттерін бағалау нәтижелері ұсынылған. In vitro жағдайында Streptomyces macrosporeus шт.№32, Streptomyces albogriseolus шт.№37, Streptomyces pratensis шт.№24, Streptomyces griseorubens шт.№34 және Streptomyces flavofuscus шт.№38 штамдарымен тұқымдарды инокуляциялау жүргізілді. Нәтижесінде, осы микроағзалардың өсімдіктердің өсуін жоғары тиімділігі анықталды. Str. albogriseolus шт.№37 және Str. flavofuscus шт.№38 штамдарының культуралық фильтраттарымен тұқымдарды өңдеу 100% өнуін қамтамасыз етті,

бұл аталған штамдардың жоғары биологиялық тиімділігін көрсетеді. Кейбір штамдар тамыр жүйесінің дамуын тиімді ынталандырса, басқалары тұқымдардың өнуін арттырды немесе цитокининдер синтездеу қабілетін көрсетті. Мысалы, *Str. pratensis* шт.№24, *Str. griseorubens* шт.№34, *Str. albogriseolus* шт.№37 және *Str. flavofuscus* шт.№38 штамдарының суспензиясымен бидай тұқымдарын өңдеу айтарлықтай өнгіштігінің артуына әкелді. Тамырлардың максималды ұзындығы 1,8 есе, ал өскіндердің ұзындығы бақылаумен салыстырғанда 3,3 есе артты, бұл аталған штамдарды агрономияда пайдаланудың тиімділігін көрсетеді. Өскіндердің дамуына ең айқын әсерді *Str. flavofuscus* шт.№38, *Str. albogriseolus* шт.№37 және *Str. griseorubens* шт.№34 штамдары көрсетті, ал максималды өскін ұзындығы *Str. flavofuscus* шт.№38 штамымен үнделген кезде болды, бұл оның жоғары өсуді ынталандырушы белсенділігін көрсетеді. Тамырлардың өсуін ынталандыру үшін *Str. albogriseolus* шт.№37 және *Str. flavofuscus* шт.№38 штамдары оңтайлы болып, тамырлардың ұзындығын бақылаумен салыстырғанда 1,7 есе арттыруды қамтамасыз етті. Осы орайда *Streptomyces* sp. штамдарын биопрепараттар негізі ретінде пайдалану экологиялық таза ауыл шаруашылығы үшін перспективті бағыт болып табылады.

Түйін сөздер: актиномицеттер, ірі қара көңі, бидай, қоректік орталар, өсуді ынталандыру қасиеттері

Types of *Streptomyces actinomycetes* widespread in cattle manure and their influence on the growth of spring wheat seedlings

A.P. Nauanova^{1,2}, E.M. Baimbetova¹, A.N. Konkybayeva^{2*},
D.M. Yerpasheva², A.B. Onggarbay², A.A. Amanzholova²

¹*S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan*

²*Bio-KATU, Astana, Kazakhstan*

Abstract. This article presents the cultural and morphological characteristics of actinomycetes isolated from cow dung, as well as the results of their genotyping and assessment of growth-stimulating properties in relation to the seedlings of spring wheat. In vitro inoculation of seeds was conducted with strain *Streptomyces macrosporeus* st.№32, *Streptomyces albogriseolus* st.№37, *Streptomyces pratensis* st.№24, *Streptomyces griseorubens* st.№34, and *Streptomyces flavofuscus* st.№38. As a result, a high efficiency of these microorganisms in stimulating plant growth was established. Treatment of seeds with cultural filtrates of strains *Str. Albogriseolus* st.№37 and *Str. Flavofuscus* st.№38 ensured 100% seed germination, indicating the high biological effectiveness of these strains. Some strains effectively stimulated the development of the root system, while others increased seed germination or demonstrated the ability to synthesize cytokinins. Thus, treatment of wheat seeds with a suspension of strains *Str. Pratensis* st.№24, *Str. Griseorubens* st.№34, *Str. albogriseolus* st.№37, and *Str. flavofuscus* st.№38 led to a significant increase in germination. The maximum increase in root length was 1.8 times, while the length of seedlings increased 3.3 times compared to the control, indicating the feasibility of using these strains in agronomy. The most pronounced influence on seedling development was exerted by strains *Str. flavofuscus* st.№38, *Str. albogriseolus* st.№37, and *Str. griseorubens* st.№34, with the maximum seedling length achieved when inoculated with strain *Str. flavofuscus* st.№38, indicating its high growth-

stimulating activity. For stimulating root growth, the optimal strains were Str. albogriseolus st.№37 and Str. flavofuscus st.№38, which ensured an increase in root length by up to 1.7 times compared to the control. In this context, the use of Streptomyces sp. strains as biopreparations represents a promising direction for environmentally friendly agriculture.

Keywords: actinomycetes, cattle manure, wheat, nutrient media, growth-stimulating properties

References

1. Shavkinova MM, Sokolova OYA. Faktory, vliyayushchiye na sodержaniye aktinomitsetov v pochve [Factors influencing the content of actinomycetes in soil]. Sovremennoye obshchestvo: global'nyye i regional'nyye protsessy [Modern society: global and regional processes]. 2021;9-13. [in Russian]
2. Skorokhodov VYU. Biologicheskaya aktivnost' pochvy kak faktor urozhaynosti pri vozdeleyvanii yarovoy tvordoy pshenitsy v monokul'ture i sevooborotakh stepnoy zony Yuzhnogo Urala [Biological activity of the soil as a factor in crop yield in the cultivation of spring durum wheat in monoculture and crop rotations in the steppe zone of the Southern Urals]. Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vyssheye professional'noye obrazovaniye. 2022;3:195-202. doi.org/10.32786/2071-9485-2022-03-23 [in Russian]
3. Mikhaylova NN, Nikitina YeA, Yeliseyeva LV. Vliyaniye mikrobiologicheskikh udobreniy na biologicheskuyu aktivnost' pochvy i urozhaynost' gorokha [Influence of microbiological fertilizers on the biological activity of the soil and pea yield]. Nauchno-obrazovatel'nyye i prikladnyye aspekty proizvodstva i pererabotki sel'skokhozyaystvennoy produktsii [Scientific, educational and applied aspects of production and processing of agricultural products]. 2021;178-182. [in Russian]
4. Novikova II. Mikrobiologicheskaya zashchita rasteniy-osnova fitosanitarnoy optimizatsii agroekosistem [Microbiological protection of plants is the basis of phytosanitary optimization of agroecosystems]. Zashchita i karantin rasteniy [Protection and quarantine of plants]. 2017;4:3-6. [in Russian]
5. Svetlakova NA, Serazetdinova YUR. Bakterii roda Streptomyces kak naiboleye vazhnyye aktinomitsety i ikh vliyaniye na razvitiye rasteniy [Bacteria of the genus Streptomyces as the most important actinomycetes and their influence on plant development]. VIII Pushchinskaya konferentsiya «Biokhimiya, fiziologiya i biosfernaya rol' mikroorganizmov», Shkola-konferentsiya molodykh uchenykh, aspirantov i studentov «Geneticheskiye tekhnologii v mikrobiologii i mikrobnoye raznoobrazie»: sbornik tezisov [III Pushchino conference "Biochemistry, physiology and biosphere role of microorganisms", School-conference of young scientists, graduate students and students "Genetic technologies in microbiology and microbial diversity": collection of abstracts]. 2022;6. doi.org/10.34756/GEOS.2022.17.38404 [in Russian]
6. Dewi TK, Agustiani D, Antonius S. Secondary metabolites production by actinomycetes and their antifungal activity. KnE Life Sciences. 2017;256-264. doi.org/10.18502/cls.v3i4.713
7. Rogozhin YeA, Barashkova AS. Antibioticheskiy potentsial alkalofil'nykh aktinomitsetov iz roda streptomyces [antibiotic potential of alkalophilic actinomycetes from the genus streptomyces]. Sovremennyye sinteticheskiye metodologii dlya sozdaniya lekarstvennykh preparatov i funktsional'nykh materialov [Modern synthetic methodologies for the creation of drugs and functional materials] (MOSM 2024). – Yekaterinburg. 2024;304-304. [in Russian]

8. Patrusheva MM. Poisk aktivnykh antagonistov dlya bor'by s fuzariozom sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Search for active antagonists to combat fusarium wilt in agricultural crops]. *Molodyye uchenyye v reshenii aktual'nykh problem nauki* [young scientists in solving urgent problems of science]. 2023;304-305. [in Russian]
9. Albegova AV. Natsional'nyy proyekt «ekologiya» federal'nyy proyekt «chistaya strana». [in Russian]
10. Kyzmetova LA. Similarity coefficientIzuchenie vidovogo sostava mikromitsetov v lesnykh pochvakh Kungey Alatau (Kazakhstan) [Study of the species composition of micromycetes in forest soils of Kungei Alatau (Kazakhstan)]. *Raznoobrazie pochv i bioty Severnoy i Tsentral'noy Azii* [Diversity of soils and biota of Northern and Central Asia]. 2021;261-263. [in Russian]
11. Gauze GF, Preobrazhenskaya TP, Sveshnikova MA. Opredelitel' aktinomitsetov [Key to actinomycetes]. 1983;247. [in Russian]
12. Nazarenko NN, Svistova ID, Koretskaya II. Struktura kompleksa pochvennykh aktinomitsetov v promyshlennoy i transportnoy zonakh g. Voronezha [Structure of the complex of soil actinomycetes in the industrial and transport zones of Voronezh] *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy* [Ecology of urbanized territories]. 2015;3:18-21. [in Russian]
13. Nazarenko NN, Svistova ID, Koretskaya II. Aktinomitsety kak bioindikatsionnyy pokazatel' avtotransportnogo zagryazneniya pochvy [Actinomycetes as a bioindicative indicator of motor transport soil pollution]. *Utilizatsiya otkhodov proizvodstva i potrebleniya: innovatsionnyye podkhody i tekhnologii* [Utilization of industrial and consumption waste: innovative approaches and technologies]. 2020;139-144. [in Russian]
14. Vafin IKH., Safin RI. Otsenka effektivnosti primeneniya fiziologicheskii aktivnykh veshchestv i udobreniy na ozimoy pshenitse [Evaluation of the efficiency of using physiologically active substances and fertilizers on winter wheat]. *Agrobiotekhnologii i tsifrovoye zemledeliye* [Agrobiotechnology and digital agriculture]. 2022;2:19-23. [in Russian]
15. Aripov BF, et al. Dinamika biosinteza belka razlichnymi shtammami pochvennykh aktinomitsetov [Dynamics of protein biosynthesis by various strains of soil actinomycetes]. *Central Asian Journal of Medical and Natural Science*. 2021;2:3:191-198. [in Russian]
16. Tiquia SM, Wan HC, Tam NFY. Microbial population dynamics and enzyme activities during composting. *Compost science & utilization*. 2002;10:2:150-161. doi.org/10.1080/1065657X.2002.10702075
17. Mumtaz MZ, et al. Production of lactic and acetic acids by *Bacillus* sp. ZM20 and *Bacillus cereus* following exposure to zinc oxide: A possible mechanism for Zn solubilization. *Rhizosphere*. 2019;12:100170. doi.org/10.1016/j.rhisph.2019.100170
18. Hussain A, et al. Production and implication of bio-activated organic fertilizer enriched with zinc-solubilizing bacteria to boost up maize (*Zea mays* L.) production and biofortification under two cropping seasons. *Agronomy*. 2019;10:1:39. doi.org/10.3390/agronomy10010039
19. Ashrafuzzaman M, et al. Efficiency of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) for the enhancement of rice growth. *African Journal of Biotechnology*. 2009;8:7.
20. Batubara UM, et al. Isolation and characterization of cellulolytic bacteria diversity in peatland ecosystem and their cellulolytic activities. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;934:1:012028. doi.org/10.1088/1755-1315/934/1/012028
21. Mokarenko TV, Vorob'yeva YeV. Prakticheskoye posobiye po spetskursu «Bol'shoy praktikum» Probootbor v khimiko-ekologicheskom monitoringe [Practical guide for the special course “Big Workshop” Sampling in chemical-ecological monitoring]. 2004;30. [in Russian]

22. Netrusov AI, et al. Praktikum po mikrobiologii [Workshop on microbiology] M.: Akademiya. 2005;608. [in Russian]
23. Hogan JP, Phillips CJC. Transmission of weed seed by livestock: a review. *Animal Production Science*. 2011;51:5:391-398.
24. Kalinin AA, et al. Vliyaniye novogo biokompozita na osnove gribov roda trikhoderma na pochvennyye mikroorganizmy i rasteniya raznykh taksonov [Effect of a new biocomposite based on Trichoderma fungi on soil microorganisms and plants of different taxa]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* [Theoretical and Applied Ecology]. 2021;2:115-121. [in Russian]
25. Usman S, Burt JA. Preliminary experimental assessments of 12 different organic materials for soil quality and soil fertility management exercises. *International Journal of Current Research and Review*. 2013;5:6:7.
26. Tiquia SM, Tam NFY. Characterization and composting of poultry litter in forced-aeration piles. *Process Biochemistry*. 2002;37:8:869-880. doi.org/10.1016/S0032-9592(01)00274-6
27. Nikitin SN, Zakharov SA. Vliyaniye mineral'nykh udobreniy, biopreparatov i posledeystviya navoza na biologicheskiye svoystva pochvy i urozhaynost' yarovoy pshenitsy [The influence of mineral fertilizers, biological products and the aftereffect of manure on the biological properties of soil and the yield of spring wheat]. *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [ulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy]. 2016;2:37-42. doi.org/10.18286/1816-4501-2016-2-37-42 [in Russian]
28. Titova GA. Deystviye i posledeystviye osadkov gorodskikh stochnykh vod i navoza KRS na urozhaynost' sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Action and aftereffect of urban wastewater sediments and cattle manure on the yield of agricultural crops]. *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy]. 2012;3:43-46. [in Russian]
29. Dolya B, et al. A database of sequenced genomes of different *Streptomyces albus* J1074 strains and uses thereof. *Visnyk Lviv Univ Biol Ser*. 2021. doi.org/10.30970/VLUBS.2021.85.03
30. Chen YY, Chen P. C., Tsay T. T. The biocontrol efficacy and antibiotic activity of *Streptomyces plicatus* on the oomycete *Phytophthora capsica*. *Biological Control*. 2016;98:34-42. doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.02.011
31. Ebrahimi-Zarandi M, et al. Exploring two *Streptomyces* species to control *Rhizoctonia solani* in tomato // *Agronomy*. 2021;11:7:1384. doi.org/10.3390/agronomy11071384
32. Trujillo ME, et al. Endophytic actinobacteria and the interaction of *Micromonospora* and nitrogen fixing plants // *Frontiers in Microbiology*. 2015;6:1341. doi.org/10.3389/fmicb.2015.01341
33. Olanrewaju OS, Babalola OO. *Streptomyces*: implications and interactions in plant growth promotion. *Applied microbiology and biotechnology*. 2019;103:1179-1188.
34. Vurukonda SSKP, Giovanardi D, Stefani E. Plant growth promoting and biocontrol activity of *Streptomyces* spp. as endophytes. *International journal of molecular sciences*. 2018;19:4: 952. doi.org/10.3390/ijms19040952
35. Bulut S. Evaluation of yield and quality parameters of phosphorous-solubilizing and N-fixing bacteria inoculated in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 2013;37:5:545-554. doi.org/10.3906/tar-1212-96
36. Hayes JE, Richardson AE, Simpson RJ. Components of organic phosphorus in soil extracts that are hydrolysed by phytase and acid phosphatase. *Biology and Fertility of Soils*. 2000;32:279-286.

37. Elkoca E, Turan M, Donmez MF. Effects of single, dual and triple inoculations with *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium* and *Rhizobium leguminosarum* bv. Phaseoli on nodulation, nutrient uptake, yield and yield parameters of common bean (*Phaseolus vulgaris* l. cv.'elkoca-05'). *Journal of Plant Nutrition*. 2010;33:14:2104-2119. doi.org/10.1080/01904167.2010.519084

38. Singh JS, Pandey VC, Singh DP. Efficient soil microorganisms: a new dimension for sustainable agriculture and environmental development // *Agriculture, ecosystems & environment*. 2011;140:339-353. doi.org/10.1016/j.agee.2011.01.017

39. Zaeim AN, Torkaman M, Ghasemeeyan H. The Importance of Biofertilizers in Sustainable Production of Wheat: *A. Int. J. Sci. Res. Sci. Tec.* 2017;3:6:252-258.

Сведения об авторах:

Науанова Айнаш Пахуашовна – доктор биологических наук, профессор кафедры «Агрохимия и почвоведение», Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, генеральный директор ТОО «Био-KATU», проспект Женис, 62, Z11F9K5, Астана, Казахстан.

Конкыбаева Адина Ниязбековна – автор-корреспондент, магистр сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник ТОО «Био-KATU», проспект Женис, 62, Z11F9K5, Астана, Казахстан.

Ернашева Дана Муратовна – магистр естественные науки, научный сотрудник ТОО «Био-KATU», проспект Женис, 62, Z11F9K5, Астана, Казахстан.

Онгарбай Айсулу Бауыржановна – магистр сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник ТОО «Био-KATU», проспект Женис, 62, Z11F9K5, Астана, Казахстан.

Аманжолова Аягоз Аскарровна – лаборант кафедры «Агрохимия и почвоведение», Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, проспект Женис, 62, Z11F9K5, Астана, Казахстан.

Авторлар туралы мәліметтер:

Науанова Айнаш Пахуашовна – биология ғылымдарының докторы, «агрохимия және топырақтану» кафедрасының профессоры, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, «Био-KATU» ЖШС бас директоры, Жеңіс даңғылы 62, Z11F9K5, Астана, Қазақстан.

Қонқыбаева Адина Ниязбекқызы – хат-хабар авторы, ауыл шаруашылығы ғылымдарының магистрі, «Био-KATU» ЖШС кіші ғылыми қызметкері, Жеңіс даңғылы 62, Z11F9K5, Астана, Қазақстан.

Ернашева Дана Муратовна – жаратылыстану ғылымдарының магистрі, «Био-KATU» ЖШС ғылыми қызметкері, Жеңіс даңғылы 62, Z11F9K5, Астана, Қазақстан.

Онғарбай Айсулу Бауыржанқызы – ауыл шаруашылығы ғылымдарының магистрі, «Био-KATU» ЖШС кіші ғылыми қызметкері, Жеңіс даңғылы 62, Z11F9K5, Астана, Қазақстан.

Аманжолова Аягоз Аскарровна – «агрохимия және топырақтану» кафедрасының лаборанты, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, «Био-KATU» ЖШС бас директоры, Жеңіс даңғылы 62, Z11F9K5, Астана, Қазақстан.

Authors' information:

Nauanova Ainash Pakhuashovna – doctor of biological sciences, professor, department of agrochemistry and soil science, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, «Bio-KATU» LLP general manager, Zhenis avenue, 62, Z11F9K5, Astana, Kazakhstan.

Konkybayeva Adina Niyazbekqyzy – corresponding author, master of agricultural sciences, «Bio-KATU» LLP young scientific researcher, Zhenis avenue, 62, Z11F9K5, Astana, Kazakhstan.

Yerpasheva Dana Muratovna – master of natural sciences, «Bio-KATU» LLP scientific researcher, Zhenis avenue, 62, Z11F9K5, Astana, Kazakhstan.

Onggarbay Aisulu Bauyrzhanqyzy – master of agricultural sciences, «Bio-KATU» LLP young scientific researcher, Zhenis avenue, 62, Z11F9K5, Astana, Kazakhstan.

Amanzholova Ayagoz Askarqyzy – laboratory assistant, department of agrochemistry and soil science, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, «Bio-KATU» LLP general manager, Zhenis avenue, 62, Z11F9K5, Astana, Kazakhstan.



IRSTI 34.45.05
Research article

<https://doi.org/10.32523/2616-7034-2025-151-2-28-40>

Evaluation of a novel Potentiator of Antibiotic (PA) effect on *Proteus mirabilis*-induced urinary tract infection (UTI) in mice

N. Ibragimova¹, M. Lyu¹, A. Aitynova*¹, T. Gapurkhaeva¹, A. Krasnoshtanov¹,
G. Ponomareva¹, K. Shoibek¹, D. Issa¹

¹Scientific Center of Anti-Infective Drugs, Almaty, Kazakhstan

*Corresponding author: arailym.aitynova@gmail.com

Abstract. *Proteus mirabilis* is able to induce clinical symptoms of the urogenital tract infection (UTI) and form crystalline biofilm made of a variety of bacteria that are highly resistant to conventional antimicrobial drugs. The presented work was designed to study the antibiotic potentiation effect of PA in mice with UTI. They were divided into 5 groups: intact, positive control, Amoxicillin group, PA group, amoxicillin and PA group. UTI was induced by inoculation of *P. mirabilis* (1.5×10^9 CFU/mL), then animals received treatment for 14 days. Animals that received amoxicillin and PA displayed a normal rate of weight gain in comparison to the positive control ($p < 0.01$). The combined therapy also normalized in the levels of red blood cells, hematocrit, and hemoglobin, as well as white blood cells, lymphocytes, monocytes, and granulocytes ($p < 0.01$), indicating an alleviation of the inflammatory process. A significant rise of liver transaminases: ALT and AST, as well as in the levels of BUN and CREAT, was noted in the group of mice with UTI, no therapy ($p < 0.01$). However, the combined therapy of led to significant alleviation of all of these markers ($p < 0.01$), indicating normal function of the liver and kidneys. Finally, the histological examination revealed that the combined therapy had a nephroprotective effect, showing more intact structure, fewer degenerative processes and reduced congestion in contrast to the positive control. Thus, a novel drug PA, due to its ability to potentiate the efficacy of antimicrobial drugs, can offer a perspective approach for the treatment of infectious diseases.

Keywords: iodine complex, *Proteus mirabilis*, urogenital tract infection, kidneys, antibiotic potentiation

Introduction

The rising recurrence rate of urinary tract infections (UTI) makes its therapy challenging, substantially causing morbidity in females worldwide [1]. The acute UTI increases the chance for the development of chronic infectious diseases [2]; thus, the therapy with antimicrobial drugs became crucial at this point [3]. However, as widens the use of antibiotic the faster, bacteria adapt to the treatment, surviving, neutralizing the actions of antibiotics, and becoming

Received: 29.05.2025. Accepted: 24.06.2025. Available online: 04.07.2025.

antibiotic-resistant [4]. Even if the manufacture of novel antimicrobials was upgraded in order to fight the resistance issue, their inadequacy and irrationality as a band-aid led to the emergence of pathogens that are multiple drug-resistant and spreading at a dangerously higher rate [5-7]. Since the emergence of bacterial resistance to antibiotics cannot be stopped, the rate of its distribution can be slowed down with the proper use of antibiotics and by implementing novel ways to combat bacterial infections. The perspective approach is the use of antibiotic potentiators, which are already utilized in clinical practice [8].

Proteus mirabilis is a Gram-negative bacterium capable of inducing clinical symptoms of the UTI [9,10]. Its distribution mostly comes from person-to-person transmission, particularly in the healthcare system [11]. *P. mirabilis* is known for its ability to form biofilms due to the synthesis of urease that hydrolyzes urea into ammonia and carbon dioxide, resulting in an increase of pH [12]. Normally, pH in the urinary tract is acidic; thus, its alkalization leads to the interaction between calcium, magnesium ions, with phosphates, forming struvite and apatite urinary stones [13,14]. Moreover, the crystalline biofilm formed on the surface of catheters includes a variety of bacteria that have become highly resistant to conventional antimicrobial drugs [15,16]. In this regard, novel pharmaceutical formulations with antimicrobial effects will serve as an alternative approach for the treatment of infectious diseases.

Iodine is known for strong antimicrobial properties against a wide variety of bacteria, viruses, protozoa, and fungi, especially its complexes exhibit substantial long-lasting release of iodine, providing a long-term antimicrobial effect [17]. Due to the ability of iodine to form complexes, its application has expanded nowadays. Iodophors are formulations of iodine with other smaller molecular and water-soluble polymers, such as cyclodextrins [18]. FS-1 is one of such pharmaceutical formulations representing a complex of iodine with antibacterial and antiviral properties [19-21]. This drug is registered in Kazakhstan and widely used in clinical practice. On the basis of FS-1, a novel drug "PA" with an antibiotic potentiation effect was extensively studied and developed for the treatment of infectious diseases. The presented work was designed to study the effect of PA during the combined therapy with amoxicillin of urinary tract infection (UTI) induced by inoculation of *Proteus mirabilis* in mice.

Materials and Methods

Animals and Design of the Experiment

Forty-five female Swiss albino mice (9-11 weeks old, 20-22g body weight) were used for the experiment. The experimental protocol was approved by the Ethical Committee of JSC "Scientific center for anti-infectious drugs" (No. 25/2) and carried out in accordance with the "Guide for the Care and Use of Laboratory Animals" and ARRIVE guidelines. Animals were provided with a standard rodent diet and tap water *ad libitum* and maintained at the Animal Facility under conventional laboratory conditions: environment temperature 25 ± 1 °C and the relative humidity $55 \pm 5\%$ with a light/dark cycle of 12/12 h. Mice were randomly divided into the following groups: 1st – intact group, 2nd – *P. mirabilis* group with no therapy (positive control), 3rd – *P. mirabilis* group treated with Amoxicillin alone, 4th – *P. mirabilis* group treated with PA alone, 5th – *P. mirabilis* group treated with Amoxicillin and PA. On the first day of the experiment,

all groups except the intact group were inoculated with *P. mirabilis* in a concentration of 1.5×10^9 CFU/mL by sterile catheter (No. 1.3×130 mm) in order to induce urinary tract infection (UTI), then received corresponding therapy for 14 days. During this period, animals were also observed daily for the presence of any clinical symptoms and weighed every couple of days.

Sample Collection for Hematological, Biochemical and Histological Analysis

At the end of the experiment, mice were euthanized under deep isoflurane narcosis, blood was collected via retroocular sinus puncture in clot-activator containers, and centrifuged at 3000 rpm for 10 minutes. Blood was then analyzed for hematological parameters on Z52 VET automatic hematology analyzer (Zytopia Ltd., China) and supernatant was analyzed for plasma biochemistry on fully automated benchtop chemistry analyzer A25 (BioSystems, Troisdorf, Koln, Germany) using special kits according to the manufacturer's instructions. Then, mice were sacrificed by cervical dislocation and subjected to gross necropsy. Macroscopic examination of internal organs was conducted, kidneys were excised and dehydrated in alcohol, then embedded in paraffin and sectioned into 3.0 µm fragments. Obtained histological slices were stained with hematoxylin-eosin and observed under a ZEISS Axio Scope A1 light microscope (Carl Zeiss, Germany).

Results

The efficiency of PA in combination with an antibiotic (Amoxicillin) was determined using hematological, biochemical and histological methods of research in mice with urogenital tract infection (UTI). Often, in clinical practice, *P. mirabilis* causes catheter-associated urinary tract infections, leading to irreversible damage to renal tissue, including sepsis. All animals survived up to the end of the experiment, except the positive control group, displaying no alteration in behavior, as well as in food and water consumption. Body weight measures are presented in Table 1.

Table 1

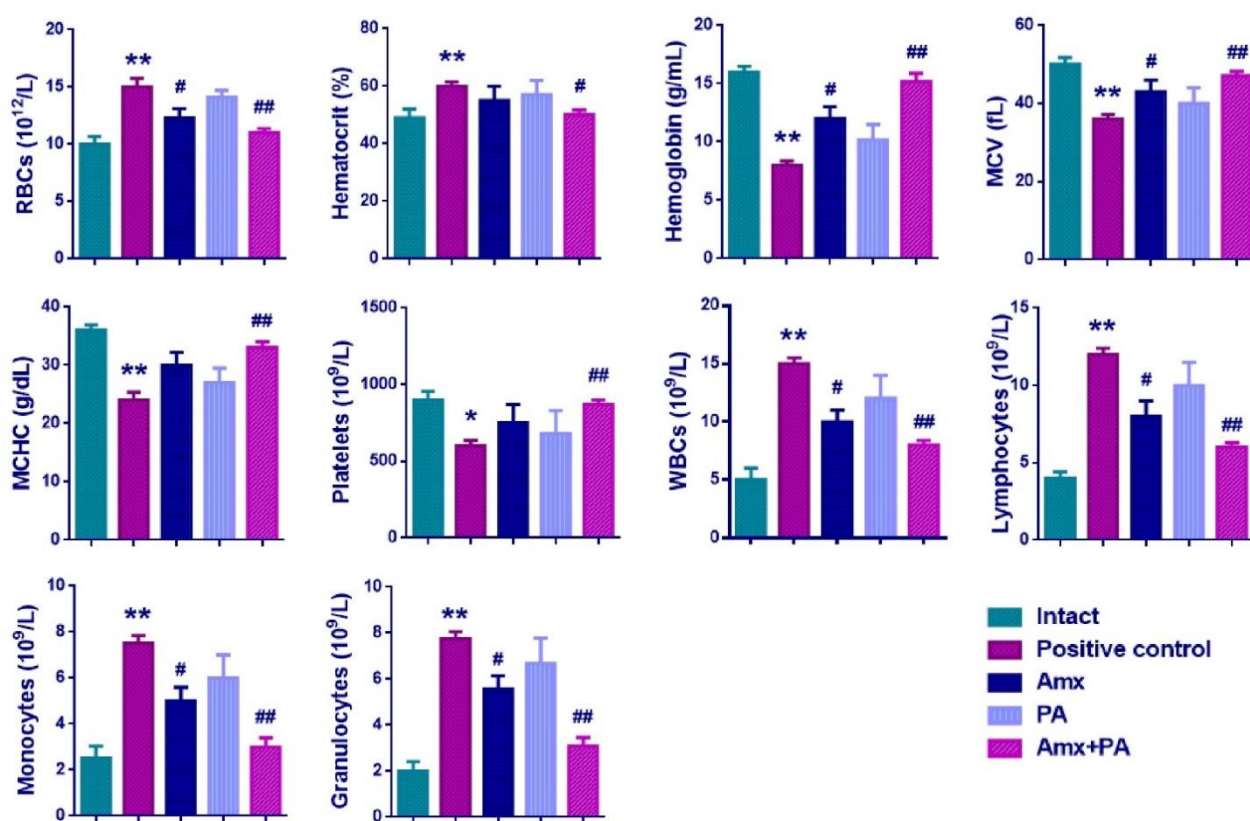
The tendency of body weight of mice (g)

Day	Intact	Positive control	Amx	PA	Amx + PA
1	20.92±0.30	21.08±0.50	21.24±0.67	20.66±0.53	20.96±0.50
4	21.14±0.30	19.66±0.47*	21.38±0.66	20.30±0.49	21.26±0.48
8	21.46±0.27	18.34±0.47*	21.48±0.61#	20.40±0.49#	22.04±0.39##
11	21.74±0.23	17.18±0.25**	21.82±0.30#	20.40±0.43#	22.46±0.36##
15	22.14±0.21	16.20±0.27**	22.04±0.25#	20.90±0.47#	22.80±0.39##

Note: Data are presented as Mean ± SD. *p < 0.05, **p < 0.01 compared to the intact group and #p < 0.05, ##p < 0.01 compared to the positive control group.

Mice of the intact group showed a normal rate of weight gain, unlike the positive control with UTI, no therapy showing significant body weight loss on Days 4 and 8 ($p < 0.05$), as well as on Days 11 and 15 ($p < 0.01$). Animals that received amoxicillin and PA separately displayed a normal rate of weight gain in comparison to the positive control ($p < 0.05$). However, a better rate of weight gain and a more significant difference compared to the positive control group were observed in mice that received the combined therapy of amoxicillin and PA ($p < 0.01$).

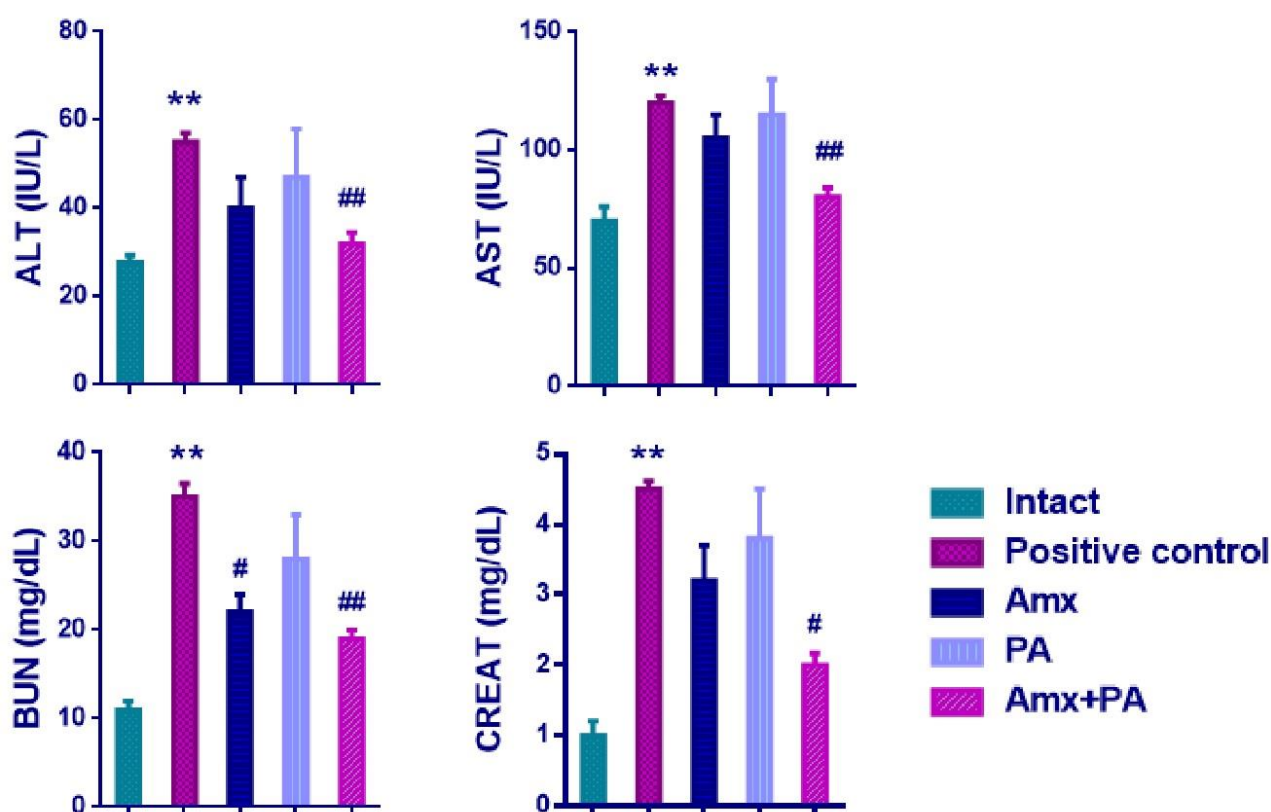
Analysis of hematological parameters of mice blood was conducted; results are presented in Figure 1. A significant increase in the levels of RBCs and hematocrit, but lower levels of hemoglobin, MCV, and MCHC were observed in animals with UTI, no treatment ($p < 0.01$). The monotherapy of either amoxicillin or PA normalized some of these parameters ($p < 0.05$). However, a significant improvement was observed in mice treated with amoxicillin and PA in combination ($p < 0.01$). The profile of immune cells displayed a significant surge of white blood cells, lymphocytes, monocytes, and granulocytes in the positive control group ($p < 0.01$). The combined therapy of amoxicillin and PA alleviated these cells, indicating a decrease in the degree of the inflammatory process ($p < 0.01$).



Note: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ compared to the intact group and # $p < 0.05$, ## $p < 0.01$ compared to the positive control group. RBCs – red blood cells, MCV – mean corpuscular volume, MCHC – mean cellular corpuscular hemoglobin concentration, WBCs – white blood cells.

Figure 1. Hematological parameters of mice blood

Analysis of mice plasma biochemistry was also carried out; results are presented in Figure 2. Results of plasma biochemistry were presented as a significant rise of liver transaminases: ALT and AST in the group of mice with UTI, no therapy ($p < 0.01$). The same tendency was observed in the levels of BUN and CREAT, showing a significant increase of both markers in animals of the positive control group ($p < 0.01$). Amoxicillin monotherapy normalized the level of BUN ($p < 0.05$). The combined therapy of amoxicillin and PA led to significant alleviation of all plasma biochemistry markers in comparison to the group with UTI, no therapy ($p < 0.01$). Values of ALT, AST, BUN and CREAT were within the normal range in mice of the group that received amoxicillin and PA, indicating normal function of the liver and kidneys.

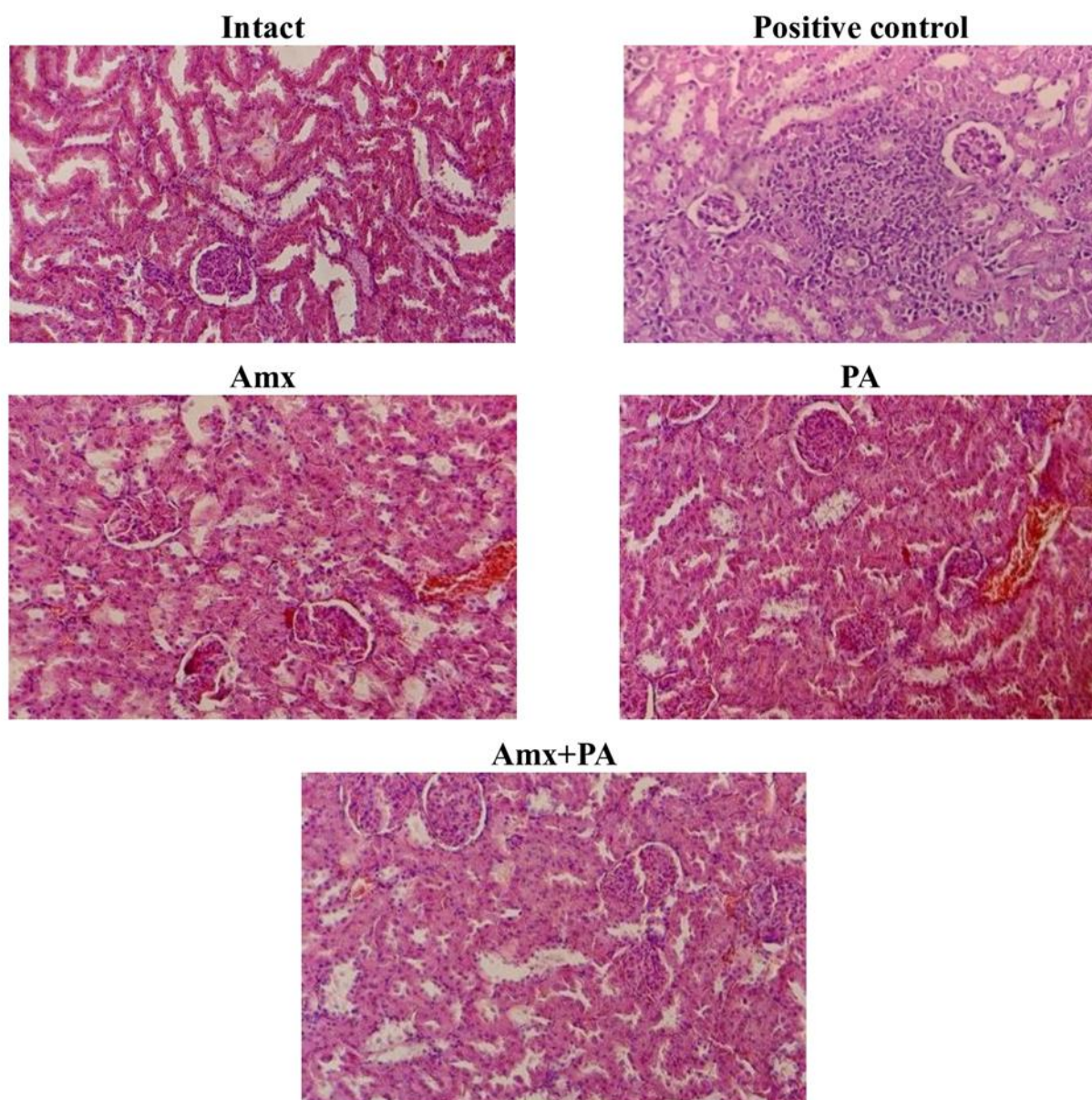


Note: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ compared to the intact group and # $p < 0.05$, ## $p < 0.01$ compared to the positive control group. ALT – alaninaminotransferase, AST – aspartataminotransferase, BUN – blood urea nitrogen, CREAT – creatinine.

Figure 2. Biochemical analysis of mice's blood plasma

Histological examination of the structure of the kidneys was carried out in order to observe any histopathological process inside the tissue. Microphotographs of kidneys are presented in Figure 3. Well-defined glomeruli, intact proximal and distal tubules, no inflammation, and necrosis were observed in the histological structure of the kidneys of the intact group of mice. In contrast, in the positive control group, inflammatory cell infiltration, glomerular distortion or possible atrophy, tubular dilation, and degeneration were noted. Treatment with amoxicillin

alone caused nephrotoxicity, while monotherapy of PA induced a little protective effect, but mild congestion was still present in the histological structure of the kidneys. However, animals that received combined therapy of amoxicillin and PA demonstrated more intact structure with moderate preservation of cells and tissue, fewer degenerative changes, and reduced congestion. As a result of the histological examination of the antibiotic potentiation effect of PA, attenuation of the renal pathology was noted in the histological structure of the kidneys (Figure 3).



Note: Hematoxylin & Eosin stain. Bar, 100 μ m (200x magnification).

Figure 3. Histological structure of mice kidneys

Discussion

The present study aimed to evaluate the antibiotic potentiation effect of PA in mice with UTI induced by inoculation of *P. mirabilis*. All animals participating in this experiment were observed daily for any changes in behavior, food and water consumption, and/or mortality, and also weighed weekly for 14 days after the inoculation.

The weekly measurement showed a strong tendency toward weight loss in mice that were inoculated with *P. mirabilis* but did not receive any therapy, indicating an acute clinical response to infection. However, the combined therapy of PA and amoxicillin provided a normal rate of weight gain in mice ($p < 0.01$), displaying attenuation of the inflammatory reaction to infection (Table 1). Our results for body weight measurement are in alignment with the previously conducted studies, where the tendency of body weight loss and gain served as an indicator of the health condition of animals during the infectious process [22,23].

During the analysis of hematological parameters, a significant increase in the levels of RBCs and hematocrit, but decreased levels of hemoglobin, MCV, MCHC and platelets were observed, indicating a compensatory response to anemia in mice (Figure 1). Similar findings were obtained in the study conducted by Silva et al., where infected animals displayed alterations in blood cellular profile, as well as in the platelet content [24]. A surge in the profile of immune cells including WBCs, lymphocytes, monocytes and granulocytes was observed in infected mice, that received no therapy. Our results indicate the acute inflammatory response, as it was obtained in the results of the previously conducted studies [25]. The combined therapy of PA and amoxicillin led to a significant alleviation of the inflammatory response, as well as normalized the blood cellular and viscosity profile ($p < 0.01$), exhibition the antibiotic potentiation effect [26].

The plasma biochemistry analysis showed an increase in the levels of liver transaminases ALT and AST, indicating the hepatic injury in animals of the positive control group. The same tendency was detected in the levels of BUN and CREAT, showing the damage to the kidneys (Figure 2). However, mice that received the combined therapy displayed significantly lower levels of these parameters in comparison to the positive control ($p < 0.01$). Similar results were obtained in previous studies [27,28].

Lastly, during the histopathological examination more intact structure of the kidney was observed in mice that received the combined therapy of PA and amoxicillin, unlike the positive control group, receiving no therapy (Figure 3). Similar findings were obtained in the work conducted by Johnson, where a mixed pattern of both acute and chronic inflammatory responses was detected in the structure of the kidneys in infected mice [29].

Thus, results obtained in our study suggest that PA can represent a novel perspective for the therapy of infectious diseases, particularly for the treatment of UTI with bacterial origin, and the introduction of this approach into clinical practice.

Conclusion

Our work was conducted in order to study the antibiotic potentiation effect of a novel drug “PA” during the combined therapy with amoxicillin of UTI induced by inoculation of *P.*

mirabilis. in mice. A normal body weight gain was observed in the group of mice that received the combined therapy, unlike the positive control group with UTI, no therapy displayed gradual weight loss. Analysis of hematological parameters showed a significant decrease in the levels of red blood cells, hematocrit and hemoglobin, along with a surge in the levels of white blood cells, lymphocytes, monocytes, and granulocytes. The combined therapy of amoxicillin and PA alleviated these symptoms, increasing the levels of red blood cells, hematocrit, and hemoglobin, as well as a decrease in the levels of white blood cells, lymphocytes, monocytes, and granulocytes, indicating attenuation of the inflammatory process. Moreover, the combined therapy of amoxicillin and PA led to a significant alleviation of all plasma biochemistry markers in comparison to the group with UTI, no therapy. Levels of ALT, AST, BUN, and CREAT were within the normal range in mice of the group that received combined therapy, indicating normal function of the liver and kidneys. Finally, the histological examination of kidneys revealed inflammatory cell infiltration, glomerular distortion or possible atrophy, tubular dilation and degeneration in the positive control group, while animals that received combined therapy of amoxicillin and PA demonstrated more intact structure with moderate preservation of cells and tissue, fewer degenerative changes, and reduced congestion. Thus, the therapeutic effect of PA is based on its ability to potentiate the efficacy of antimicrobial drugs. Based on these results, a novel drug “PA” can offer a novel perspective for the treatment of infectious diseases.

Author Contributions

N.I. – conceptualization; **M.L** – supervision; **T.G., A.K., K.S.,** and **D.I.** – conduction of the experiment; **N.I.** and **G.P.** – discussion of results; **A.A.** – writing and editing of the article.

Funding

This research was funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR24992760-OT-24).

Conflicts of Interest

Authors declare no conflicts of interest.

Compliance with ethical standards

All animal procedures complied with the ethical standards of the institution where the studies were conducted and the approved legal acts of the Republic of Kazakhstan and international organizations. (No. 25/2).

References

1. Arzanlou M, Chai WC, Venter H. Intrinsic, adaptive and acquired antimicrobial resistance in Gram-negative bacteria. *Essays Biochem.* 2017;61(1):49-59. doi.org/10.1042/EBC20160063
2. Aggarwal N, Leslie SW. Recurrent Urinary Tract Infections [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 [cited 2025 May 27]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557479/>

3. Bettiol E, Wetherington JD, Schmitt N, et al. Challenges and solutions for clinical development of new antibacterial agents: results of a survey among pharmaceutical industry professionals. *Antimicrob Agents Chemother.* 2015;59(7):3695-9. doi.org/10.1128/AAC.00638-15
4. Blair JM, Richmond GE, Piddock LJ. Multidrug efflux pumps in Gram-negative bacteria and their role in antibiotic resistance. *Future Microbiol.* 2014;9(10):1165-77. doi.org/10.2217/fmb.14.66
5. Wei XL, Zeng QL, Xie M, Bao Y. Pathogen Distribution, Drug Resistance Risk Factors, and Construction of Risk Prediction Model for Drug-Resistant Bacterial Infection in Hospitalized Patients at the Respiratory Department During the COVID-19 Pandemic. *Infect Drug Resist.* 2023;16:1107-1121. doi.org/10.2147/IDR.S399622
6. Ferrara F, Castagna T, Pantolini B, et al. The challenge of antimicrobial resistance (AMR): current status and future prospects. *Naunyn Schmiedeberg's Arch Pharmacol.* 2024;397(12):9603-9615. doi.org/10.1007/s00210-024-03318-x
7. Sharma S, Chauhan A, Ranjan A, et al. Emerging challenges in antimicrobial resistance: implications for pathogenic microorganisms, novel antibiotics, and their impact on sustainability. *Front Microbiol.* 2024;15:1403168. doi.org/10.3389/fmicb.2024.1403168
8. Chawla M, Verma J, Gupta R, Das B. Antibiotic Potentiators Against Multidrug-Resistant Bacteria: Discovery, Development, and Clinical Relevance. *Front Microbiol.* 2022;13:887251. doi.org/10.3389/fmicb.2022.887251
9. Schaffer JN, Pearson MM. *Proteus mirabilis* and Urinary Tract Infections. *Microbiol Spectr.* 2015;3(5):1-66. doi: 10.1128/microbiolspec.UTI-0017-2013
10. Mo L, Wang J, Qian J, Peng M. Antibiotic Sensitivity of *Proteus mirabilis* Urinary Tract Infection in Patients with Urinary Calculi. *Int J Clin Pract.* 2022;2022:7273627. doi.org/10.1155/2022/7273627
11. Sader HS, Flamm RK, Jones RN. Frequency of occurrence and antimicrobial susceptibility of Gram-negative bacteremia isolates in patients with urinary tract infection: results from United States and European hospitals (2009-2011). *J Chemother.* 2014;26:133-138. doi.org/10.1179/1973947813Y.0000000121
12. Torzewska A, Budzyńska A, Białczak-Kokot M, Różalski A. In vitro studies of epithelium-associated crystallization caused by uropathogens during urinary calculi development. *Microb Pathog.* 2014;71:25-31. doi.org/10.1016/j.micpath.2014.04.007
13. Armbruster CE, Smith SN, Yep A, Mobley HLT. Increased incidence of urolithiasis and bacteremia during *Proteus mirabilis* and *Providencia stuartii* coinfection due to synergistic induction of urease activity. *J Infect Dis.* 2014;209:1524-1532. doi.org/10.1093/infdis/jit663
14. Chakkour M, Hammoud Z, Farhat S, et al. Overview of *Proteus mirabilis* pathogenicity and virulence. Insights into the role of metals. *Front Microbiol.* 2024;15:1383618. doi.org/10.3389/fmicb.2024.1383618
15. Wasfi R, Hamed SM, Amer MA, et al. *Proteus mirabilis* Biofilm: Development and Therapeutic Strategies. *Front Cell Infect Microbiol.* 2020;10:414. doi.org/10.3389/fcimb.2020.00414
16. Scavone P, Iribarnegaray V, González MJ, et al. Role of *Proteus mirabilis* flagella in biofilm formation. *Rev Argent Microbiol.* 2023;55(3):226-234. doi.org/10.1016/j.ram.2023.01.005
17. Singh M, Anees M, Afreen A, et al. Development of iodine based sustained release antimicrobial coatings for polyurethane voice prostheses. *J. Mater. Chem. B;* 2024;12, 5907-5916. doi.org/10.1039/d4tb00439f
18. Makhayeva DN., Irmukhametova GS. Khutoryanskiy VV. Advances in antimicrobial polymeric iodophors. *European Polymer Journal.* 2023; 201:112573. doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2023.112573

19. Reva ON, Korotetskiy IS, Joubert M, et al. The Effect of Iodine-Containing Nano-Micelles, FS-1, on Antibiotic Resistance, Gene Expression and Epigenetic Modifications in the Genome of Multidrug Resistant MRSA Strain Staphylococcus aureus ATCC BAA-39. *Front Microbiol.* 2020;11:581660. doi.org/10.3389/fmicb.2020.581660
20. Yuldasheva GAR, Kurmanaliyeva A, Ilin A. Structure of the Active Nanocomplex of Antiviral and Anti-Infectious Iodine-Containing Drug FS-1. *Quantum Rep.* 2021; 3(4):746-812. doi.org/10.3390/quantum3040047
21. Yuldasheva GAR, Zhidomirov GM, Ilin AI. Effect of α -dextrin nanoparticles on the structure of iodine complexes with polypeptides and alkali metal halogenides, and on the mechanisms of their anti-human immunodeficiency virus and anticancer activity. In: Grumezescu, A.M., editor. *Design and Development of New Nanocarriers*. New York: William Andrew Publisher; 2018. p. 637-685. doi.org/10.1016/B978-0-12-813627-0.00017-X
22. Mendes de Oliveira E, Silva JC, Ascar TP, et al. Acute Inflammation Is a Predisposing Factor for Weight Gain and Insulin Resistance. *Pharmaceutics*. 2022;14(3):623. doi.org/10.3390/pharmaceutics14030623
23. Oyewole AL, Oluwole A, Owoyele BV. Plasmodium berghei-induced malaria decreases pain sensitivity in mice, Onderstepoort Journal of Veterinary Research. 2021; 88(1);a1871. doi.org/10.4102/ojvr.v88i1.1871
24. Silva AF, Sousa JS, Cunha PL, et al. Erythrocytes morphology and hemorheology in severe bacterial infection. *Mem Inst Oswaldo Cruz.* 2019;114:e190326. doi.org/10.1590/0074-02760190326
25. Rosen AL, Lint MA, Voelker DH, et al. Secretory leukocyte protease inhibitor protects against severe urinary tract infection in mice. *mBio.* 2024; 15:e02554-23. doi.org/10.1128/mbio.02554-23
26. Zabawa TP, Pucci MJ, Parr TR Jr, Lister T. Treatment of Gram-negative bacterial infections by potentiation of antibiotics. *Curr Opin Microbiol.* 2016;33:7-12. doi.org/10.1016/j.mib.2016.05.005
27. Sohail MF, Sarwar HS, Javed I, et al. Cell to rodent: toxicological profiling of folate grafted thiomers enveloped nanoliposomes. *Toxicol Res (Camb).* 2017;6(6):814-821. doi.org/10.1039/c7tx00146k
28. Milagre MM, Branquinho RT, Gonçalves MF, et al. Activity of the sesquiterpene lactone goyazensolide against Trypanosoma cruzi in vitro and in vivo. *Parasitology.* 2020;147(1):108-119. doi.org/10.1017/S0031182019001276
29. Johnson DE, Bahrani FK, Lockatell CV, et al. Serum immunoglobulin response and protection from homologous challenge by Proteus mirabilis in a mouse model of ascending urinary tract infection. *Infect Immun.* 1999;67(12):6683-7. doi.org/10.1128/IAI.67.12.6683-6687.1999

Тышқандардағы Proteus mirabilis-индукцияланған несеп-жыныс жолдарының инфекциясына (ЖЖИ) жаңа антибиотик күшейткішінің (ПА) әсерін бағалау

**Н. Ибрагимова¹, М. Лю¹, А. Айтынова^{*1}, Т. Гапурхаева¹,
А. Красноштанов¹, Г. Пономарева¹, К. Шойбек¹, Д. Иса¹**

¹Инфекцияға қарсы препараттардың ғылыми орталығы, Алматы, Қазақстан

Аңдатпа. *Proteus mirabilis* несеп-жыныс жолдарының инфекциясының (ЖЖИ) клиникалық симптомдарын тудыруға қабілетті және әдеттегі микробқа қарсы препараттарға төзімділігі

жоғары әртүрлі бактериялардан тұратын кристалды биопленка түзеді. Ұсынылған жұмыс ЖЖИ бар тышқандардағы ПА-ның антибиотикті күшейту әсерін зерттеуге арналған. Олар 5 топқа интакт, оң бақылау, амоксициллин тобы, ПА тобы, амоксициллин және ПА тобы болып бөлінді. ЖЖИ *P. mirabilis* (1.5×10^9 КҚБ/мл) егу арқылы индукцияланды, содан кейін жануарлар 14 күн бойы емделді. Амоксициллин мен ПА қабылдаған жануарлар оң бақылаумен салыстырғанда салмақ қосудың қалыпты жылдамдығын көрсетті ($p < 0.01$). Біріктірілген терапия сонымен қатар эритроциттердің, гематокрит пен гемоглобиннің, сондай-ақ лейкоциттер, лимфоциттер, моноциттер және гранулоциттер ($p < 0.01$) деңгейінде қалыпқа келтірілді, бұл қабыну процесінің жеңілдеуін көрсетеді. Бауыр трансаминазаларының айтарлықтай жоғарылауы: ALT және AST, сондай-ақ BUN және CREAT деңгейлерінің ИЖИ бар тышқандар тобында байқалды, ем жүргізілмеген ($p < 0.01$). Дегенмен, біріктірілген терапия бауыр мен бүйректің қалыпты жұмысын көрсететін осы маркерлердің барлығын айтарлықтай жеңілдетуге әкелді ($p < 0.01$). Соңында, гистологиялық зерттеу біріктірілген емнің нефропротекторлық әсері бар екенін, құрылымның тұтастығын, дегенеративті процестердің аздығын және оң бақылаудан айырмашылығы тоқырауды азайтатынын көрсетті. Осылайша, жаңа ПА препараты микробқа қарсы препараттардың тиімділігін арттыру қабілетіне байланысты жұқпалы ауруларды емдеудің перспективалық әдісін ұсына алады.

Түйін сөздер: йод кешені, *Proteus mirabilis*, несеп-жыныс жолдарының инфекциясы, бүйрек, антибиотиктерді күшейту

Оценка эффекта нового потенциатора антибиотиков (ПА) на инфекцию мочевыводящих путей (ИМП), индуцированной *Proteus mirabilis* у мышей

Н. Ибрагимова¹, М. Лю¹, А. Айтынова^{*1}, Т. Гапурхаева¹,
А. Красноштанов¹, Г. Пономарева¹, К. Шойбек¹, Д. Иса¹

¹Научный центр противoinфекционных препаратов, Алматы, Казахстан

Аннотация. *Proteus mirabilis* способен вызывать клинические симптомы инфекции мочевыводящих путей (ИМП) и формировать кристаллическую биопленку из различных бактерий, обладающих высокой устойчивостью к традиционным антимикробным препаратам. Представленная работа была разработана для изучения эффекта потенцирования антибиотиков ПА у мышей с ИМП. Они были разделены на 5 групп: интактные, положительный контроль, группа амоксициллина, группа ПА, амоксициллин и группа ПА. ИМП вызывали инокуляцией *P. mirabilis* (1.5×10^9 КОЕ/мл), затем животные получали лечение в течение 14 дней. Животные, получавшие амоксициллин и ПА, показали нормальную скорость набора веса по сравнению с положительным контролем ($p < 0.01$). Комбинированная терапия также нормализовалась в уровнях эритроцитов, гематокрита и гемоглобина, а также лейкоцитов, лимфоцитов, моноцитов и гранулоцитов ($p < 0.01$), что указывает на облегчение воспалительного процесса. Значительный рост печеночных трансаминаз: ALT и АСТ, а также уровней мочевины и креатинина были отмечены в группе мышей с ИМП, не получавших терапию ($p < 0.01$). Однако комбинированная терапия привела к значительному снижению всех этих маркеров ($p < 0.01$), что свидетельствует

о нормальной функции печени и почек. Наконец, гистологическое исследование показало, что комбинированная терапия оказала нефропротекторное действие, показав более сохранную структуру, меньше дегенеративных процессов и снижение застоя в отличие от положительного контроля. Таким образом, новый препарат ПА благодаря своей способности потенцировать эффективность антимикробных препаратов может предложить перспективный подход для лечения инфекционных заболеваний.

Ключевые слова: йодный комплекс, *Proteus mirabilis*, инфекция мочевыводящих путей, почки, потенцирование антибиотиков

Сведения об авторах:

Ибрагимова Наиль Ахтамовна – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией фармакологии и токсикологии АО «НЦПП», аль-Фараби, 75а, 050060, Алматы Казахстан.

Лю Марина Борисовна – биолог с высшим пятилетним образованием, заместитель заведующего лабораторией фармакологии и токсикологии АО «НЦПП», аль-Фараби, 75а, 050060, Алматы Казахстан.

Айтынова Арайлым Елдоскызы – автор-корреспондент, магистр естественных наук, научный сотрудник лаборатории фармакологии и токсикологии АО «НЦПП», аль-Фараби, 75а, 050060, Алматы Казахстан.

Гапурхаева Тамари Эсмановна – специалист медико-биологического дела, старший научный сотрудник лаборатории фармакологии и токсикологии АО «НЦПП», аль-Фараби, 75а, 050060, Алматы Казахстан.

Красноштанов Аркадий Владимирович – магистр естественных наук, техник-исследователь лаборатории фармакологии и токсикологии АО «НЦПП», аль-Фараби, 75а, 050060, Алматы Казахстан.

Пономарева Галина Валентиновна – магистр естественных наук, старший научный сотрудник лаборатории фармакологии и токсикологии АО «НЦПП», аль-Фараби, 75а, 050060, Алматы Казахстан.

Шойбек Карина Сергеевна – бакалавр естественных наук, младший научный сотрудник лаборатории фармакологии и токсикологии АО «НЦПП», аль-Фараби, 75а, 050060, Алматы Казахстан.

Иса Диана Ныгызбеккызы – магистр естественных наук, научный сотрудник лаборатории фармакологии и токсикологии АО «НЦПП», аль-Фараби, 75а, 050060, Алматы Казахстан.

Авторлар туралы мәліметтер:

Ибрагимова Наиль Ахтамовна – биология ғылымдарының кандидаты, «ҰАО» АҚ фармакология және токсикология зертханасының меңгерушісі, Әл-Фараби 75а, 050060, Алматы, Қазақстан.

Лю Марина Борисовна – бесжылдық жоғары білімі бар биолог, «ҰАО» АҚ фармакология және токсикология зертханасы меңгерушісінің орынбасары, Әл-Фараби 75а, 050060, Алматы, Қазақстан.

Айтынова Арайлым Елдосқызы – хат-хабар авторы, жаратылыстану ғылым магистрі, «ҰАО» АҚ фармакология және токсикология ғылыми қызметкері, Әл-Фараби 75а, 050060, Алматы, Қазақстан.

Гапурхаева Тамари Эсмановна – медициналық-биологиялық мәселелер жөніндегі маман, «ҰАО» АҚ фармакология және токсикология зертханасының аға ғылыми қызметкері, Әл-Фараби 75а, 050060, Алматы қ., Қазақстан.

Красноштанов Аркадий Владимирович – жаратылыстану ғылым магистрі, «ҰАО» АҚ фармакология және токсикология зертханасының техник-зерттеушісі, Әл-Фараби 75а, 050060, Алматы, Қазақстан.

Пономарева Галина Валентиновна – жаратылыстану ғылым магистрі, «ҰАО» АҚ фармакология және токсикология зертханасының аға ғылыми қызметкері, Әл-Фараби 75а, 050060, Алматы, Қазақстан.

Шойбек Карина Сергеевна – бакалавр, «ҰАО» АҚ фармакология және токсикология кіші ғылыми қызметкері, Әл-Фараби 75а, 050060, Алматы, Қазақстан.

Иса Диана Нағызбекқызы – жаратылыстану ғылым магистрі, «ҰАО» АҚ фармакология және токсикология ғылыми қызметкері, Әл-Фараби 75а, 050060, Алматы, Қазақстан.

Authors' information:

Ibragimova Nailya Akhtamovna – Candidate of biological sciences, Head of the Laboratory of Pharmacology and Toxicology of JSC SCAID, Al-Farabi 75a, 050060, Almaty, Kazakhstan.

Lyu Marina Borisovna – biologist with a five-year higher education, Deputy Head of the Laboratory of Pharmacology and Toxicology of JSC SCAID, Al-Farabi 75a, 050060, Almaty, Kazakhstan.

Aitynova Arailym Eldoskyzy – corresponding author, Master of Natural Sciences, researcher, Laboratory of Pharmacology and Toxicology of JSC SCAID, Al-Farabi 75a, 050060, Almaty, Kazakhstan.

Gapurkhaeva Tamari Esmanovna – specialist in medical and biological sciences, senior researcher, laboratory of pharmacology and toxicology of JSC SCAID, Al-Farabi 75a, 050060, Almaty, Kazakhstan.

Krasnoshtanov Arkadiy Vladimirovich – Master of Science (Natural Sciences), research technician, laboratory of pharmacology and toxicology of JSC SCAID, Al-Farabi 75a, 050060, Almaty, Kazakhstan.

Ponomareva Galina Valentinovna – Master of Science (Natural Sciences), senior researcher, laboratory of pharmacology and toxicology of JSC SCAID, Al-Farabi 75a, 050060, Almaty, Kazakhstan.

Shoibek Karina Sergeevna – Bachelor of Science (Natural Sciences), junior researcher, laboratory of pharmacology and toxicology of JSC SCAID, Al-Farabi 75a, 050060, Almaty, Kazakhstan.

Issa Diana Nygyzbekkyzy – Master of Natural Sciences, Researcher, Laboratory of Pharmacology and Toxicology, JSC SCAID, Al-Farabi 75a, 050060, Almaty, Kazakhstan.



МРНТИ 34.34.23

<https://doi.org/10.32523/2616-7034-2025-151-2-41-61>

Обзорная статья

Гены серотонинергической и дофаминергической системы и их полиморфизмы, ассоциированные с суицидальным поведением

А.Б. Тусупова*¹, Р.К. Татаева¹, Ж.П. Сембаева¹, С.И. Чухатина², О.Ю. Федоренко³,
М.М. Байбулова⁴

¹Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

²Многопрофильная городская больница №1, Астана, Казахстан

³НИИ психического здоровья Томского НИМЦ, Томск, Россия

⁴Центр детско-юношеского туризма и краеведения, Астана, Казахстан

*Автор-корреспондент: aruzhan_1803@mail.ru

Аннотация. Суицидальное поведение представляет собой сложное многофакторное явление, обусловленное взаимодействием биологических, психологических, социальных и экологических факторов. Одним из ключевых направлений в изучении биологических основ суицидального поведения является исследование генетической предрасположенности, что подтверждается семейными, близнецовыми и молекулярно-генетическими исследованиями. Особую роль в регуляции аффективных состояний и суицидального поведения играют гены серотонинергической (TPH1, TPH2, 5HT2A, 5-HT1A, SLC6A4, 5-HT2C, MAOA) и дофаминергической (ANKK1, DRD2, COMT) систем. Серотонин является основным нейромедиатором, участвующим в регуляции настроения, импульсивности и стрессового ответа, а его дисбаланс ассоциируется с депрессией и повышенным риском суицидального поведения. Дофаминергическая система, в свою очередь, влияет на мотивацию, когнитивные процессы и реакцию на стресс, а её дисфункция может способствовать развитию импульсивности и эмоциональной нестабильности, что также повышает риск суицидальных действий. Несмотря на значительное количество исследований, направленных на изучение генетических предикторов суицидального поведения, их результаты остаются противоречивыми. Различия в выборке, методах генотипирования и статистической обработки данных, а также возможное влияние эпигенетических механизмов требуют комплексного анализа имеющихся данных и дальнейшего исследования молекулярных основ суицидального риска. Целью данного обзора является систематизация данных о генетических факторах, связанных с суицидальным поведением, на основе анализа научных публикаций за последние 12 лет (2013–2024 гг.). Изучение ассоциаций полиморфизмов генов может способствовать ранней диагностике и разработке эффективных стратегий превентивного вмешательства.

Ключевые слова: суицид, суицидальная попытка, гены-кандидаты, одонуклеотидные полиморфизмы, серотонинергическая система, дофаминергическая система

Поступила: 28.03.2025. Одобрена: 24.06.2025. Доступна онлайн: 04.07.2025

Введение

Генетические факторы, проявляющие либо моногенную, либо чаще мультигенную модель наследования, а также воздействие окружающей среды определяют как этиологию суицидального поведения (СП), так и формирование специфических черт поведения. Суицидальное поведение – это совокупность мыслей, намерений, высказываний и действий, направленных на лишение себя жизни. Оно включает в себя широкий спектр проявлений: от пассивных мыслей о смерти до активных суицидальных попыток и завершённого суицида. Оценки наследственности самоубийств среди близнецов варьируются от 21% до 50%, основываясь на отчетах о случаях заболевания и исследованиях на основе регистров, указывая на значительное влияние аддитивных генетических факторов [1]. Несмотря на убедительные доказательства наследования суицидальных мыслей (СМ) и действий, интерпретация результатов генетических исследований остается сложной задачей. Генетическая предрасположенность может повысить уязвимость к таким состояниям психического здоровья, как депрессия, биполярное расстройство или злоупотребление психоактивными веществами, которые часто связаны с риском СП [2–4].

Республика Казахстан занимает 20-е место в мире по уровню самоубийств. Эти цифры, вероятно, недооценивают истинный масштаб проблемы, поскольку многие самоубийства, вероятно, маскируются другими зарегистрированными причинами смерти. Учитывая оценочное соотношение завершённых самоубийств и попыток (1:10), количество СП в Казахстане остается тревожно высоким (4500 в 2021 году и 3700 в 2022 году) [5]. Эта сохраняющаяся проблема подчеркивает необходимость дальнейших исследований для лучшего понимания сложной природы и механизмов СП с целью разработки эффективных профилактических стратегий. В свою очередь, анализ социально-экономических факторов, таких, как безработица, финансовые трудности и экономическая нестабильность, выявил, что безработица является наиболее значимым фактором риска суицида как для населения в целом, так и для мужчин и женщин в казахской популяции [6].

Исследования ассоциаций по всему геному (GWAS) значительно продвинули понимание генетических основ психических расстройств. Масштабные исследования показали, что на эти состояния влияют многочисленные общие генетические вариации, причем каждая вариация вносит небольшой вклад в степень риска [7]. На сегодняшний день существует более двадцати GWAS, посвященных изучению генетических основ СП, которые отличались по составу популяций, этнической принадлежности участников, используемым фенотипам и дизайну исследований [8,9]. Однако большинство этих исследований были основаны на выборках европейского происхождения и имели недостаточную статистическую мощность для надежной идентификации генетических локусов, ассоциированных с суицидальностью. Определение у пациента комплекса биологических маркеров, характерных для людей с высоким риском совершения СП, дало бы возможность своевременно начать лечение [10]. Данный обзор направлен на обобщение и анализ данных о генетических факторах, связанных с суицидальным поведением, на основе научных публикаций, опубликованных в период с 2013 по 2024 год.

Взаимодействие генетических и средовых факторов в суицидальном поведении

Согласно теории диатеза-стресса, суицидальное поведение является результатом взаимодействия врожденных факторов уязвимости и факторов внешней среды, которые запускают суицидальные тенденции [11]. Исследования СП демонстрируют значительную роль генетических факторов в его межпоколенческой передаче. Риск СП у потомства, имеющих родителей с историей СП, возрастает в пять раз [12]. Популяционные исследования на больших выборках шведского населения позволили более точно оценить относительный вклад генетических и экологических факторов в эту передачу. O'Reilly и соавт. (2020) показали, что генетические факторы играют доминирующую роль в трансгенерационной передаче суицидального поведения [13]. Однако Kendler и коллеги (2020) в своем исследовании на той же популяции выявили более сбалансированное влияние генетических и экологических факторов, при этом родительские психиатрические и наркологические расстройства объясняют значительную часть генетического эффекта [14]. Оба исследования также продемонстрировали существенную генетическую корреляцию между СП и завершенными самоубийствами, но при этом обнаружили и некоторые различия в генетической архитектуре этих фенотипов.

Факторы окружающей среды, такие, как детская травма, насилие или подверженность насилию, могут взаимодействовать с генетической уязвимостью, повышая риск СМ [15]. Психологические факторы, включая импульсивность, безнадежность и чувство изоляции, также могут в значительной степени способствовать СМ и СП [16]. К биологическим факторам уязвимости относят генетические факторы, воспаление, нарушения в работе нейромедиаторных систем, а также изменения в уровне холестерина и функционировании оси "гипоталамус-гипофиз-надпочечники" [17]. Важно подчеркнуть, что самоубийство не вызывается исключительно одним фактором, а скорее возникает из-за сложной комбинации вышеуказанных элементов.

Гены серотонинергической и дофаминергической систем

Генетические варианты, потенциально способствующие дисфункции серотонинергической системы, всегда были в центре внимания ученых. Серотонин или 5-гидрокситриптамиин (5-НТ) является ключевым нейротрансмиттером, участвующим в регуляции настроения, агрессии, импульсивности и других эмоциональных состояний [18]. Генетические вариации в серотониновой системе могут влиять на уровень и функцию серотонина в мозге, что, в свою очередь, оказывает значительное влияние на эмоциональное состояние и поведение человека, включая риск СМ и СП. Изменения в уровне серотонина и дисфункция его рецепторов могут происходить по нескольким механизмам, затрагивающим его синтез, транспорт, рецепцию, деградацию и быть связаны с повышенной импульсивностью и агрессией, которые являются критическими факторами риска СП [19]. Аномальная регуляция серотониновых рецепторов может изменить чувствительность нейронов к серотонину, а именно к повышенной

активности 5-HT_{2A}-рецепторов (HTR2A A138G, rs6311, rs6313). Это может приводить к гиперреактивности в префронтальной коре, что ассоциируется с импульсивностью и агрессией [20]. Генетические вариации, влияющие на гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковую ось (например, в FKBP5), могут модулировать серотониновую активность через гиперсекрецию кортизола. Высокий уровень кортизола снижает экспрессию TRH2, что приводит к понижению уровня серотонина в ЦНС и увеличению риска депрессии и СП [21]. Понимание роли серотонинергической системы в СП может дать информацию о разработке более эффективных терапевтических стратегий и профилактических мер.

Ген триптофангидроксилаза 1

Фермент триптофангидроксилаза 1 является неотъемлемой частью пути биосинтеза серотонина. Этот фермент катализирует превращение триптофана в 5-гидрокситриптофан (5-HTP), начальный и ограничивающий скорость этап в производстве серотонина [22]. Существует два гена, кодирующих фермент триптофангидроксилазы (TRH), и оба они находятся в седьмом интроне: TRH-1, который расположен на хромосоме 11p15.3-14, имеет длину около 29 тысяч пар оснований и включает как минимум 11 экзонов. Ген TRH-2 расположен на хромосоме 12q21.1, размером 97 тысяч пар оснований и содержит 11 экзонов [23].

TRH1 в первую очередь экспрессируется в периферических тканях, в частности, в энтерохромаффинных клетках желудочно-кишечного тракта, тем самым играя важную роль в синтезе периферического серотонина. Генетические вариации в генах, таких, как TRH1 и TRH2, связаны с суицидальностью, что также подчеркивает наследственный компонент серотонинергической дисрегуляции [24]. Например, в европейской и турецкой популяциях полиморфизм A218C демонстрировал значимую связь с повышенным риском СП, тогда как в азиатских популяциях такой ассоциации обнаружено не было [25,26]. Исследование González-Castro и соавт. (2014) также подтвердило значительную ассоциацию полиморфизмов генов TRH-1 (A218C и A779C) с СП. В отношении полиморфизмов генов TRH-2 (G-703T, A-473T и G19918A) значимой связи с СП обнаружено не было. Эти результаты требуют дальнейшего подтверждения с использованием более крупных выборок и учета этнических различий [27]. Вариант гена TRH1 rs1800532 и недавние стрессовые жизненные события были независимо связаны с СП у сербских психиатрических пациентов [28]. Уменьшение объема серого вещества в лобных, височных долях и мозжечке у пациентов с депрессивным расстройством и СП может быть связано с нарушением серотонинергической системы, в которой важную роль играет фермент TRH1. Уменьшение объема серого вещества в лобных и височных долях, а также в мозжечке связано с нарушением нейропластичности, снижением синаптической плотности и дисфункцией серотонинергической системы [29]. Лобные доли участвуют в регуляции эмоций и контроля импульсов, а их атрофия может приводить к усилению негативных аффектов и суицидальных мыслей. Височные доли играют ключевую роль в обработке эмоциональных стимулов, а их уменьшение связано с повышенной реактивностью на стресс. Нарушение структуры мозжечка, участвующего

в когнитивной регуляции и эмоциональной стабильности, дополнительно усугубляет суицидальный риск. Аллель А полиморфизмов TRH1 rs1800532 и rs1799913 могут снижать активность фермента TRH1 через регуляцию экспрессии гена, стабильности мРНК или эпигенетические механизмы. Это приводит к снижению уровня серотонина, что связано с уменьшением объема серого вещества и повышенным риском депрессии и СП [30].

Ген триптофангидроксилаза 2

Фермент триптофангидроксилаза 2 (TRH2) преимущественно активен в центральной нервной системе [31]. Он является ключевым ферментом, ограничивающим скорость синтеза серотонина в мозге, и ее активность связана с различными психическими расстройствами [32]. Триптофангидроксилаза 2 (TRH2) – ген, который играет решающую роль в выработке серотонина. Согласно результатам метанализа Choong, несколько специфических однонуклеотидных полиморфизмов гена TRH2 (rs4570625, rs11178997, rs11178998, rs10748185, rs1843809, rs4290270, rs17110747) были связаны с одним или несколькими психическими заболеваниями, несмотря на небольшую величину эффекта [33]. Представленные варианты аллели могут снижать способность транскрипционных факторов (например, SP1) связываться с промотором, что ведет к снижению экспрессии TRH2 и, как следствие, к уменьшению продукции серотонина в нейронах ядра шва.

В свою очередь, полиморфизмы гена TRH2 SNP rs4570625 проявляют значимую ассоциацию с расстройствами настроения, самоубийством и шизофренией [34]. Полиморфизм rs7305115 гена TRH2 был ассоциирован с увеличенным риском СП в мексиканской популяции [35]. Этот полиморфизм, расположенный в кодирующей области TRH2, может приводить к изменению аминокислотной последовательности, это может повлиять на каталитическую активность фермента, его стабильность или способность эффективно использовать кофакторы (например, биоптерин). В то же время в исследовании Kilicaslan и коллег (2022) не было выявлено значимых различий в частоте аллелей rs1800532 гена TRH-1 и rs7305115, rs1386494 гена TRH-2, rs6355 гена SLC6A4 между группой суицида и контрольной группой, а также между мужчинами и женщинами в обеих группах [36].

Гены, кодирующие рецепторы 5-гидрокситриптамина

Серотониновые рецепторы представляют собой группу мембранных белков, опосредующих действие серотонина (5-гидрокситриптамина, 5-НТ), относятся к семейству G-белок-сопряженных рецепторов (GPCR) и ионных каналов, которые участвуют в передаче сигнала от серотонина к внутриклеточным каскадам [37].

5-гидрокситриптамин рецептор 2A (5HTR2A) – ген, кодирующий рецептор 5-гидрокситриптамина 2A (5-НТ2A), белок, участвующий в регуляции настроения, когнитивных процессах, сенсорном восприятии и нейропластичности. Ген 5HTR2A локализуется на хромосоме 13 (13q14-q21), имеет длину 20 кб и включает три экзона. Полиморфизм C1019G (rs6295), расположенный в промоторной области гена рецептора серотонина 5-HTR1A, является одним из наиболее изученных генетических вариантов, ассоциированных с

различными психическими расстройствами. Несколько независимых исследований выявили ассоциацию между аллелем G полиморфизма rs6295 и повышенным риском развития пограничного расстройства личности [38]. В то же время Gonzalez-Castro и соавторы (2014) в своем мета-анализе не выявили значимой ассоциации между rs6295 и риском суицида [27]. Аналогичным образом Hofer и коллеги (2016) не обнаружили связи между этим полиморфизмом и текущим риском суицида или наличием СП в прошлом у пациентов с депрессивным расстройством [39]. Исследование Banlaki и коллег (2015) выявило интересную связь между аллелем T полиморфизма rs7322347 5-HT_{2A} рецептора серотонина и повышенными уровнями гнева и физической агрессии у взрослых без психиатрических заболеваний [40]. Этот результат предполагает, что аллель T полиморфизма rs7322347 может приводить к изменению уровней экспрессии гена HT_{2A} в префронтальной коре (ПФК) и миндалине – ключевых регионах, отвечающих за регуляцию эмоций и контроля импульсов.

Важно отметить то, что взаимодействие между рецепторами 5-HT_{1A} (5-гидрокситриптамиин рецептор 1A) и 5-HT_{2A} (5-гидрокситриптамиин рецептор 2A) играет важную роль в регуляции импульсивности и агрессии. Как известно, 5-HT_{1A} – это тормозной рецептор, активность которого подавляет агрессивное поведение. 5-HT_{2A}, напротив, может усиливать возбуждающие сигналы [41].

Наибольшее внимание в контексте СП привлекли полиморфизмы A-1438G (rs6311), T102C (rs6313) и His452Tyr (rs6314) гена 5HT_{2A}. Существующие исследования рассмотрели все SNP в гене [42]. При униполярной депрессии у пациентов с СП была проанализирована частота генотипа и аллелей полиморфизма 5-HT_{2A} rs6313, но авторы M.Li и соавт. (2022) подчеркнули, что данный полиморфизм не связан с СП у взрослых женщин с депрессией [43]. Другое исследование не подтвердило связь между аллелем C полиморфизма rs6313 рецептора 5-HT_{2A} и самоубийством [39]. Однако носительство генотипа C/C того же полиморфизма ассоциируется с повышенным риском СП у пациентов с шизофренией [44].

В то же время, согласно Ghasemi и коллеги (2018), полиморфизмы A1438G и C1354T в гене 5HT_{2A} не проявили значимой ассоциации с риском суицида или количеством стрессовых событий и потерь [45]. Аналогично исследование Hofer и соавт. (2016) заключило, что полиморфизм rs6313 в гене HT_{2A} (A/G) не показывает значимой ассоциации с риском самоубийства у пациентов с депрессией [39]. Также метаанализ, включающий 23 исследования ассоциаций, не выявил связь полиморфизма rs6313 с СП среди кавказцев и азиатов [46].

Ген, кодирующий серотониновый рецептор 5-HT_{2C} (5-гидрокситриптамиин рецептор 2C), локализован на длинном плече X-хромосомы в области q24 [41]. Этот рецептор играет важную роль в регуляции различных функций, включая настроение, аппетит и сон. Функциональный вариант C23S (rs6318) в гене HT_{2C}, кодирующем серотониновый рецептор 5-HT_{2C}, представляет собой однонуклеотидный полиморфизм, который приводит к замене аминокислоты цистеина (C) на серин (S) в позиции 23 белковой последовательности. Это может влиять на структуру и функциональные свойства рецептора, изменяя его конформацию, аффинность к серотонину или взаимодействие с

внутриклеточными сигнальными путями. В исследовании Karanovic и соавторов (2015), проведенном на сербской психиатрической выборке, авторы обнаружили ассоциацию между минорным аллелем С полиморфизма C23S и повышенным риском СП [47].

Ген-транспортер серотонина

Ген SLC6A4 кодирует серотониновый транспортер (SERT), регулирующий уровень серотонина (5-HT) в синаптической щели путем его обратного захвата в пресинаптический нейрон [48]. Этот процесс необходим для завершения серотонинергической передачи и поддержания нейротрансмиттерного баланса. SERT функционирует как натрий-зависимый симпортер: транспорт серотонина происходит совместно с двумя ионами Na^+ и одним ионом Cl^- , что обеспечивает электрохимический градиент, необходимый для активного переноса. После доставки внутрь клетки серотонин либо повторно используется в везикулах, либо разрушается ферментом моноаминоксидазой (MAO). Натрий-зависимость обусловлена необходимостью использования разницы концентраций Na^+ вне и внутри клетки для обеспечения энергонезависимого транспорта серотонина против его градиента. Ген расположен на хромосоме 17q11.1-17q12, кодирует белок, состоящий из 630 аминокислот с 12 трансмембранными доменами [48].

Ген SLC6A4 особенно важен для нейropsychиатрических функций и связан с риском развития различных психических расстройств, включая СП. Ген SLC6A4 включает функциональный полиморфизм промотора (5-HTTLPR). Длинный аллель (L) промотора характеризуется более высокой транскрипционной активностью. Короткий аллель (S) имеет более низкую транскрипционную активность [49]. Исследование Consolono и соавт. (2018) продемонстрировало, что экспрессия гена транспортера серотонина в периферической крови может служить перспективным биомаркером для прогнозирования СП у пациентов с большим депрессивным расстройством (БДР) [50]. В результате исследования индийских ученых частота аллеля L-гена 5-HTTLPR была значительно выше у людей, совершивших самоубийство [51]. В свою очередь, исследование, проведенное среди жителей Новосибирска, выявило связь между генетическими вариациями гена SLC6A4, кодирующего транспортер серотонина, и наличием депрессии [52].

Ген моноаминоксидаза А

Ген MAOA (моноаминоксидаза А) кодирует фермент, катализирует окислительное дезаминирование моноаминовых нейротрансмиттеров, таких, как серотонин, дофамин и норэпинефрин. MAOA локализуется преимущественно в катехоламинергических и серотонинергических нейронах, особенно в лимбической системе и префронтальной коре, которые регулируют поведение, эмоции и стрессовые реакции. Известны два изофермента моноаминоксидазы: MAO-A и MAO-B, расположенные на хромосоме X в области p11.23-11.4. Ген MAOA содержит в своей промоторной области варибельное число tandemных повторов (VNTR) длиной 30 пар оснований [53]. Экспериментальные исследования *in vitro* выявили, что аллели с 3,5 или 4 копиями повторяющейся последовательности демонстрируют значительно более высокую транскрипционную

активность по сравнению с аллелями, содержащими 3 или 5 копий [54]. В работе Zhang и соавт. (2016), проведенной на выборке азиатских подростков, была обнаружена положительная связь между низкой активностью гена MAOA (аллель L) и склонностью к агрессивному поведению, особенно у тех, кто подвергался жестокому обращению в детстве [55]. В контексте физического или эмоционального насилия пациенты в группе MAOA-L демонстрировали большую тенденцию к агрессии, чем пациенты в группе MAOA-H [56]. При MAOA-L метаболизм серотонина замедляется, затем повышенный уровень 5-НТ в синапсах ведет к десенситизации 5-НТ-рецепторов (особенно 5-НТ1А, 5-НТ2А), что в свою очередь ведет к дисфункции ингибиторных нейронных цепей, вызывает импульсивность, агрессию и повышает риск суицида. Хронически повышенный уровень серотонина из-за низкоактивного варианта MAOA может привести к десенситизации серотонинергической системы, что в долгосрочной перспективе парадоксально снижает серотонинергическую активность и способствует аффективным расстройствам. Также 5-НТ участвует в регуляции гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой (НРА) оси, отвечающей за стресс-ответ. Дефицит 5-НТ ведет к гиперактивации НРА, это, в свою очередь, приводит к хроническому избытку кортизола, как следствие, появляется атрофия гиппокампа, приводящая к депрессии и суицидальности.

Связь между агрессивным поведением и СП можно объяснить с нейробиологической точки зрения через общий нейрохимический и генетический фон, включающий дисфункцию серотонинергической и катехоламинергической систем. Исследования пакистанской популяции показали, что взаимодействие между полиморфизмами гена MAOA и опытом насилия может оказывать значительное влияние на развитие агрессивного поведения [57]. Среди женщин с аффективным расстройством, которые ранее пытались совершить насильственное самоубийство, обнаружен повышенный уровень генотипа AA для однонуклеотидного полиморфизма rs5906957 гена MAOA [58]. Полиморфизмы гена MAOA могут модулировать реакцию на стрессовые события. Например, носители аллеля MAOA-L более чувствительны к раннему травматическому опыту, что повышает риск антисоциального поведения и агрессии. Исследование словенской популяции показало тенденцию к ассоциации аллеля 3R полиморфизма MAOA-uVNTR с самоубийством, особенно в случаях ненасильственных методов [59]. Полиморфизмы в этом гене также могут влиять на личностные черты, связанные с СП [60]. В исследовании Zhang и соавт. (2017) было обнаружено, что китайские подростки с высокой экспрессией аллеля MAOA-VNTR и генотипом 5-HTTLPR "SS" демонстрировали высокие тенденции к агрессии с увеличением СП в детстве [61].

Таким образом, гены серотонинергической системы (TPH1, TPH2, 5HTT2A, 5-HT1A, SLC6A4, 5-HT2C, MAOA) (Таблица 1) играют ключевую роль в регуляции аффективных состояний и СП. Дисфункция серотониновой нейротрансмиссии связана с повышенной импульсивностью, агрессией и нарушенной стресс-адаптацией, что повышает риск СМ и СП. Полиморфизмы в этих генах ассоциированы с изменениями серотонинового метаболизма, аномальной активацией стресс-реакции и суицидальным риском.

Таблица 1

Гены серотонинергической системы

Ген	Функция	Хромосомное расположение	ОНП	Связь с суицидальным поведением	Дополнительная информация
TPH1 (Tryptophan Hydroxylase 1)	Кодирует фермент триптофан-гидроксилазу 1, катализирующий первый этап биосинтеза серотонина в периферической системе	11p15.3-p14	rs1800532, rs1799913	Нарушение биосинтеза серотонина может приводить к дефициту серотонина в организме, что связано с депрессией и нарушенной эмоциональной регуляцией, повышающими риск СП.	Участвует в синтезе серотонина вне мозга (например, в кишечнике и сосудах).
TPH2 (Tryptophan Hydroxylase 2)	Кодирует фермент триптофан-гидроксилазу 2, участвующий в синтезе серотонина в ЦНС	12q21.1	rs4570625, rs7305115, rs4641528	Дисфункция фермента приводит к снижению синтеза серотонина в мозге, что ассоциировано с нарушенной стрессовой реакцией, тревожностью, депрессией и суицидальностью.	Экспрессируется преимущественно в серотонинергических нейронах головного мозга.
5-HT _{2A} (Serotonin Receptor 2A, HTR2A)	Кодирует серотониновый рецептор 2A (5-HT _{2A}), участвующий в передаче нейросигналов	13q14-q21	rs6313, rs6311, rs6314	Аномальная активность рецептора 5-HT _{2A} может приводить к нарушениям нейротрансмиссии, влияя на эмоциональную регуляцию, импульсивность и восприимчивость к стрессу, что увеличивает риск СП.	Влияет на функции префронтальной коры и лимбической системы, участвующих в контроле эмоций.

5-HT1A (Serotonin Receptor 1A, HTR1A)	Кодирует серотониновый рецептор 1A (5-HT1A), ингибирующий нейрональную активность	5q12.3	rs6295	Снижение активности 5-HT1A-рецепторов приводит к дисфункции серотонинергической системы, увеличивая восприимчивость к стрессу и риск депрессии и суицидальности.	Важен для механизма торможения нейрональной активности в ответ на стрессовые стимулы.
SLC6A4 (Serotonin Transporter, SERT)	Кодирует мембранный переносчик серотонина (SERT), регулирующий обратный захват серотонина из синаптической щели	17q11.2	5-HTTLPR (S/L), rs25531	Измененная активность серотонинового транспортера может снижать уровень серотонина в синапсах, усиливая стрессовую реакцию и повышая риск СП.	Ген регулирует скорость обратного захвата серотонина, определяя уровень нейромедиатора в синаптической щели.
5-HT2C (Serotonin Receptor 2C, HTR2C)	Кодирует серотониновый рецептор 2C, регулирующий пищевое поведение, настроение и импульсивность	Xq23	rs6318	Дисфункция 5-HT2C-рецепторов связана с нарушенной регуляцией импульсивности и агрессии, что увеличивает риск СП.	Взаимодействует с дофаминовой системой, участвуя в механизмах контроля эмоций.
MAOA (Monoamine Oxidase A)	Кодирует фермент моноаминоксидазу А, разрушающий серотонин, дофамин и норадреналин	Xp11.3	uVNTR (3R/4R), rs6323, rs5906957	Гиперактивность или недостаточная активность MAOA приводит к дисбалансу моноаминов (серотонина, дофамина), что может вызывать повышенную импульсивность, агрессию и СП.	Важен для регуляции нейромедиаторного баланса и эмоциональной стабильности.

Ген COMT

Фермент COMT (катехол-о-метилтрансфераза) катализирует перенос метильной группы на катехоламины, что приводит к их инактивированию и выведению их

из организма [62]. COMT (катехол-о-метилтрансфераза) ген, кодирующий этот фермент, расположен на 22q11.2. хромосоме. Определенные комбинации генетических вариаций (гаплотипы) в гене COMT связаны с суицидальным поведением у пациентов с аффективными расстройствами, учитывая воздействие жестокого обращения в детстве. В группе из 258 пациентов гаплотип GAT (rs737865, rs6269, rs4633) был значительно связан с попытками суицида. Также была выявлена тенденция к самоповреждающему поведению и ненасильственным суицидальным попыткам, хотя эти связи не были статистически значимы после корректировки на множественные тесты. Аналогичные результаты того же исследования были получены для гаплотипа GATA (rs737865, rs6269, rs4633, rs4680) [63].

Мета-анализ, проведенный в 2017 году, исследуя связь между полиморфизмом COMT Val158Met и предрасположенностью к суициду, выявил, что у женщин наблюдалось статистически значимое влияние этого полиморфизма на риск суицида в гомозиготном и рецессивном моделях, в то время как у мужчин такой ассоциации не обнаружено [64]. Аналогичны результаты другого исследования, в котором у женщин, совершивших попытку суицида, генотип G/G гена COMT rs4680 встречается значительно чаще [65]. В другом исследовании гены SLC6A4, DRD2 и MAOA не показали значимой ассоциации с суицидальным поведением [66]. Пациенты с генотипом Met158 и аллелем Met имели повышенный риск суицидальных попыток. В то же время метанализ González-Castro TB и соавт. (2018) показал, что полиморфизм Val108/158Met гена COMT не связан с суицидальным поведением в общей популяции. Однако у мужчин этот полиморфизм повышает риск, у женщин – снижает. В азиатских популяциях он связан с суицидальным поведением. Эти результаты требуют дальнейшего изучения с использованием больших выборок [67].

Ген DRD2

Ген DRD2 (дофаминовый D2 рецептор) также участвует в регуляции суицидального поведения. DRD2 – ген, расположенный на хромосоме 11q23.3. Он кодирует подтип D2 рецептора дофамина, белка, который играет решающую роль в системе вознаграждения мозга [68]. Система вознаграждения мозга – это сложная нейронная сеть, регулирующая формирование положительных эмоций, мотивацию, обучение и поведение, связанное с получением удовольствия [69]. Основу системы вознаграждения составляет мезолимбический путь, включающий вентральную область покрышки как главный источник дофамина, нуклеус аккубенс как ключевую зону его действия, а также ПФК, гиппокамп и миндалину, участвующие в когнитивной обработке и эмоциональной оценке вознаграждений [70].

Дофамин, являясь основным медиатором системы вознаграждения, синтезируется из тирозина с участием ферментов тирозингидроксилазы и ДОФА-декарбоксилазы [71]. Его действие реализуется через активацию дофаминовых рецепторов, среди которых D1-рецепторы усиливают нейронную активность, а D2-рецепторы, напротив, обладают тормозящим эффектом. Полиморфизмы гена DRD2, такие, как rs1800497 (Taq1A), могут изменять экспрессию D2-рецепторов, что влияет на чувствительность организма к дофамину [72].

Исследования показывают, что снижение плотности D2-рецепторов связано с ослабленным контролем дофаминергической активности, что ведёт к уменьшению субъективного ощущения удовольствия и, как следствие, к развитию ангедонии [73]. В европеоидной расе с алкогольной зависимостью были изучены полиморфизмы SNP в генах DRD2 и ANKK1 у 169 пациентов, совершивших попытку самоубийств [74].

Полиморфизм Taq1A(rs1800497), упоминавшийся выше, находится в 3'-фланкирующей области DRD2, ассоциируется со сниженной экспрессией рецептора D2. Установлено, что плотность рецепторов DRD2 в полосатом теле изменяется в зависимости от генетического варианта полиморфизма rs1800497. Сниженная чувствительность к вознаграждению может сделать людей более восприимчивыми к стрессу и негативным эмоциям, которые являются известными факторами риска суицидальных мыслей.

Ген ANKK1

Ген ANKK1 (анкириновый повтор и киназный домен, содержащий 1) тесно связан с геном дофаминального рецептора D2 (DRD2) на участке хромосомы 11q23.1 [75]. Ген ANKK1 кодирует предполагаемую киназу ANKK1. ANKK1 – это белок, содержащий анкириновые повторы и домен киназы. Он расположен на хромосоме 11q23.2 и состоит из восьми экзонов, образующих последовательность примерно 13 тысяч нуклеотидов [76]. Ген ANKK1 имеет решающее значение для правильного функционирования нейронов в полосатом теле, области мозга, участвующей в вознаграждении и мотивации. Нарушения в ANKK1 могут привести к поведенческим изменениям, аналогичным тем, которые наблюдаются у людей с определенным вариантом (аллель A1) полиморфизма Taq1A. Данный аллель A1 находится примерно на 10 тысяч пар оснований ниже гена DRD2 полиморфизма Taq1A (rs1800497T) [77]. Ген ANKK1, связанный с зависимостью и структурой мозга, может потенциально способствовать возникновению суицидальных мыслей посредством нескольких механизмов. Как сообщается в литературе, злоупотребление психоактивными веществами может привести к ряду проблем с психическим здоровьем, включая депрессию, тревогу и психоз [78]. Эти состояния могут увеличить риск возникновения суицидальных мыслей. Ген ANKK1, связанный с зависимостью, по-разному экспрессируется в ходе клеточного цикла в нейронных предшественниках [79]. Эти аномалии могут ухудшить способность человека справляться со стрессом, потенциально увеличивая риск суицидальных мыслей. В результате, роль ANKK1 в дофаминовой системе и структуре мозга также может сделать людей более восприимчивыми к негативным последствиям стресса, что может способствовать суицидальным мыслям и поведению.

Заключение

Генетические исследования суицидального поведения представляют одно из наиболее перспективных направлений в психиатрии и нейробиологии, поскольку они позволяют глубже понять механизмы, лежащие в основе формирования суицидального риска. Совокупность данных указывает на то, что предрасположенность

к суицидальному поведению обусловлена взаимодействием ряда биологических процессов, включая нейромедиаторную дисрегуляцию, гиперактивность стресс-осей, нарушение нейропластичности и нейроиммунные сдвиги. Особую значимость в патогенезе суицидальности приобретают гены серотониновой системы (TRH1, TRH2, 5HTR2A, 5-HT1A, SLC6A4, 5-HT2C, MAOA), регулирующие синтез, транспорт и метаболизм серотонина, чьи дисфункции ассоциируются с повышенной импульсивностью, нарушенной эмоциональной регуляцией и сниженной способностью к адаптации в стрессовых условиях. Наряду с этим гены дофаминергической системы (ANKK1, DRD2, COMT), отвечающие за модуляцию вознаграждения и поведенческих реакций, могут усиливать негативный эмоциональный фон и формировать суицидальные мысли в сочетании с хроническими стрессовыми воздействиями. В совокупности эти изменения отражают сложное взаимодействие генетических, эпигенетических и внешнесредовых факторов, при котором эпигенетические механизмы, такие, как метилирование ДНК и модификации гистонов, способны как усиливать, так и ослаблять патологические эффекты. Выявление и изучение новых генетических предикторов, а также их связи с факторами среды и психическим статусом, открывают перспективы для разработки инновационных терапевтических стратегий и профилактических мер. В частности, персонализированные подходы, нацеленные на коррекцию эпигенетических и нейротрансмиттерных дисбалансов, могут существенно повысить эффективность лечения и снизить вероятность повторных суицидальных попыток, что подчёркивает критическую важность дальнейших комплексных исследований в этой области.

Вклад авторов

А.Б. – написание оригинального текста, оформление работы; **Р.Т.** - редактирование текста, получение финансирования; **С.Ч.** – сбор данных; **О.Ф.** – анализ данных, **М.Б.** – анализ данных.

Финансирование

Данная научно-исследовательская работа выполнена при поддержке программы целевого финансирования – BR18574196 – «Изучение генетических механизмов формирования суицидального поведения для разработки стратегий прогнозирования и профилактики суицида».

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Соблюдение этических норм

Настоящая статья не содержит описания выполненных авторами исследований с участием людей или использованием животных в качестве объектов.

Список литературы

1. Lopes F, McMahon F. The Promise and Limits of Suicide Genetics. American Journal of Psychiatry. 2019;176:600–2. doi.org/10.1176/appi.ajp.2019.19060613

2. Allegrini AG, Cheesman R, Rimfeld K, et al. The p factor: genetic analyses support a general dimension of psychopathology in childhood and adolescence. *J Child Psychol Psychiatry*. 2020;61:30–9. doi.org/10.1111/jcpp.13113
3. Fehling KB, Selby EA. Suicide in DSM-5: Current Evidence for the Proposed Suicide Behavior Disorder and Other Possible Improvements. *Front Psychiatry*. 2020;11:499980. doi.org/10.3389/fpsyt.2020.499980
4. Lee PH, Anttila V, Won H, et al. Genomic Relationships, Novel Loci, and Pleiotropic Mechanisms across Eight Psychiatric Disorders. *Cell*. 2019;179:1469–1482.e11. doi.org/10.1016/j.cell.2019.11.020
5. Makhanova AM, Ponamareva OA, Tatayeva RK. The Relationship between blood cholesterol and suicidal behaviour. *BULLETIN of the LN Gumilyov Eurasian National University BIOSCIENCE Series*. 2023;144:95–114
6. Inoue K, Seksenbayev N, Chaizhunusova N, et al. An Exploration of the Labor, Financial, and Economic Factors Related to Suicide in the Republic of Kazakhstan. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18:6992. doi.org/10.3390/ijerph18136992
7. Sullivan PF, Geschwind DH. Defining the Genetic, Genomic, Cellular, and Diagnostic Architectures of Psychiatric Disorders. *Cell*. 2019;177:162–83. doi.org/10.1016/j.cell.2019.01.015
8. González-Castro TB, Tovilla-Zárate CA, Genis-Mendoza AD, et al. Identification of gene ontology and pathways implicated in suicide behavior: Systematic review and enrichment analysis of GWAS studies. *American Journal of Medical Genetics Part B: Neuropsychiatric Genetics*. 2019;180:320–9. doi.org/10.1002/ajmg.b.32731
9. Mirkovic B, Laurent C, Podlipski M-A, et al. Genetic Association Studies of Suicidal Behavior: A Review of the Past 10 Years, Progress, Limitations, and Future Directions. *Front Psychiatry*. 2016;7. doi.org/10.3389/fpsyt.2016.00158
10. Makhanova AM, Ponamareva OA, Tatayeva RK. A thesiographic picture of the blood of patients who have made a suicide attempt. *ResearchGate*. 2024;1:51–63. doi.org/10.53065/kaznmu.2024.68.1.005
11. Baharikhoob P, Kolla NJ. Microglial Dysregulation and Suicidality: A Stress-Diathesis Perspective. *Front Psychiatry*. 2020;11:781. doi.org/10.3389/fpsyt.2020.00781
12. Brent DA, Melhem NM, Oquendo M, et al. Familial Pathways to Early-Onset Suicide Attempt: A 5.6-Year Prospective Study. *JAMA Psychiatry*. 2015;72:160–8. doi.org/10.1001/jamapsychiatry.2014.2141
13. O'Reilly LM, Kuja-Halkola R, Rickert ME, et al. The intergenerational transmission of suicidal behavior: an offspring of siblings study. *Transl Psychiatry*. 2020;10:1–11. doi.org/10.1038/s41398-020-0850-6
14. Kendler KS, Ohlsson H, Sundquist J, et al. The Sources of Parent-Child Transmission of Risk for Suicide Attempt and Deaths by Suicide in Swedish National Samples. *AJP*. 2020;177:928–35. doi.org/10.1176/appi.ajp.2020.20010017
15. González-Castro TB, Juárez-Rojop IE, Tovilla-Zárate CA, et al. Gene-environment interaction between HPA-axis genes and trauma exposure in the suicide behavior: A systematic review. *J Psychiatr Res*. 2023;164:162–70. doi.org/10.1016/j.jpsychires.2023.06.011
16. Arango-Tobón OE, Tabares ASG, Serrano SJO. Structural Model of Suicidal Ideation and Behavior: Mediating Effect of Impulsivity. *An Acad Bras Cienc*. 2021;93:e20210680. doi.org/10.1590/0001-3765202120210680
17. Tatayeva R, Tussupova A, Koygeldinova S, et al. The Level of Serotonin and the Parameters of Lipid Metabolism Are Dependent on the Mental Status of Patients with Suicide Attempts. *Psychiatry International*. 2024;5:773–92. doi.org/10.3390/psychiatryint5040053

18. Menon V, Kattimani S. Suicide and Serotonin: Making Sense of Evidence. *Indian J Psychol Med.* 2015;37:377–8. doi.org/10.4103/0253-7176.162910
19. Glick AR. The role of serotonin in impulsive aggression, suicide, and homicide in adolescents and adults: a literature review. *Int J Adolesc Med Health.* 2015;27:143–50. doi.org/10.1515/ijamh-2015-5005
20. Nedic Erjavec G, Tudor L, Nikolac Perkovic M, et al. Serotonin 5-HT_{2A} receptor polymorphisms are associated with irritability and aggression in conduct disorder. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry.* 2022;117:110542. doi.org/10.1016/j.pnpbp.2022.110542
21. Hernández-Díaz Y, Genis-Mendoza AD, González-Castro TB, et al. Association and Genetic Expression between Genes Involved in HPA Axis and Suicide Behavior: A Systematic Review. *Genes.* 2021;12:1608. doi.org/10.3390/genes12101608
22. Martínez A, Knappskog PM, Haavik J. A structural approach into human tryptophan hydroxylase and its implications for the regulation of serotonin biosynthesis. *Curr Med Chem.* 2001;8:1077–91. doi.org/10.2174/0929867013372616
23. Bennett PJ, McMahon WM, Watabe J, et al. Tryptophan hydroxylase polymorphisms in suicide victims. *Psychiatr Genet.* 2000;10:13–7. doi.org/10.1097/00041444-200010010-00003
24. Antypa N, Serretti A, Rujescu D. Serotonergic genes and suicide: a systematic review. *Eur Neuropsychopharmacol.* 2013;23:1125–42. doi.org/10.1016/j.euroneuro.2013.03.013
25. Genis-Mendoza AD, Hernández-Díaz Y, González-Castro TB, et al. Association between TPH1 polymorphisms and the risk of suicide behavior: An updated meta-analysis of 18,398 individuals. *Front Psychiatry.* 2022;13:932135. doi.org/10.3389/fpsyt.2022.932135
26. Beden O, Senol E, Atay S, et al. TPH1 A218 allele is associated with suicidal behavior in Turkish population. *Legal Medicine.* 2016;21:15–8. doi.org/10.1016/j.legalmed.2016.05.005
27. González-Castro TB, Juárez-Rojop I, López-Narváez ML, et al. Association of TPH-1 and TPH-2 gene polymorphisms with suicidal behavior: a systematic review and meta-analysis. *BMC Psychiatry.* 2014;14:196. doi.org/10.1186/1471-244X-14-196
28. Karanović J, Ivković M, Jovanović VM, et al. Tryptophan Hydroxylase 1 Variant rs1800532 is Associated with Suicide Attempt in Serbian Psychiatric Patients but does not Moderate the Effect of Recent Stressful Life Events. *Suicide Life Threat Behav.* 2016;46:664–8. doi.org/10.1111/sltb.12246
29. Price RB, Duman R. Neuroplasticity in cognitive and psychological mechanisms of depression: an integrative model. *Mol Psychiatry.* 2020;25:530–43. doi.org/10.1038/s41380-019-0615-x
30. Lee SM, Lee S, Kang WS, et al. Gray Matter Volume Reductions Were Associated with TPH1 Polymorphisms in Depressive Disorder Patients with Suicidal Attempts. *Psychiatry Investig.* 2018;15:1174–80. doi.org/10.30773/pi.2018.11.01
31. Sinenko SA, Kuzmin AA, Skvortsova EV, et al. Tryptophan Hydroxylase-2-Mediated Serotonin Biosynthesis Suppresses Cell Reprogramming into Pluripotent State. *Int J Mol Sci.* 2023;24:4862. doi.org/10.3390/ijms24054862
32. Kulikov AV, Popova NK. Tryptophan hydroxylase 2 in seasonal affective disorder: underestimated perspectives? *Reviews in the Neurosciences.* 2015;26. doi.org/10.1515/revneuro-2015-0013
33. Choong MY, Tee SF, Tang PY. Meta-analysis of polymorphisms in TPH2 gene and suicidal behavior. *Psychiatry Res.* 2014;220:1163–6. doi.org/10.1016/j.psychres.2014.07.076
34. Ottenhof KW, Sild M, Lévesque ML, et al. TPH2 polymorphisms across the spectrum of psychiatric morbidity: A systematic review and meta-analysis. *Neurosci Biobehav Rev.* 2018;92:29–42. doi.org/10.1016/j.neubiorev.2018.05.018
35. López-Narváez ML, Tovilla-Zárate CA, González-Castro TB, et al. Association analysis of TPH-1 and TPH-2 genes with suicidal behavior in patients with attempted suicide in Mexican population. *Compr Psychiatry.* 2015;61:72–7. doi.org/10.1016/j.comppsy.2015.05.002

36. Kilicaslan DY, Cumaogullari O, Emiral E, et al. Investigation of polymorphic variants of SLC6A4, TPH-1, and TPH-2 genes in cases of completed suicide 2022. doi.org/10.31083/jomh.2021.116
37. Polter AM, Li X. 5-HT1A receptor-regulated signal transduction pathways in brain. *Cell Signal*. 2010;22:1406–12. doi.org/10.1016/j.cellsig.2010.03.019
38. Joyce PR, Stephenson J, Kennedy M, et al. The presence of both serotonin 1A receptor (HTR1A) and dopamine transporter (DAT1) gene variants increase the risk of borderline personality disorder. *Front Genet*. 2014;4:313. doi.org/10.3389/fgene.2013.00313
39. Höfer P, Schosser A, Calati R, et al. The impact of serotonin receptor 1A and 2A gene polymorphisms and interactions on suicide attempt and suicide risk in depressed patients with insufficient response to treatment—a European multicentre study. *International Clinical Psychopharmacology*. 2016;31. doi.org/10.1097/YIC.0000000000000101
40. Banlaki Z, Elek Z, Nanasi T, et al. Polymorphism in the serotonin receptor 2a (HTR2A) gene as possible predispositional factor for aggressive traits. *PLoS One*. 2015;10:e0117792. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0117792
41. Parajulee A, Kim K. Structural studies of serotonin receptor family. *BMB Rep*. 2023;56:527–36. doi.org/10.5483/BMBRep.2023-0147
42. Ben-Efraim YJ, Wasserman D, Wasserman J, et al. Family-based study of HTR2A in suicide attempts: observed gene, gene × environment and parent-of-origin associations. *Mol Psychiatry*. 2013;18:758–66. doi.org/10.1038/mp.2012.86
43. Li M, Wang H, Li J, et al. Peer victimization, depression, and non-suicidal self-injury among Chinese adolescents: the moderating role of the 5-HT2A gene rs6313 polymorphism. *Child Adolesc Psychiatry Ment Health*. 2022;16:108. doi.org/10.1186/s13034-022-00532-4
44. Wang J-Y, Jia C-X, Lian Y, et al. Association of the HTR2A 102T/C polymorphism with attempted suicide: a meta-analysis. *Psychiatr Genet*. 2015;25:168–77. doi.org/10.1097/YPG.0000000000000091
45. Ghasemi A, Seifi M, Baybordi F, et al. Association between serotonin 2A receptor genetic variations, stressful life events and suicide. *Gene*. 2018;658:191–7. doi.org/10.1016/j.gene.2018.03.023
46. González-Castro TB, Tovilla-Zárate C, Juárez-Rojop I, et al. Association of the 5HT2A gene with suicidal behavior: CASE-control study and updated meta-analysis. *BMC Psychiatry*. 2013;13:25. doi.org/10.1186/1471-244X-13-25
47. Karanović J, Šviković S, Pantović M, et al. Joint effect of ADARB1 gene, HTR2C gene and stressful life events on suicide attempt risk in patients with major psychiatric disorders. *World J Biol Psychiatry*. 2015;16:261–71. doi.org/10.3109/15622975.2014.1000374
48. Baudry A, Pietri M, Launay J-M, et al. Multifaceted Regulations of the Serotonin Transporter: Impact on Antidepressant Response. *Front Neurosci*. 2019;13:91. https://doi.org/10.3389/fnins.2019.00091
49. Goldman N, Gleit DA, Lin Y-H, et al. The Serotonin Transporter Polymorphism (5-HTTLPR): Allelic Variation and Links with Depressive Symptoms. *Depress Anxiety*. 2010;27:260–9. doi.org/10.1002/da.20660
50. Consoloni J-L, Ibrahim EC, Lefebvre M-N, et al. Serotonin transporter gene expression predicts the worsening of suicidal ideation and suicide attempts along a long-term follow-up of a Major Depressive Episode. *European Neuropsychopharmacology*. 2018;28:401–14. doi.org/10.1016/j.euroneuro.2017.12.015
51. Sivaramakrishnan S, Venkatesan V, Paranthaman SK, et al. Impact of Serotonin Pathway Gene Polymorphisms and Serotonin Levels in Suicidal Behaviour. *Medical Principles and Practice*. 2023;32:250–9. doi.org/10.1159/000534069
52. Gafarov VV, Gromova EA, Gubina MA, et al. Association of Polymorphisms of the Serotonin Transporter Gene SLC6A4 with Depression. *Neurosci Behav Physiol*. 2024;54:655–9. doi.org/10.1007/s11055-024-01645-3

53. Manca M, Pessoa V, Lopez AI, et al. The Regulation of Monoamine Oxidase A Gene Expression by Distinct Variable Number Tandem Repeats. *J Mol Neurosci*. 2018;64:459–70. doi.org/10.1007/s12031-018-1044-z
54. Kõks G, Prans E, Ho XD, et al. Genetic interaction between two VNTRs in the MAOA gene is associated with the nicotine dependence. *Exp Biol Med (Maywood)*. 2020;245:733–9. doi.org/10.1177/1535370220916888
55. Zhang Y, Ming Q, Wang X, et al. The interactive effect of the MAOA-VNTR genotype and childhood abuse on aggressive behaviors in Chinese male adolescents. *Psychiatr Genet*. 2016;26:117–23. doi.org/10.1097/YPG.0000000000000125
56. Schlüter T, Winz O, Henkel K, et al. MAOA-VNTR polymorphism modulates context-dependent dopamine release and aggressive behavior in males. *Neuroimage*. 2016;125:378–85. doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.10.03
57. Shah SS, Mohyuddin A, Colonna V, et al. Monoamine Oxidase A gene polymorphisms and self reported aggressive behaviour in a Pakistani ethnic group. *J Pak Med Assoc*. 2015;65:818–24
58. Ludwig B, Carlberg L, Kienesberger K, et al. Monoamino Oxidase A Gene Single-Nucleotide Polymorphisms and Methylation Status and the Risk of Violent Suicide Attempts in Affective Disorder Patients. *Front Psychiatry*. 2021;12:667191. doi.org/10.3389/fpsyt.2021.667191
59. Uršič K, Zupanc T, Paska AV. Analysis of promoter polymorphism in monoamine oxidase A (MAOA) gene in completed suicide on Slovenian population. *Neurosci Lett*. 2018;673:111–5. doi.org/10.1016/j.neulet.2018.02.063
60. Balestri M, Calati R, Serretti A, et al. Maa and Maob polymorphisms and personality traits in suicide attempters and healthy controls: a preliminary study. *Psychiatry Res*. 2017;249:212–7. doi.org/10.1016/j.psychres.2017.01.020
61. Zhang Y, Ming Q-S, Yi J-Y, et al. Gene-Gene-Environment Interactions of Serotonin Transporter, Monoamine Oxidase A and Childhood Maltreatment Predict Aggressive Behavior in Chinese Adolescents. *Front Behav Neurosci*. 2017;11:17. doi.org/10.3389/fnbeh.2017.00017
62. Qayyum A, Zai CC, Hirata Y, et al. The Role of the Catechol-o-methyltransferase (COMT) Gene Val158Met in Aggressive Behavior, A Review of Genetic Studies. *Curr Neuropharmacol*. 2015;13:802–14. doi.org/10.2174/1570159X13666150612225836
63. Bernegger A, Kienesberger K, Carlberg L, et al. The Impact of COMT and Childhood Maltreatment on Suicidal Behaviour in Affective Disorders. *Sci Rep*. 2018;8:692. doi.org/10.1038/s41598-017-19040-z
64. Sadeghiyeh T, Hosseini Biouki F, Mazaheri M, et al. Association between Catechol-O-Methyltransferase Val158Met (158G/A) Polymorphism and Suicide Susceptibility: A Meta-analysis. *J Res Health Sci*. 2017;17:383
65. Sun S, Hu X, Zhang J-Y, et al. The COMT rs4680 polymorphism and suicide attempt in rural Shandong, China. *Psychiatric Genetics*. 2016;26:1. doi.org/10.1097/YPG.0000000000000133
66. Sanabrais-Jiménez MA, Aguilar-García A, Hernández-Muñoz S, et al. Association study of Catechol-O-Methyltransferase (COMT) rs4680 Val158Met gene polymorphism and suicide attempt in Mexican adolescents with major depressive disorder. *Nord J Psychiatry*. 2022;76:202–6. doi.org/10.1080/08039488.2021.1945682
67. González-Castro TB, Hernández-Díaz Y, Juárez-Rojop IE, et al. The role of COMT gene Val108/158Met polymorphism in suicidal behavior: systematic review and updated meta-analysis. *NDT*. 2018;14:2485–96. doi.org/10.2147/NDT.S172243

68. Blum K, Bowirrat A, Elman I, et al. Evidence for the DRD2 Gene as a Determinant of Reward Deficiency Syndrome (RDS). Clin Exp Psychol. 2023;9:8–11
69. Rademacher L, Schulte-Rüther M, Hanewald B, et al. Reward: From Basic Reinforcers to Anticipation of Social Cues. 2015;30:207–21. doi.org/10.1007/7854_2015_429
70. Saberi B. Reward System Components in Addictive Disorders. OAJAP. 2019;2. doi.org/10.33552/OAJAP.2019.02.000535
71. Ford CP. The role of D2-autoreceptors in regulating dopamine neuron activity and transmission. Neuroscience. 2014;282:13–22. doi.org/10.1016/j.neuroscience.2014.01.025
72. Richter A, Barman A, Wüstenberg T, et al. Behavioral and Neural Manifestations of Reward Memory in Carriers of Low-Expressing versus High-Expressing Genetic Variants of the Dopamine D2 Receptor. Front Psychol. 2017;8:654. doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00654
73. Blum K. Molecular role of dopamine in anhedonia linked to reward deficiency syndrome RDS and anti-reward systems. Front Biosci. 2018;10:309–25. doi.org/10.2741/s518
74. Jasiewicz A, Samochowiec A, Samochowiec J, et al. Suicidal Behavior and Haplotypes of the Dopamine Receptor Gene (DRD2) and ANKK1 Gene Polymorphisms in Patients with Alcohol Dependence – Preliminary Report. PLoS One. 2014;9:e111798. doi.org/10.1371/journal.pone.0111798
75. Neville MJ, Johnstone EC, Walton RT. Identification and characterization of ANKK1: a novel kinase gene closely linked to DRD2 on chromosome band 11q23.1. Hum Mutat. 2004;23:540–5. doi.org/10.1002/humu.20039
76. Manning G, Whyte DB, Martinez R, et al. The protein kinase complement of the human genome. Science. 2002;298:1912–34. doi.org/10.1126/science.1075762
77. Stice E, Spoor S, Bohon C, et al. Relation between obesity and blunted striatal response to food is moderated by TaqIA A1 allele. Science. 2008;322:449–52. doi.org/10.1126/science.1161550
78. Koeneke A, Ponce G, Troya-Balseca J, et al. Ankyrin Repeat and Kinase Domain Containing 1 Gene, and Addiction Vulnerability. Int J Mol Sci. 2020;21:2516. doi.org/10.3390/ijms21072516
79. España-Serrano L, Guerra Martín-Palanco N, Montero-Pedrazuela A, et al. The Addiction-Related Protein ANKK1 is Differentially Expressed During the Cell Cycle in Neural Precursors. Cereb Cortex. 2017;27:2809–19. doi.org/10.1093/cercor/bhw129

Серотонергиялық және дофаминергиялық жүйенің гендері және олардың суицидтік мінез-құлықпен байланысты полиморфизмдері

А.Б. Тусупова*¹, Р.К. Татаева¹, Ж.П. Сембаева¹, С.И. Чухатина², О.Ю. Федоренко³, М.М. Байбулова⁴

¹Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

²№1 көпсалалы қалалық аурухана, Астана, Қазақстан

³Психикалық денсаулық ғылыми-зерттеу институты, Томск ұлттық ғылыми медициналық орталығы, Томск, Ресей

⁴Балалар мен жасөспірімдер туризмі және өлкетану орталығы, Астана, Қазақстан

Аңдатпа. Суицидтік мінез-құлық биологиялық, психологиялық, әлеуметтік және қоршаған орта факторларының өзара әрекеттесуінен туындайтын күрделі көп факторлы құбылыс. Суицидтік

мінез-құлықтың биологиялық негіздерін зерттеудің негізгі бағыттарының бірі генетикалық бейімділікті зерттеу болып табылады, бұл отбасылық, егіздік және молекулалық-генетикалық зерттеулермен расталады. Серотонергиялық (TPH1, TPH2, 5HTR2A, 5-HT1A, SLC6A4, 5-HT2C, MAOA) және дофаминергиялық (ANKK1, DRD2, COMT) жүйелердің гендері аффективті күйлер мен суицидтік мінез-құлықты реттеуде ерекше рөл атқарады. Серотонин көңіл-күйді, импульсивтілікті және стресстік реакцияны реттеуге қатысатын негізгі нейротрансмиттер болып табылады және оның теңгерімсіздігі депрессиямен және суицидтік мінез-құлық қаупінің жоғарылауымен байланысты. Дофаминергиялық жүйе, өз кезегінде, мотивацияға, когнитивтік процестерге және стресске жауап беруге әсер етеді және оның дисфункциясы импульсивтіліктің және эмоционалдық тұрақсыздықтың дамуына ықпал етуі мүмкін, бұл сонымен қатар суицидтік әрекеттер қаупін арттырады. Суицидтік мінез-құлықтың генетикалық предикторларын зерттеуге бағытталған көптеген зерттеулерге қарамастан, олардың нәтижелері қарама-қайшы болып қала береді. Сынамаларды іріктеу, генотиптеу әдістері мен статистикалық деректерді өңдеудегі айырмашылықтар, сондай-ақ эпигенетикалық механизмдердің ықтимал әсері қолда бар деректерді жан-жақты талдауды және суицид қаупінің молекулярлық негіздерін одан әрі зерттеуді талап етеді. Бұл шолудың мақсаты – соңғы 12 жылдағы (2013–2024) ғылыми жарияланымдарды талдау негізінде суицидтік мінез-құлықпен байланысты генетикалық факторлар туралы деректерді жүйелеу. Гендік полиморфизм қауымдастығын зерттеу ерте диагностиканы және алдын алудың тиімді стратегияларын әзірлеуді жеңілдетуі мүмкін.

Түйін сөздер: суицид, өзіне қол жұмсау әрекеті, кандидат гендер, бір нуклеотидтік полиморфизм, серотонергиялық жүйе, дофаминергиялық жүйе

Serotonergic and dopaminergic system genes and their polymorphisms associated with suicidal behavior

**A.B. Tussupova*¹, R.K. Tatayeva¹, Zh.P. Sembaeva¹, S.I. Chukhatina², O.Yu. Fedorenko³,
M.M. Baibulova⁴**

¹*L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan*

²*Multidisciplinary City Hospital No. 1, Astana, Kazakhstan*

³*Research Institute of Mental Health, Tomsk National Research Medical Center, Tomsk, Russia*

⁴*Center for Children and Youth Tourism and Local History, Astana, Kazakhstan*

Abstract. Suicidal behavior is a complex, multifactorial phenomenon caused by the interaction of biological, psychological, social, and environmental factors. One of the key areas in the study of the biological basis of suicidal behavior is the study of genetic predisposition, which is confirmed by family, twin, and molecular genetic studies. A special role in the regulation of affective states and suicidal behavior is played by genes of the serotonergic (TPH1, TPH2, 5HTR2A, 5-HT1A, SLC6A4, 5-HT2C, MAOA) and dopaminergic (ANKK1, DRD2, COMT) systems. Serotonin is the main neurotransmitter involved in the regulation of mood, impulsivity, and stress response, and its imbalance is associated with depression and an increased risk of suicidal behavior. The dopaminergic system, in turn, affects motivation, cognitive processes, and stress response, and its dysfunction can contribute to the development of impulsivity and

emotional instability, which also increases the risk of suicidal actions. Despite a significant number of studies aimed at studying the genetic predictors of suicidal behavior, their results remain contradictory. Differences in the sample, genotyping methods, and statistical processing of data, as well as the possible influence of epigenetic mechanisms, require a comprehensive analysis of the available data and further research into the molecular basis of suicide risk. The purpose of this review is to systematize data on genetic factors associated with suicidal behavior, based on an analysis of scientific publications over the past 12 years (2013–2024). The study of associations of gene polymorphisms can contribute to early diagnosis and the development of effective preventive intervention strategies.

Keywords: suicide, suicide attempt, candidate genes, single-nucleotide polymorphisms, serotonergic system, dopaminergic system

Сведения об авторах:

Тусупова Аружан Боранкуловна – автор-корреспондент, докторант образовательной программы «Биология – 8D05107» кафедры общей биологии и геномики, Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, Казымукана, 13, 010000, Астана, Казахстан.

Татаева Роза Кабдыгалиевна – доктор медицинских наук, профессор кафедры общей биологии и геномики, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Казымукана, 13, 010000, Астана, Казахстан.

Сембаева Жибек Пернебековна – доктор философии (Ph.D), и.о. профессора, кафедра общей биологии и геномики, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Казымукана, 13, 010000, Астана, Казахстан.

Чухатина Светлана Ильинична – заведующая отделением нефрологии, токсикологии, гастроэнтерологии, Многопрофильная городская больница №1, пр. Кошкарбаева, 66, 010000, Астана, Казахстан.

Федоренко Ольга Юрьевна – доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики и биохимии НИИ психического здоровья Томского НИМЦ, 634050, Набережная реки Ушайки, 10, Томск, Россия.

Байбулова Мира Мейрамовна – магистр, ГККП "Центр детско-юношеского туризма и краеведения" акимата г. Астаны, ул. Тамшалы, 24, 010000, Астана, Казахстан.

Авторлар туралы мәліметтер:

Тусупова Аружан Боранкуловна – хат-хабар авторы, «Биология – 8D05107» білім беру бағдарламасының докторанты, жалпы биология және геномика кафедрасы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қажымұқан 13, 010000, Астана, Қазақстан.

Татаева Роза Кабдыгалиевна – медицина ғылымдарының докторы, профессор, жалпы биология және геномика кафедрасы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қажымұқан 13, 010000, Астана, Қазақстан.

Сембаева Жібек Пернебековна – PhD докторы, профессор м.а., жалпы биология және геномика кафедрасы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қажымұқан 13, 010000, Астана, Қазақстан.

Чухатина Светлана Ильинична – №1 көпсалалы қалалық аурухананың нефрология, токсикология, гастроэнтерология бөлімінің меңгерушісі, Қошқарбаев даңғылы, 66, 010000, Астана, Қазақстан.

Федоренко Ольга Юрьевна – медицина ғылымдарының докторы, жетекші ғылыми қызметкер, молекулярлық генетика және биохимия зертханасы, психикалық денсаулық ғылыми-зерттеу институты, Томск ұлттық ғылыми медициналық орталығы, Ушайки өзенінің жағалауы, 10, 634050, Томск, Ресей.

Байбулова Мира Мейрамовна – магистр, Астана қаласы әкімдігінің «Балалар-жасөспірімдер туризмі және өлкетану орталығы» МКҚК, көшесі Тамшалы 24, 010000, Астана, Қазақстан.

Authors' information:

Tussupova Aruzhan Borankulovna – corresponding author, doctoral student of the educational program “Biology – 8D05107”, Department of General Biology and Genomics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhymukhan 13, 010000, Astana, Kazakhstan.

Tatayeva Roza Kabdygalievna – Doctor of Medical Sciences, Professor, Department of General Biology and Genomics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhymukhan 13, 010000, Astana, Kazakhstan.

Sembayeva Zhibek Pernebekovna – Department of General Biology and Genomics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhymukhan 13, 010000, Astana, Kazakhstan.

Chukhatina Svetlana Ilyinichna – Head of the Department of Nephrology, Toxicology, Gastroenterology, Multidisciplinary City Hospital No. 1, Koshkarbayev Ave., 66, 010000, Astana, Kazakhstan.

Fedorenko Olga Yuryevna – Doctor of Medical Sciences, leading researcher, laboratory of molecular genetics and biochemistry of the Research Institute of Mental Health of the Tomsk National Research Medical Center, 634050, Ushaiki River Embankment 10, Tomsk, Russia.

Baibulova Mira Meyramovna – Master's degree, State Enterprise "Center for Children and Youth Tourism and Local History", Akimat of Astana, Tamshaly St. 24, 010000, Astana, Kazakhstan.



ХҒТАР 34.33.19

Ғылыми мақала

<https://doi.org/10.32523/2616-7034-2025-151-2-62-75>

Павлодар облысының жасыл екпелеріндегі терек (*Populus L.*) жапырақтарының минерлері

М.Н. Жүсіп*¹, Қ.Қ. Ахметов¹, А.В. Мищенко², А.Б. Калиева¹

¹Торайғыров университеті, Павлодар, Қазақстан

²И.Н. Ульянов атындағы Ульяновск мемлекеттік педагогикалық университеті, Ульяновск, Ресей

*Хат-хабар авторы: mukarramzhussip@gmail.com

Аңдатпа. Мақалада Павлодар облысының жасыл екпелеріндегі терек (*Populus L.*) жапырақтарының минерлері жан-жақты қарастырылады. Жапырақ минерлері бұл жапырақтардың эпидермалды қабаттарымен қоректенетін кейбір күйе көбелектер, шыбындар, қоңыздардың т.б. дернәсілдері. Олардың көпшілігі орман шаруашылығының, мәдени және тауарлық бау-бақшаның, жалпы ауыл шаруашылығының т.б. зиянкестері болып табылады. Зерттеу жұмыстары 2019-2022 жж. аралығында Павлодар облысының Павлодар, Екібастұз, Ақсу қалаларында, сондай-ақ Железинка, Көктөбе, Ақтоғай ауылдарында жүргізілді. Зақымдалған жапырақтар табиғи және жасанды екпелерде – саябақтар мен бақтарда, алаңдар мен қала көшелерінде жиналынды. 2019-2022 жж. аралығында Павлодар облысын зерттеу барысында теректің 5000-ға жуық жапырақтары зерттелді. Зерттеу барысында өңірде *Nepticulidae* және *Gracillariidae* тұқымдастарына жататын терек минерлерінің 4 түрі анықталды. Олар келесідей 3 туысқа жіктеледі: *Stigmella Schrank* 1802, *Phyllonorycter Hubner* 1822 және *Phyllocnistis Zeller* 1848. Қазіргі таңда минерлер қауымдастығына кіретін организмдердің әсері экономика мен қоршаған ортаға жаһандық қауіп төндіреді.

Түйін сөздер: жапырақ минері, *Populus L.*, зиянкес, *Stigmella trimaculella*, *Phyllonorycter sagitella*, *Phyllonorycter populifoliella*, *Phyllocnistis labyrinthella*

Кіріспе

Жасыл екпелер деп қаланың бірыңғай жасыл қорын құрайтын табиғи өскен және жасанды егілген ағаш, бұталы және шөпті өсімдіктердің жиынтығын айтады. Оларға қалалық ормандар, бақтар, саябақтар, скверлер, желекжолдар т.б. кіреді. Қаладағы жасыл екпелердің пайдалы рөлін асыра бағалау қиын. Олардың басты функциясы – ауаны тазарту және микроклиматты жақсарту. Ағаш өсімдіктері ауаны шаңнан, зиянды

Түсті: 20.05.2025. Қабылданды: 24.06.2025. Онлайн қол жетімді: 04.07.2025

өнеркәсіптік және көлік шығарындыларынан тазартады, көмірқышқыл газын сіңіреді және оттегін шығарады, микроклиматты жұмсартуға, ыстық ауа-райында қоршаған ортаның температурасын төмендетуге, қалалық шу деңгейін төмендетуге ықпал етеді. Екпелердің жеткілікті кең жолақтары желден сенімді қорғаныс қызметін атқарады.

Өсімдік қоректі жәндіктер үшін маңызды орта қалыптастырушы фактор: әртүрлі географиялық аймақтардан енгізілген өсімдіктерден, жергілікті тектес өсімдіктерден қалыптасатын қалалық жасыл екпелер, саябақтар, ботаникалық бақтар және дендросаябақтар. Ботаникалық бақтар мен саябақтарда әдетте, әртүрлі ботаникалық-флоралық аймақтардан алынған ағаш өсімдіктерінің түрлерінің топтамалары ұсынылған, ал жерсіндірілген түрлер (интродуценттер) көбінесе жергілікті өсімдік түрлерімен тығыз байланысты. Ағаш текті интродуцент-өсімдіктер зиянкестері бұл ортаға жаңа өсімдік қоректі түрінің тобы болып саналады. Кездейсоқ өсімдікпен бірге әкелінген немесе оның артынан келген олар өз иелеріне де, трофикалық байланыс орната алатын жергілікті өсімдіктерге де қауіп төндіруі мүмкін [1].

Жәндіктер – кең экологиялық және эволюциялық икемділігімен ерекшеленетін жануарлардың ең алуан түрлі және көп таралған тобы. Шөпқоректі жәндіктер жемдік өсімдіктің белгілі бір таксонына ғана емес, сонымен қатар оның белгілі бір мүшелеріне немесе ұлпаларына тәуелді болып келеді. Жәндіктердің барлық түрлері тіршілік етуі мен трофикалық ерекшеліктеріне байланысты әртүрлі топтарға бөлінеді. Осы топтардың бірі – филлофаг-жәндіктер, оның ішінде кеміргіштер, қаңқа түзушілер, сорғыштар, галл түзушілер, минерлер және басқа да өкілдері [2].

Минерлердің экологиялық тобына біріктірілген жәндіктердің ортақ ерекшелігі – хлорофиллді өсімдік ұлпасымен қоректенуі және кем дегенде дернәсілдердің бірнеше даму кезеңдерінің өтуі. Қоректену нысаны ретінде минерлер өсімдіктердің жапырақтарын, инелерін, сабақтарын немесе жемістерін пайдалана алады. Минерлер төрт отрядтың өкілдері арасында белгілі: қабыршаққанаттылар (*Lepidoptera*), қосқанаттылар (*Diptera*), қаттықанаттылар (*Coleoptera*), жарғаққанаттылар (*Hymenoptera*) [3-6].

Минерлер эндофагтар болып табылады, сондықтан олар еркін өмір сүретін фитофагтармен салыстырғанда абиотикалық факторлардың экстремалды ауытқуларына аз сезімтал. Өсімдік ұлпаларының ішіндегі қоректену минерлердің дернәсілдерін салыстырмалы түрде тұрақты ылғалдылық режимімен қамтамасыз етеді. Өсімдіктің транспирациясы минерді өте жоғары температурадан, ал ұлпалардың жақсы жылу өткізгіштігі өте төмен температурадан қорғайды. Минерлеуші жәндіктері өсімдік ұлпалары арқылы атмосфералық ластанудан қорғалған [7]. Минерлердің басым көпшілігі өсімдік жапырақтарын зақымдайды. Минерлеуші жәндіктерінің дамуы еркін филлофагтарға қарағанда әлдеқайда жылдам, өйткені минерлер қоректенгенде қиын қорытылатын жапырақ ұлпаларын (жапырақ эпидермисі, сірқабығы т.б.) пайдаланбайды [6].

Жапырақ миналары – жоғарғы және төменгі эпидермис арасындағы жапырақ ұлпаларымен қоректенетін, кейбір күйе көбелектердің, егегіштердің, шыбындардың және қоңыздардың дернәсілдерінен түзілген әртүрлі пішіндегі тән қуыстар. Мина микроортаны қамтамасыз етеді, ол дернәсілді қолайсыз жағдайлардан қорғайды, дегенмен миналардың ішіндегі температура қоршаған ортаның температурасынан 10°C-қа

жоғары болуы мүмкін; сонымен қатар дернәсілді жыртқыштар мен паразитоидтардан қорғайды, дегенмен паразитизмнің салыстырмалы түрде жоғары көрсеткіштері жиі кездеседі немесе өсімдік ұлпаларының қоректік қасиеттерін арттырады. Шынында жапырақтарды минерлеудің таңғажайып алуан түрлілігі ішінара дернәсілдерді табу үшін минаны бақылайтын паразитоидтарға бейімделудің нәтижесі болып саналады. Жапырақ минерлері жапырақтармен шектелмейді. Күйе көбелектер мен қоңыздардың кейбір түрлері жапырақ тақтасы ішіндегі ұлпалармен қоректенбес бұрын жапырақ сағағы мен үлкен жүйкелерін, ал күйе көбелектер мен шыбындардың кейбір түрлері жұмсақ сабақтарды немесе жас өркендерді минерлейді. Күйе көбелектердің басқа түрлері тіпті гүлшоғыры мен күлте жапырақшаларын, сондай-ақ жас жемістер мен тұқымдардың бетін минерлеуі мүмкін немесе қоректену тәртібін кәдімгі жапырақ минерінен галл түзушіге ауыстыруы мүмкін [6,8-12].

Көптеген минерлер жемдік өсімдігіне арнайылық тән. Жапырақ миналарының физикалық сипаттамалары (мина басталатын жұмыртқалау орны, пішіні, жапырақтағы орны, нәжіс үлгісі және т.б.) жапырақ минерлерін түр деңгейінде анықтау үшін пайдаланылады [4].

Зерттеу жұмысының мақсаты – Павлодар облысының жасыл екпелеріндегі терек минерлерінің ерекшеліктерін және тұралуандылығын анықтау.

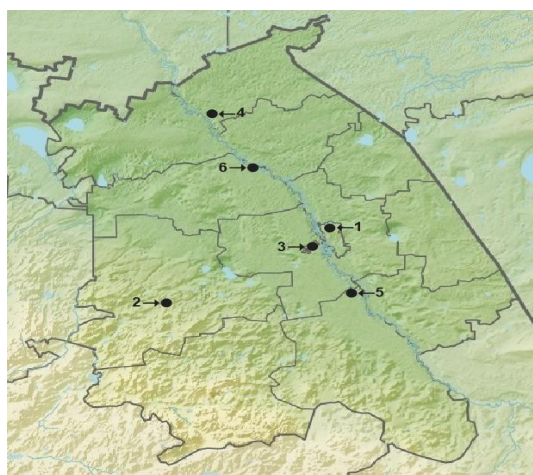
Зерттеу жұмысының жаңалығы – алғаш рет Павлодар облысы үшін терек минерлерінің ерекшеліктері және тұралуандылығы анықталды.

Материалдар мен зерттеу әдістері

Зерттеу жұмыстары 2019-2022 жж. аралығында Павлодар облысының Павлодар, Екібастұз, Ақсу қалаларында, сондай-ақ Железинка, Көктөбе, Ақтоғай ауылдарында жүргізілді (Сурет 1). Зақымдалған жапырақтар табиғи және жасанды екпелерде – саябақтар мен бақтарда, алаңдар мен қала көшелерінде жиналынды.

Жинау жұмыстары мамыр айының ортасынан бастап қыркүйек айының басына дейін минерлердің барлық ықтимал өкілдерін есепке алу үшін жүргізілді. Минерленген жапырақтардың әртүрлі деңгейде зақымданғаны анықталды.

Табиғатта минерленген жапырақтар кәдімгі пластик қалталарға (мысалы, Ziploc®) жиналды. Қалтаға бір ағаштан немесе бұтадан жиналған жапырақтар (жиырма шақты) және жиналған өсімдіктердің таксоны (өсімдік түрлері кейіннен мамандардан расталды), жинау күні мен орны, биотопы көрсетілген жұмыс (уақытша) заттаңбасы да салынды. Әр заттаңба арнайы кодқа ие. Әр жиынның материалдары кодымен бірге арнайы күнделікке жазылып отырылды [6,13]. Бұл код кейіннен шыққан дернәсілдер мен қуыршақтарға да қойылды [13-15]. Қалталар тығыз жабылып, көлеңкелі жерде сақталынды.



Сурет 1. Павлодар облысының зерттеу жүргізілген аймақтарының картасы: **1** – Павлодар қ., **2** – Екібастұз қ., **3** – Аксу қ., **4** – Железинка а.о., **5** – Көктөбе а.о., **6** – Актоғай а.о.

Жапырақтар жиналғаннан кейін 12 сағаттан кешіктірмей кептірілді. Бұл жапырақтар мен миалардың табиғи көрінісін сақтап қалуға мүмкіндік берді. Миналанған жапырақтар шағын бұтақтарымен бірге жиналынды, бұл дернәсілдер мен қуыршақтардан имаголарды кейіннен өсіру үшін қажет [6,13]. Сонымен қатар минерлердің өмірін ұзартуға мүмкіндік береді және ересек жәндіктердің сәтті шығу мүмкіндігін арттырады.

Зертханада ең алдымен, минерленген жапырақтарды арнайы контейнерлерге (0.2-0.5 л.) сүзгіш қағаз қойып, көшірілді. Жапырақтың төменгі бөлігі кесіліп, негізгі жүйке айналасына қағаз майлықтың кесіндісімен мықтап оралды. Тамшуыр немесе шприц арқылы оралған қағазға 2% сахароза ерітіндісі қосылды [16]. Контейнердің ылғалдылығы өсіретін ағаштекті өсімдіктің түрі мен минердің түріне байланысты өзгеріп отырады.

Қоректеніп жатқан (тірі) дернәсілдер шағын пластик контейнерлерде сақталды. Егер дернәсілдердің миалардан шығып, контейнердің қабырғаларында қуыршақтай бастағаны байқалғанда, жапырақтар контейнерден алынып тасталынды.

Минерлерді анықтау миалардың, дернәсілдер мен қуыршақтардың ерекшеліктері мен морфологиясы бойынша сәйкестендіру кестелері арқылы жүргізілді. Жапырақ минерлерін анықтау жұмыстары мамандармен расталып тексерілді. Минерлердің латынша атаулары халықаралық зоологиялық номенклатура кодексінің ережелерін сақтай отырып, қазіргі дереккөздер бойынша берілген [4-6,17-18].

Миалары бар жапырақтар, әсіресе ішінен дернәсілдері мен қуыршақтары жиналған жапырақтар, маңызды деректер көзі болып табылады, сондықтан олар гербарий түрінде сақталды.

Зерттеу нәтижелері және талқылау

Терек (*Populus L.*) – талдар тұқымдасына жататын ағаш типті өсімдік. Биіктігі 40-45 (60) м. дейін жетеді. Бөрікбасы шатыр, жұмыртқа, пирамида тәрізді. Қабығы жарықшақталған,

қоңыр-сұр немесе қара сұр түсті. Бұршіктері ұзынша, қабыршақталған, көбінесе үшкір, шайырлы және хош иісті. Жапырақтары сағақты, кезектесіп орналасқан, түксіз немесе түкті. Жапырақалақаны әртүрлі пішінді: дельта, жүрек, қандауыр тәрізді, сопақша, үшкір. Торлы жүйкелі. Тұтас, тісжиекті немесе аратіс жиекті. Сағағының ұзындығы әртүрлі 0,5-11 см. дейін, түксіз немесе түкті, кейбір түрлерінде бездері болады. Екіүйлі өсімдік, кейде бірүйлі. Гүлдері цилиндр тәрізді, тік немесе салбыраған сырға гүлшоғырына жиналған. Жемісі – қауашақ, 2-4 ашылмалы қақпақшасы бар, тұқымы ұсақ. Павлодар облысында ақ терек, қара терек және көктерек ағаштарын жиі кездестіруге болады.

Павлодар облысының филлофаг-жәндіктерінің маңыздылығына қарамастан зерттелмеген өсімдік түрлерінің бірі – терек. 2019-2022 жж. аралығында Павлодар облысын зерттеу барысында 5000-ға жуық жапырақтар зерттелді. Осы зерттеу барысында өңірде *Nepticulidae* және *Gracillariidae* тұқымдастарына жататын терек минерлерінің 4 түрі анықталды. Олар келесідей 3 туысқа жіктеледі: *Stigmella* Schrank 1802, *Phyllonorycter* Hubner 1822 және *Phyllocnistis* Zeller 1848 (Кесте 1).

Кесте 1

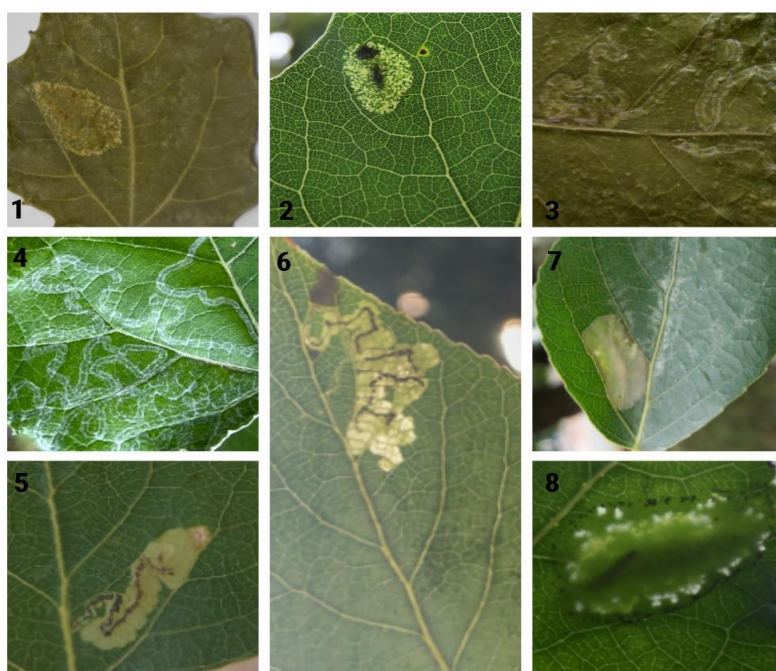
Павлодар облысының фаунасы үшін 2019-2022 жылдары әртүрлі жерлерде анықталған Талдар тұқымдасының (Терек туысының) минерлерінің түрлері

№	Тұқымдасы, түрлері	Павлодар облысы ¹						Σ ²
			2	3	4	5	6	
NEPTICULIDAE Stainton								
1	Stigmella trimaculella (Haworth, 1828)	+	+	+	+	+	+	6
GRACILLARIIDAE Stainton								
1	Phyllonorycter sagitella (Bjerkander, 1790)	+						1
2	Phyllonorycter populifoliella (Treitschke, 1833)	+	+	+	+	+	+	6
3	Phyllocnistis labyrinthella (Bjerkander, 1790)	+						1

Көрсеткіштер: ¹Аймақтар: 1 – Павлодар қаласы, 2 – Екібастұз қаласы, 3 – Ақсу қаласы, 4 – Железинка ауылы, 5 – Көктөбе ауылы, 6 – Ақтоғай ауылы; ²Түр табылған аймақтардың саны; + Түр анықталған аймақтар.

Nepticulidae тұқымдасы

Stigmella trimaculella Haworth, 1828. Жұмыртқа салу орны: жапырақтың үстіңгі немесе астыңғы жағы. Мина жоғарғы бүйірлік дәліз ретінде болады. Оның бірінші бөлігі біршама түзу, тар. Көбінесе жүйке бойымен біршама қашықтықта өтеді, ал екінші бөлігі әлдеқайда кең, кейде дақ түрінде кездеседі. Нәжісі минаның орталық сызық бойымен орналасқан. Минаның ортасынан соңына қарай нәжістің жолы жуандайды (Сурет 2). Дернасілдің басы ашық қоңыр, ауыз аппараты қызғылт-қоңыр, денесі жасыл-сары, ашық сары түсті, жасыл арқа тамыры бар. Пілләнің түсі қоңыр түстен қызғылт-қоңыр түске дейін. Алдыңғы кеудесінде – 13 жұп, ортаңғы кеудесінде – 11 жұп, артқы кеудесінде – 10 жұп қылтандары бар. I-VIII құрсақ сегменттерінде 6, IX құрсақ сегментінде 3, X құрсақ сегментінде 2 жұп қылтандары болады.



Сурет 2. *Populus* жапырақтарындағы минерлердің миналары: **1-2** – *Phyllonorycter sagitella*, **3-4** – *Phyllocnistis labyrinthella*, **5-6** – *Stigmella trimaculella*, **7-8** – *Phyllonorycter populifoliella*

Жемдік өсімдіктер тізімі. Талдар тұқымдасы (*Salicaceae* Mirb.): *Populus nigra* L., *Populus balsamifera* L., *Populus × canadensis* Moench, *Populus simonii* Carriere. Монофаг.

Фенологиясы. Еуропада миналанған жапырақтар маусым – шілде айларында, қыркүйек айының басынан қазан айының басына дейін, ал Павлодар облысында маусым-тамыз айлары арасында кездеседі. Бивольтинді түр.

Таралуы. Барлық Еуропада таралған [19-22]. 2019-2022 жж. Павлодар облысын зерттеу барысында минасы бар 823 жапырақ анықталды. Павлодар қаласы бойынша: Қалалық жағалау, Гагарин саябағы, Металлургтер саябағы, Конституция алаңы, Ардагерлер алаңы, Камзина көшесі 165; Екібастұз қаласы бойынша: «Шахтёр» саябағы; Ақсу қаласы бойынша: Қалалық саябақ; Железинка, Көктөбе, Ақтоғай ауылдары.

Gracillariidae тұқымдасы

Phyllonorycter sagitella Bjerkanter, 1790. Минаның төменгі бөлігі сопақша, тент тәрізді, қатпарланады, жапырақтың кез келген жерінде кездесуі мүмкін. Минасы сарғыш, кейде қызғылт түсті болады, уақыт өте қараяды. Минаның бір бөлігінде нәжісі (Сурет 2), ал екінші бөлігінде өте жұқа пілләда қара қуыршағы орналасады. Дернәсіл басынан, ауыз аппараты мен мандибулалардан, кеуде және құрсақ аяқтарынан тұрады. Басы қоңырлау, денесі ақ, сары түсті, жылтыр. Қуыршағы ашық қоңыр немесе қоңыр-қара түсті, сырты тегіс емес, жылтыр. Кеуденің, арқаның ортаңғы және төменгі бөлігінің артқы жиегінде шұңқыры жоқ. Басындағы өсінді өткір, кремастері жасыл-қоңыр түсті. Кремастердегі тікенектер айқын, қысқа. [5,23]

Жемдік өсімдіктер тізімі. Талдар тұқымдасы (*Salicaceae* Mirb.): *Populus tremula* L. Монофаг.

Фенологиясы. Еуропада миналанған жапырақтарды маусым және тамыз – қазан айларында кездестіруге болады [24]. Павлодар облысында маусым айынан тамыз айына дейін кездеседі.

Таралуы. Еуропаның континенттік бөлігінде кең таралған. Фенноскандия мен Ресейдің Солтүстігінен Пиренейге, Италияға және Румынияға, Ұлыбританиядан Ресейдің Оңтүстігіне дейін таралған 2019-2022 жж [25-28]. Павлодар облысын зерттеу барысында минасы бар 7 жапырақ анықталды. Павлодар қаласы бойынша: Гагарин саябағы, Қалалық жағалау, Ардагерлер алаңы.

Phyllocnistis labyrinthella Bjerkanter, 1790. Минаның дәлізі ұзын, иірімделген, кең. Ол жапырақтың кез келген жерінде кездеседі, көбінесе үстіңгі және/немесе астыңғы жағында. Нәжісі қара қошқыл түсті. Дәлізі көбінесе жапырақтың шетінде аяқталады, онда ол біршама кеңейіп, бүгіледі (Сурет 2). Бұл жерде қуыршақ пайда болады. Дернәсілдің басы ашық сары, денесі сары, кейде жасыл-сары түсті. Қуыршағы қызғылт-қоңыр түсті. Басы салыстырмалы түрде қысқа, әлсіз иілген, төмпешігі бар. Құрсақтың 4-6 сегменттерінде бірнеше ұлғайған, ілмек тәрізді емес тікенектері бар.

Фенологиясы. Еуропада миналанған жапырақтар маусым және тамыз айларында, Павлодар облысында маусым-шілде айларында кездестіруге болады [6]. Жемдік өсімдіктер тізімі. Талдар тұқымдасы (*Salicaceae* Mirb.): *Populus alba* L., *Populus tremula* L. Монофаг.

Таралуы. Еуропаның көп бөлігінде таралған, алайда Британ аралдарында, Италияның материктік бөлігінде, Жерорта теңізі аралдарында және Балқан түбегінің кейбір бөліктерінде кездеспейді [29-30]. 2019-2022 жж. Павлодар облысын зерттеу барысында минасы бар 4 жапырақ анықталды. Павлодар қаласы бойынша: Металлургтер саябағы, Қалалық жағалау, Ардагерлер алаңы.

Phyllonorycter populifoliella Treitschke, 1833. Минаның төменгі жағы тент тәрізді, кейде қатпарлармен. Қуыршақ минаның ішіндегі дөңгелек пілләда орналасады. Нәжіс минаның шеттерінде, немесе бұрышында жиналады (Сурет 2). Дернәсілдің басы ашық қоңыр, ауызы және оның жігі қаралау, дененің алдыңғы бөлігі ақшыл, артқы бөлігі сарғыш-жасыл түсті, арқа тамыры қаралау, 2-4 сегменттері келесілерге қарағанда едәуір үлкен. Қуыршағы қара-қоңыр немесе қара түсті. Басы сәл иілген. Арқаның ортаңғы

бөлігінде бірнеше шұңқыры бар, артқы бөлігінде жоқ. Құрсақтың 6-8 сегменттерінің артқы шекарасы қатты кеңейген. Кремастері бозғылт емес, айқын емес тісшелері бар.

Жемдік өсімдіктер тізімі. Талдар тұқымдасы (*Salicaceae* Mirb.): *Populus nigra* L., *Populus* × *canadensis* Moench. Монофаг. Фенологиясы. Еуропада миналанған жапырақтарды маусым-шілде және қазан айларында, ал Павлодар облысында маусым-тамыз айлары арасында кездестіруге болады [6]. Бивольтинді түр.

Таралуы. Или Австрияда, Бельгияда, Болгарияда, Ресейде, Чехияда, материктік Данияда, Эстонияда, Финляндияда, Венгрияда, Германияда, материктік Грецияда, Румынияда, Словакияда, Словенияда, Польшада, материктік Испанияда және т.б. кездеседі, Британ аралдарында кездеспейді [31-32]. 2019-2022 жж. Павлодар облысын зерттеу барысында минасы бар 1976 жапырақ анықталды. Павлодар қаласы бойынша: Металлургтер саябағы, Жеңіс алаңы, Гагарин саябағы, Қалалық жағалау, Ленин саябағы, «Усолка» саябағы, Ардагерлер алаңы, Конституция алаңы, Камзина көшесі 165, Лермонтов көшесі 44; Екібастұз қаласы бойынша: «Шахтёр» саябағы, 22-ықшам аудан; Ақсу қаласы бойынша: Қалалық саябақ; Железинка, Көктөбе, Ақтоғай ауылдары.

Қорытынды

Қорытындылай келе 2019-2022 жылдары жүргізілген зерттеулерге сәйкес Павлодар облысының аумағынан терек минерлерінің 2 тұқымдасына жататын 4 түрінің трофикалық байланыстары анықталды. Сондай-ақ олардың миналары мен дернәсілдеріне сипаттама, фенологиясы мен таралуы, биологиялық сипаттамасы берілді. Алынған мәліметтерді қоршаған ортадағы биологиялық алуантүрлілікті бағалауда және Павлодар облысы энтомофаунасының тізілімдемесін жасауда, жәндіктердің атластарын құрастыруда және ағаш текті өсімдіктерінің зиянкестерімен күресу шараларын әзірлеу кезінде пайдалануға болады.

Авторлардың үлесі

Ж.М.Н. – жұмыстың тұжырымдамасын жазу және оны сыни тұрғыдан қарау; жұмыс нәтижелерін жинау, талдау және түсіндіру, мақала мәтінін өңдеу; **А.Қ.Қ.** – мақала мазмұнын сыни тұрғыдан тексеру, мақаланың соңғы нұсқасын жариялауға бекіту; **М.А.В.** – зерттеуді жүргізу үшін әдіс-тәсілдерді бекіту, зерттеу нәтижелерін талдау; **К.А.Б.** – концептуализация, әдеби шолу жасау, зерттеу жұмысының концепциясын және дизайнын жасау.

Мүдделер қақтығысы

Барлық авторлар мақаланың мазмұнын оқып танысқан және мүдделер қақтығысы жоқ.

Этикалық нормаларды сақтау

Авторлар орындаған бұл мақалада адамдарды немесе жануарларды объектілер ретінде пайдаланған зерттеулер жоқ.

Әдебиеттер тізімі

1. Liebhold AM, Brockerhoff EG, Garrett LJ, et al. Live plant imports: the major pathway for forest insect and pathogen invasions of the US. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2012;10 (3):135–143.
2. Воронцов АИ. Лесная энтомология: учебник для студентов лесохозяйств. Москва: Высшая школа; 1982.
3. Global taxonomic database of Gracillariidae (Lepidoptera) [cited 2022]. Available from: <http://www.gracillariidae.net>
4. Ellis W. Plant Parasites of Europe: leafminers, galls and fungi [cited 2022]. Available from: <https://bladmineerders.nl>
5. Gregor F, Patocka J. Die Puppen der mitteleuropäischen Lithocolletinae. *Mitteilungen des internationalen entomologischen Vereins, Supplement*; 2001.
6. Hering EM. Biology of the Leaf miners. Berlin: Springer-science+business media; 1951.
7. Баранник АП. Насекомые зеленых насаждений промышленных городов Кемеровской области. Кемерово: КГУ; 1981.
8. Pincebourde S, Casas J. Warming tolerance across insect ontogeny: Influence of joint shifts in microclimates and thermal limits. *Ecology*. 2015;96(4):986-997. doi.org/10.1890/14-0744.1
9. Kato M. Structure, organization, and response of a species-rich parasitoid community to host leafminer population dynamics. *Oecologia*. 1994;97:17-25.
10. Hawkins BA. Pattern and process in host-parasitoid interactions. Cambridge: Cambridge University Press; 1994.
11. Aoyama H, Ohshima I. Changing leaf geometry provides a refuge for a leaf miner from a parasitoid. *Zoological Science*. 2019;36:31-37. doi.org/10.2108/zs180062
12. Guiguet A, Hamatani A, Amano T, et al. Inside the horn of plenty: Leaf-mining micromoth manipulates its host plant to obtain unending food provisioning. *PLoS One*. 2018;13(12):e0209485. doi.org/10.1371/journal.pone.0209485
13. Кириченко НИ. Методические подходы к исследованию насекомых, минирующих листья древесных растений. *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. 2014;207:235-246.
14. Leppanen SA, Altenhofer E, Liston AD, Nyman T. Ecological versus phylogenetic determinants of trophic associations in a plant-leafminer-parasitoid food web. *Evolution*. 2013;67:1493-1502. doi.org/10.1111/evo.12028
15. Kirichenko N, Triberti P, Akulov E, et al. Exploring species diversity and host plant associations of leaf-mining micromoths (Lepidoptera: Gracillariidae) in the Russian Far East using DNA barcoding. *Zootaxa*. 2019;4652:1-55. doi.org/10.11646/zootaxa.4652.1.1
16. Arrom L, Munne-Bosch S. Sucrose accelerates flower opening and delays senescence through a hormonal effect in cut lily flowers. *Plant Science*. 2012;188-189:41-47. doi.org/10.1016/j.plantsci.2012.02.012
17. Гусев ВИ. Определитель повреждений деревьев и кустарников, применяемых в зеленом строительстве. Москва: Лесная промышленность; 1984.; Кузнецов ВИ. Насекомые и клещи – вредители сельскохозяйственных культур. Чешуекрылые. Санкт-Петербург: Наука; 1999.
18. Международный кодекс зоологической номенклатуры. Москва: Товарищество научных изданий КМК; 2004.

19. Buszko J, Beshkov S. A preliminary survey of leafmining moths (Insecta: Lepidoptera: Microlepidoptera) of the Bulgarian part of Eastern Rhodopes. 2004.
20. Demyanenko SO, Bidzilya OV, Karolinskiy EA. New records of Lepidoptera (Insecta) of Severodonetsk (Luhansk Region, Ukraine) and its environs. The Kharkov entomological Society Gazette. 2021;29(1):20-52.
21. Deutsch H. Beitrag zur Lepidopterenfauna Osttirols, Österreich, VI. Weitere Erstnachweise (Insecta, Lepidoptera). Wissenschaftliches Jahrbuch der Tiroler Landesmuseen. 2012;5:184-211.
22. Barton I. A contribution to the Microlepidopteran fauna of Cyprus. The Entomologist's Record and Journal of Variation. 2015;127(4):157-167.
23. Patocka J, Turcani M. Lepidoptera pupae: Central European species. 1-2. Apollo Books, Stenstrup; 2005.
24. Emmet AM. The moths and butterflies of Great Britain and Ireland. Harley books; 1985.
25. Klimesch J. Microlepidoptera (Kleinschmetterlinge). Die Schmetterlinge Oberösterreichs. Linz; 1990.
26. Glerean P, Triberti P. Gracillariidae della Collezione Usvelli (Lepidoptera) / The Gracillariidae of the Usvelli's collection (Lepidoptera), Gortania. Botanica, Zoologia. 2015;36:61-68.
27. Bengtsson BA, Johansson R. Nationalnyckeln till Sveriges flora och fauna. Fjärilar: Bronsmalar – rullvingermalar. Lepidoptera: Roeslerstammiidae – Lyonetiidae. ArtDatabanken, SLU, Uppsala; 2011.
28. Huisman K, Koster J, Muus T, van Nieuwerkerken E. Microlepidoptera in Nederland, vooral in 2007–2010 met een terugblik op 30 jaar faunistisch onderzoek. Entomologische Berichten. 2013;73(3):91-117.
29. Akulov E, Kirichenko N, Ponomarenko M. Contribution to the Microlepidoptera Fauna of the South of Krasnoyarsk Territory and the Republic of Khakassia. Entomological Review. 2018;98:49-75.
30. Fazekas I. Systematisches und synonymisches Verzeichnis der Microlepidopteren Ungarns (Lepidoptera: Microlepidoptera). Folia historico-naturalia Musei Matraensis. 2002;26:289-327.
31. Shashank P, Singh N, Harshana A, et al. First report of the poplar leaf miner, *Phyllonorycter populifoliella* (Treitschke) (Lepidoptera: Gracillariidae) from India. Zootaxa. 2021;4915(3):435-450. doi.org/10.11646/zootaxa.4915.3.11
32. Corley MFV, Maravalhas E, de Carvalho JP. Miscellaneous additions to the Lepidoptera of Portugal (Insecta: Lepidoptera). SHILAP Revista de lepidopterología. 2006;34(136):407-427.

Листовые минеры тополя (*Populus L.*) в зеленых насаждениях Павлодарской области

М.Н. Жусип*¹, К.К. Ахметов¹, А.В. Мищенко², А.Б. Калиева¹

¹Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан

²Ульяновский государственный педагогический университет имени И.Н. Ульянова,
Ульяновск, Россия

Аннотация. В статье разносторонне рассматриваются листовые минеры тополя (*Populus L.*) в зеленых насаждениях Павлодарской области. Листовые минеры - это личинки некоторых мотыльков, жуков, мух и пилильщиков, которые питаются эпидермальными слоями листьев

растений. Многие из них являются вредителями лесного хозяйства, культурного и товарного садоводства, сельского хозяйства в целом и т.д. Исследования проводились в Павлодарской области в течение вегетационных периодов 2019–2022 гг., в городах Павлодар, Экибастуз, Аксу, а также в селах: Железинка, Коктобе, Актогай. Поврежденные листья собирали в природных и искусственных насаждениях – парках и садах, на площадях городских улиц. В период 2019–2022 гг. в Павлодарской области было исследовано около 5000 листьев тополя. В ходе исследования в регионе были выявлены 4 вида минеров тополя, принадлежащих к семействам Nepticulidae и Gracillariidae. Они делятся на следующие 3 рода: *Stigmella* Schrank 1802, *Phyllonorycter* Hubner 1822 и *Phyllocnistis* Zeller 1848. На сегодняшний день воздействие организмов, входящих в ассоциацию минеров, представляет глобальную угрозу для экономики и окружающей среды.

Ключевые слова: листовой минер, *Populus L.*, вредитель, *Stigmella trimaculella*, *Phyllonorycter sagitella*, *Phyllonorycter populifoliella*, *Phyllocnistis labyrinthella*

Leaf miners of poplar (*Populus L.*) in green spaces of Pavlodar region

M.N. Zhussip^{*1}, K.K. Akhmetov¹, A.V. Mishchenko², A.B. Kaliyeva¹

¹Toraighyrov University, Pavlodar, Kazakhstan

²Ulyanovsk State Pedagogical University, Ulyanovsk, Russia

Abstract. The article comprehensively examines the leaf miners of poplar (*Populus L.*) in the green spaces of Pavlodar region. Leaf miners are the larvae of some moths, beetles, flies, and sawflies that feed on the epidermal layers of plant leaves. Many of them are pests of forestry, cultural and commercial horticulture, agriculture in general, etc. The research was conducted in the Pavlodar region during the 2019–2022 growing season, in the cities of Pavlodar, Ekibastuz, Aksu, as well as in the villages of Zhelezinka, Koktobe, and Aktogay. The damaged leaves were collected in natural and artificial plantings – parks and gardens, squares, and city streets. In the period 2019–2022, about 5,000 poplar leaves were examined in the Pavlodar region. During the study, 4 species of poplar miners belonging to the Nepticulidae and Gracillariidae families were identified in the region. They are divided into the following 3 genera: *Stigmella* Schrank 1802, *Phyllonorycter* Hubner 1822, and *Phyllocnistis* Zeller 1848. Today, the impact of organisms belonging to the association of miners poses a global threat to the economy and the environment.

Keywords: leaf miner, *Populus L.*, pest, *Stigmella trimaculella*, *Phyllonorycter sagitella*, *Phyllonorycter populifoliella*, *Phyllocnistis labyrinthella*

References

1. Liebhold AM, Brockerhoff EG, Garrett LJ, et al. Live plant imports: the major pathway for forest insect and pathogen invasions of the US. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2012;10 (3):135–143.
2. Voroncov AI. *Lesnaya entomologiya* [Forest entomology]. Moscow: Higher school; 1982. [In Russian]
3. Global taxonomic database of Gracillariidae (Lepidoptera) [cited 2022]. Available from: <http://www.gracillariidae.net>

4. Ellis W. Plant Parasites of Europe: leafminers, galls and fungi [cited 2022]. Available from: <https://bladmineerders.nl>
5. Gregor F, Patocka J. Die Puppen der mitteleuropäischen Lithocolletinae. Mitteilungen des internationalen entomologischen Vereins, Supplement; 2001.
6. Hering EM. Biology of the Leaf miners. Berlin: Springer-science+business media; 1951.
7. Barannik AP. Nasekomye zelenyh nasajdeni promyshlennyh gorodov Kemerovskoi oblasti [Insects of green spaces in industrial cities of the Kemerovo region]. Kemerovo: KSU; 1981. [In Russian]
8. Pincebourde S, Casas J. Warming tolerance across insect ontogeny: Influence of joint shifts in microclimates and thermal limits. Ecology. 2015;96(4):986-997. doi.org/10.1890/14-0744.1
9. Kato M. Structure, organization, and response of a species-rich parasitoid community to host leafminer population dynamics. Oecologia. 1994;97:17-25.
10. Hawkins BA. Pattern and process in host-parasitoid interactions. Cambridge: Cambridge University Press; 1994.
11. Aoyama H, Ohshima I. Changing leaf geometry provides a refuge for a leaf miner from a parasitoid. Zoological Science. 2019;36:31-37. doi.org/10.2108/zs180062
12. Guiguet A, Hamatani A, Amano T, et al. Inside the horn of plenty: Leaf-mining micromoth manipulates its host plant to obtain unending food provisioning. PLoS One. 2018;13(12):e0209485. doi.org/10.1371/journal.pone.0209485
13. Kirichenko NI. Metodicheskie podhody k issledovaniyu nasekomyh, miniruiushhih lista drevesnyh rastenii [Methodological approaches to the study of insects mining the leaves of woody plants]. Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy. 2014;207:235-246. [In Russian]
14. Leppanen SA, Altenhofer E, Liston AD, Nyman T. Ecological versus phylogenetic determinants of trophic associations in a plant-leafminer-parasitoid food web. Evolution. 2013;67:1493-1502. doi.org/10.1111/evo.12028
15. Kirichenko N, Triberti P, Akulov E, et al. Exploring species diversity and host plant associations of leaf-mining micromoths (Lepidoptera: Gracillariidae) in the Russian Far East using DNA barcoding. Zootaxa. 2019;4652:1-55. doi.org/10.11646/zootaxa.4652.1.1
16. Arrom L, Munne-Bosch S. Sucrose accelerates flower opening and delays senescence through a hormonal effect in cut lily flowers. Plant Science. 2012;188-189:41-47. doi.org/10.1016/j.plantsci.2012.02.012
17. Gusev VI. Opredelitel povrejdeni derevev i kustarnikov, primenyaemyh v zelenom stroitelstve [Damage detector for trees and shrubs used in green construction]. Moscow: Forest Industry; 1984. [In Russian]; Kuznesov VI. Nasekomye i kleshhi – vrediteli selskohozyaistvennyh kultur. Cheshuekrylye [Insects and mites are pests of agricultural crops. Lepidoptera]. St. Petersburg: Science; 1999. [In Russian]
18. Mejdunarodnyi kodeks zoologicheskoi nomenklatury [International Code of Zoological Nomenclature]. Moscow: Association of Scientific Publications of the KMC; 2004. [In Russian]
19. Buszko J, Beshkov S. A preliminary survey of leafmining moths (Insecta: Lepidoptera: Microlepidoptera) of the Bulgarian part of Eastern Rhodopes. 2004.
20. Demyanenko SO, Bidzilya OV, Karolinskiy EA. New records of Lepidoptera (Insecta) of Severodonetsk (Luhansk Region, Ukraine) and its environs. The Kharkov entomological Society Gazette. 2021;29(1):20-52.
21. Deutsch H. Beitrag zur Lepidopterenfauna Osttirols, Österreich, VI. Weitere Erstnachweise (Insecta, Lepidoptera). Wissenschaftliches Jahrbuch der Tiroler Landesmuseen. 2012;5:184-211.

22. Barton I. A contribution to the Microlepidopteran fauna of Cyprus. The Entomologist's Record and Journal of Variation. 2015;127(4):157-167.
23. Patocka J, Turcani M. Lepidoptera pupae: Central European species. 1-2. Apollo Books, Stenstrup; 2005.
24. Emmet AM. The moths and butterflies of Great Britain and Ireland. Harley books; 1985.
25. Klimesch J. Microlepidoptera (Kleinschmetterlinge). Die Schmetterlinge Oberösterreichs. Linz; 1990.
26. Glerean P, Triberti P. Gracillariidae della Collezione Usvelli (Lepidoptera) / The Gracillariidae of the Usvelli's collection (Lepidoptera), Gortania. Botanica, Zoologia. 2015;36:61-68.
27. Bengtsson BA, Johansson R. Nationalnyckeln till Sveriges flora och fauna. Fjärilar: Bronsmalar – rullvingermalar. Lepidoptera: Roeslerstammiidae – Lyonetiidae. ArtDatabanken, SLU, Uppsala; 2011.
28. Huisman K, Koster J, Muus T, van Nieuwerkerken E. Microlepidoptera in Nederland, vooral in 2007–2010 met een terugblik op 30 jaar faunistisch onderzoek. Entomologische Berichten. 2013;73(3):91-117.
29. Akulov E, Kirichenko N, Ponomarenko M. Contribution to the Microlepidoptera Fauna of the South of Krasnoyarsk Territory and the Republic of Khakassia. Entomological Review. 2018;98:49-75.
30. Fazekas I. Systematisches und synonymisches Verzeichnis der Microlepidopteren Ungarns (Lepidoptera: Microlepidoptera). Folia historico-naturalia Musei Matraensis. 2002;26:289-327.
31. Shashank P, Singh N, Harshana A, Sinha T, Kirichenko N. First report of the poplar leaf miner, *Phyllonorycter populifoliella* (Treitschke) (Lepidoptera: Gracillariidae) from India. Zootaxa. 2021;4915(3):435-450. doi.org/10.11646/zootaxa.4915.3.11
32. Corley MFV, Maravalhas E, de Carvalho JP. Miscellaneous additions to the Lepidoptera of Portugal (Insecta: Lepidoptera). SHILAP Revista de lepidopterología. 2006;34(136):407-427.

Авторлар туралы мәліметтер:

Жүсіп Мукаррам Нартайқызы – хат-хабар авторы, жаратылыстану ғылымдарының магистрі, «биология және экология» кафедрасының докторанты, Торайғыров университеті, Ломов көшесі 64, 140008, Павлодар, Қазақстан.

Ахметов Қанат Қамбарұлы – биология ғылымдарының докторы, «биология және экология» кафедрасының профессоры, Торайғыров университеті, Ломов көшесі 64, 140008, Павлодар, Қазақстан.

Мищенко Андрей Владимирович – биология ғылымдарының кандидаты, доцент, И.Н. Ульянов атындағы Ульяновск мемлекеттік педагогикалық университеті, Ленин алаңы 4/5, 432071, Ульяновск, Ресей.

Калиева Айнагуль Балгауовна – биология ғылымдарының кандидаты, доцент, «биология және экология» кафедрасының меңгерушісі, Торайғыров университеті, Ломов көшесі 64, 140008, Павлодар, Қазақстан.

Сведения об авторах:

Жусип Мукаррам Нартайқызы – автор для корреспонденции, магистр естественных наук, докторант кафедры «Биология и экология», Торайғыров университет, ул. Ломова 64, 140008, Павлодар, Казахстан.

Ахметов Канат Комбарович – доктор биологических наук, профессор кафедры «Биология и экология», Торайгыров университет, ул. Ломова 64, 140008, Павлодар, Казахстан.

Мищенко Андрей Владимирович – кандидат биологических наук, доцент, Ульяновский государственный педагогический университет им. И.Н. Ульянова, площадь Ленина 4/5, 432071, Ульяновск, Россия.

Калиева Айнагуль Балгауовна – кандидат биологических наук, доцент, заведующая кафедрой «Биология и экология», Торайгыров университет, ул. Ломова 64, 140008, Павлодар, Казахстан.

Authors' information:

Zhussip Mukarram Nartaykyzy – corresponding author, master of Natural Sciences, PhD student, Department of Biology and Ecology, Toraighyrov University, 64 Lomov St., 140008, Pavlodar, Kazakhstan.

Akhmetov Kanat Kambarovich – Doctor of Biological Sciences, Professor, Department of Biology and Ecology, Toraighyrov University, 64 Lomov St., 140008, Pavlodar, Kazakhstan.

Mishchenko Andrey Vladimirovich – Candidate of Biological Sciences, associate Professor, Ulyanovsk State Pedagogical University, 4/5 Lenin Square, 432071, Ulyanovsk, Russia.

Kaliyeva Ainagul Balgauovna – Candidate of Biological Sciences, associate Professor, Head of Department of Biology and Ecology, Toraighyrov University, 64 Lomov St., 140008, Pavlodar, Kazakhstan.



IRSTI 34.31.15
Research article

<https://doi.org/10.32523/2616-7034-2025-151-2-76-92>

Effect of high temperature stress on *Hordeum vulgare* L. growth

A.T. Samat^{1,†}, B. Bekbolat^{1,†}, A. Soltabayeva², K. Zhanassova¹, M.T. Myrzabayeva³,
M.K. Beisekova¹, A. Bekturova¹, Zh. Nurbekova¹, Zh.K. Masalimov^{*1},
A.B. Kurmanbayeva^{*1}

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

²Nazarbayev University, Astana, Kazakhstan

³S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan

*Corresponding author: massalimov@gmail.com, kurmanbayeva.assylay@gmail.com

†These authors contributed equally to this work

Abstract. Barley (*Hordeum vulgare* L.) is a vital cereal crop that is highly susceptible to a range of abiotic stresses, including low temperatures, drought, salinity, and particularly heat stress, which can significantly impair its growth and productivity. This study aimed to assess the impact of elevated temperature on the germination and physiological responses of the Astana 2000 barley cultivar. Seeds were germinated under controlled growth room conditions at an optimal temperature of 25°C (control) and a high temperature of 40°C to simulate heat stress. We evaluated several physiological and biochemical parameters, including chlorophyll content, malondialdehyde (MDA), and proline levels. Heat stress led to a noticeable decline in photosynthetic pigments, indicating reduced photosynthetic efficiency. In contrast, MDA and proline concentrations increased, reflecting enhanced lipid peroxidation and osmotic stress, respectively. Additionally, the activities of antioxidant enzymes such as aldehyde oxidase and catalase were significantly elevated under high temperature, suggesting an adaptive defense mechanism to counteract oxidative damage by detoxifying reactive oxygen species.

Keywords: *Hordeum vulgare*, antioxidant enzymes, chlorophyll content, malondialdehyde (MDA), proline accumulation, oxidative stress, heat tolerance

Introduction

Abiotic stresses such as drought, salinity, heavy metal toxicity, and high temperature negatively affect crop productivity, leading to significant global yield losses [1]. Combined stress conditions are more detrimental to plants than individual stresses, as demonstrated by experiments involving barley, maize, and sorghum [2–4]. However, there is still insufficient data explaining the mechanisms of plant adaptation to stress conditions and how plants respond to different types of stress [5].

Received: 14.05.2025. Accepted: 24.06.2025. Available online: 04.07.2025.

Recent studies have reported that plants respond differently to various stress conditions, and the responses to one stress cannot be generalized to others [6,7]. Barley is one of the most widely cultivated crop species globally and is known for its superior adaptation to abiotic stresses [8]. This adaptation is attributed to its morphological flexibility, such as changes in root and shoot biomass and length, as well as the development of reproductive organs [9].

High temperature stress particularly affects the reproductive organs of barley and photosynthesis-related parameters [10]. Under heat stress, plants activate internal cooling mechanisms to lower tissue temperature, which helps maintain relative water content (RWC) [11]. Another damaging consequence of heat stress is the accumulation of reactive oxygen species (ROS), which results from an imbalance in ROS metabolism. The predominant ROS, hydrogen peroxide and superoxide can disrupt essential cellular processes in plants [12].

Oxidative stress also leads to a reduction in chlorophyll content and damage to Photosystem II (PSII) [13]. Additionally, ROS molecules interact with lipid double bonds, forming lipid hydroperoxides (LOOH). This accumulation of ROS disrupts membrane integrity and is indicated by stress markers such as malondialdehyde (MDA), acrolein, and 4-hydroxy-2-nonenal (HNE) [14,15]. Lipid peroxidation and increased MDA levels also affect amino acids such as arginine (Arg), lysine (Lys), proline (Pro), threonine (Thr), and tryptophan (Trp), leading to protein degradation [14].

In response to abiotic stress, plants activate an antioxidant defense system that participates in ROS scavenging [16]. The antioxidant system is divided into two groups. The first includes non-enzymatic antioxidants composed of low molecular weight molecules such as ascorbate (AsA), glutathione (GSH), non-protein amino acids, phenolic compounds, α -tocopherol, and various alkaloids. The second group consists of enzymatic antioxidants such as superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidases (POX), ascorbate peroxidase (APX), monodehydroascorbate reductase (MDHAR), dehydroascorbate reductase (DHAR), glutathione reductase (GR), glutathione peroxidase (GPX), and glutathione S-transferase (GST) [17].

Catalase is a unique antioxidant enzyme capable of converting up to 26 million hydrogen peroxide molecules per minute per enzyme molecule [18]. Most studies on antioxidant enzyme activity in barley have examined moderate heat conditions (30–36°C), while less is known about enzyme activity at more extreme temperatures. Additionally, catalase activity has been detected in peroxisomes, mitochondria, and the cytosol [19]. The activity of antioxidant enzymes, including catalase and aldehyde oxidase, in plant tissues under heat stress remains underexplored in crops such as *Hordeum vulgare* L. In this study, we investigated the activity of these enzymes in barley under high-temperature stress.

Materials and research methods

Growth conditions and experimental procedures

For the research work, uniform seeds of the barley variety "Astana-2000" (*H. vulgare*) were used. Before sowing, the seeds were sterilized with a solution of hydrogen peroxide (H_2O_2) for 10 minutes. The seeds were washed three times with purified water and dried. 150 g of sterilized soil and 10 g of vermiculite were placed in the pots, and 40 ml of purified water was

poured on top. 20 seeds were sown in each plastic pot. The soil pH was in the range of 6.0-6.5, and the main nutrients contained: nitrogen ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) – 150 mg/l, phosphorus (P_2O_5) – 270 mg/l, and potassium (K_2O) – 300 mg/l. The plants were grown for 3 days at a temperature of +25°C (day and night), a photoperiod of 16 hours of light and 8 hours of darkness, and a relative humidity of 20–22%. 2700 K and 6400 K spectral lamps were used to light the growth chamber. Plants grown at a suitable temperature were divided into 2 groups after 3 days. For observation in a suitable environment, they were placed in chambers at a temperature of +25°C and a stress environment (high temperature) at +40°C.

Relative Water Content (RWC)

Relative Water Content (RWC) is a method for estimating the water content in plant tissues. Fresh weight (FW) was cut from leaf discs. The data was weighed and placed in a tube with water in a refrigerator at + 10°C for 24 hours to obtain the turgid weight (TW). After 24 hours, the fresh weight (FW) was dried on filter paper and weighed. To obtain the dry weight (DW), the samples were dried in an oven at + 80°C for 3 days [12]. RWC was calculated according to the standard formula:

$$\text{RWC}(\%) = \frac{(\text{FW} - \text{DW})}{(\text{TW} - \text{DW})} \times 100\%$$

Determination of proline content

70 mg of leaf sample was mixed with 5 ml of 3% aqueous sulfosalicylic acid and ground in a mortar. The mixture was then centrifuged at 3000 rpm for 10 minutes. To 2 ml of this filtrate was added 2 ml each of glacial acetic acid and acid ninhydrin. The mixture was heated in a water bath at 100°C for 1 hour and cooled to room temperature. The toluene-containing chromophore was aspirated by removing the reaction mixture with 5 ml of toluene. The absorbance was recorded at 520 nm using a toluene buffer, and the proline concentration was measured using 0-50 mg/ml proline standards [20].

Determination of malondialdehyde (MDA) content

The MDA level in leaves was measured according to the method of Cakmak and Horst (1991), with minor modifications [14]. First, 100 mg of fresh leaves were ground in a mortar in 1 ml of 0.1% w/v trichloroacetic acid. The mixture was then centrifuged at 2000 rpm for 10 minutes, and the supernatant was added with 1 ml of 0.5% thiobarbituric acid prepared in 20% TCA and incubated in a water bath (95°C) for 45 minutes. After that, the solutions in the test tubes were cooled on ice and centrifuged again at 12000 rpm for 10 minutes. The supernatants were then selected for spectrophotometric analysis. To determine the amount of MDA, the optical density (OD) was measured at wavelengths of 532 and 600 nm.

Determination of chlorophyll content

Total chlorophyll content was measured according to the method of Arnon [15]. 100 g of plant leaves were homogenized with 25 ml of acetone (80%), and the homogenate was filtered. It was centrifuged at 6000 rpm for 15 minutes. Chlorophyll a, b, and carotenoids were calculated by

recording the absorbance at 645, 663, and 480 nm according to the recommendation of Arnon (1949) enzymes.

Protein extraction and fractionation for in gel activities

The preparation of samples for native PAGE was carried out. In ice-cold extraction buffers containing 250 mM Tris-HCl (pH 7.5), 250 mM sucrose, 1 mM ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA), 4 mM 1,4-dithiothreitol (DTT), 5 mM l-cysteine, 0.001 mM aprotinin, 0.1 mM phenylene diamine tetraacetic fluoride (PMSF) and 0.001 mM pepstatin, fresh tissues were homogenized. The ratio of extraction buffer and tissue was 1:2 for leaves and 1:3 for roots. The plant tissue extracts were then centrifuged for 20 min at 10,000 rpm (+ 4 °C), then the supernatants were transferred to new tubes and carried out at 4 °C until 7.5% polyacrylamide gel electrophoresis in the absence of SDS Bradford M (1976) et.al [21]. The amount of soluble protein in the samples was calculated by Bradford assay, with BSA as a standard. All samples had been recalculated with the aim of loading 20 µg of soluble protein per line.

Determination of catalase (CAT) in gel activity

CAT activity was performed following the method of Aebi H (1984) et al [22]. The reaction mixture contained 10 µl of sample supernatant, 50 mM potassium phosphate buffer (pH 6.9), and 0.03% H₂O₂, mixed thoroughly for 15 min. After that, for visualization of catalase isozymes, the gel was incubated in 0.003% hydrogen peroxide solution for 10 min. Then, specific staining for catalase activity was performed in a solution containing 1% potassium hexacyanoferrate (III) and 1% iron (III) chloride.

Determination of aldehyde oxidase (AO) in gel activity

AO activity was determined following the method described by Sagi (1998) et.al [23] with slight changes. After electrophoresis, the gels were washed with distilled water and immersed in a staining solution that contained 1 mM indole-3-carboxaldehyde as substrate, 1 mM MTT (3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide) as indicator, 0.1 mM phenazine methosulfate as electron carrier in 0.1 M TRIS-HCl, pH 7.4, at + 37 °C for 40 min.

Results and discussions

Measurement of morphological traits of barley during high temperature stress

Like other abiotic stresses, high temperature stress negatively affects the growth and development of the entire plant organism, which plays a critical role in both the environment and agriculture. Increasing temperatures lead to reductions in morphological parameters such as root and shoot weight and length. As shown in our experiment, barley plants also exhibited a decreasing trend in shoot and root growth under heat stress (Figure 1). According to our results, shoot curling and rigidity appeared after 3 days at 40°C, in comparison with control plants grown at 25°C. Similar results were reported by Rollins et al., where shoot growth parameters declined under high temperature stress, and the lower leaves of barley cultivars were more severely damaged than the upper leaves [21]. Additionally, heat stress was found to delay shoot elongation in barley.

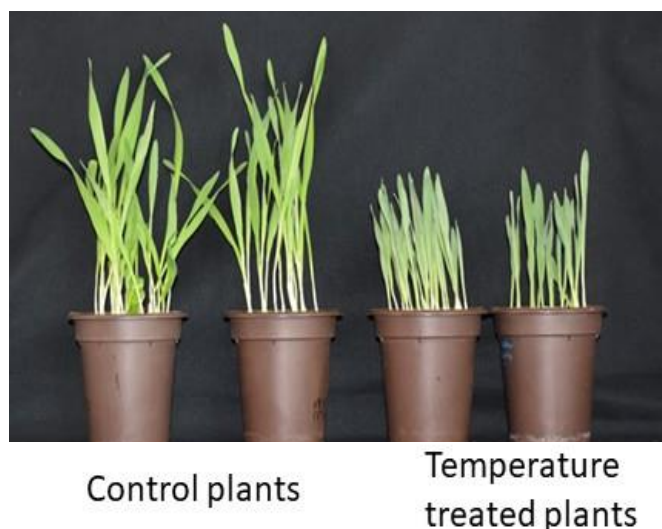
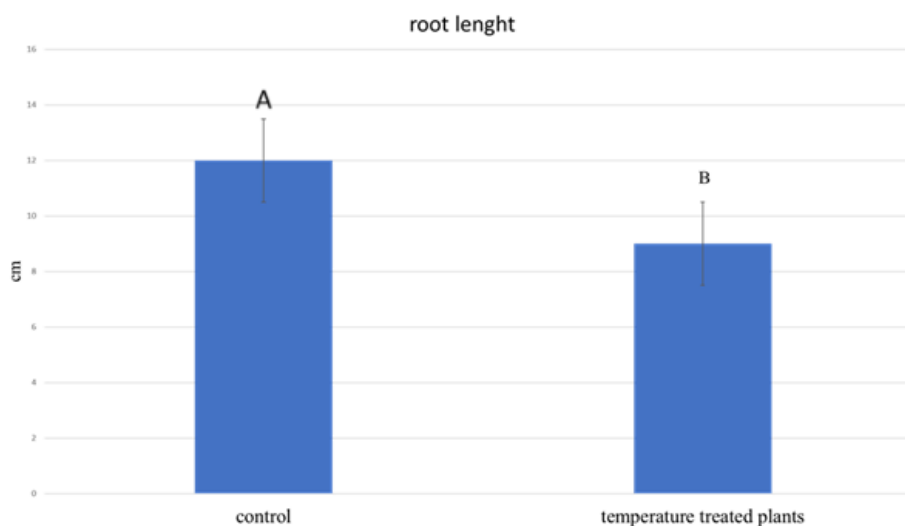


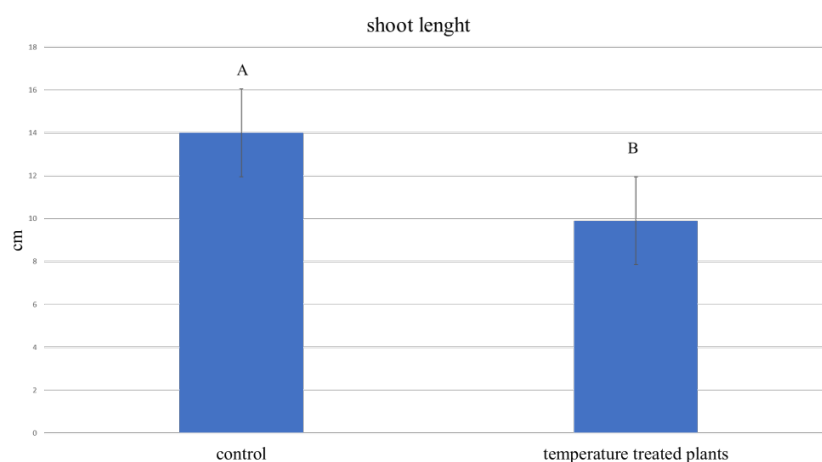
Figure 1. Effect of high temperature stress on the growth of barley cultivars in comparison with control plants within 3 days

As an above-ground part of plants, root growth also decreased under heat stress conditions in comparison with control plants. The length of roots declined and hardened at high temperature stress. Root length of heat-treated barley plants reached about 8-9 cm on average, whereas the control plants' roots varied from 12 to 15 cm. These data are supported by other research results, which described a lessening trend of root parameters such as length, dry weight, and fresh weight (Figure 2,3) [24]. Additionally, root parameters decreased were detected in *Mimosa sepiaria* Benth. (*Fabaceae*, *Mimosoideae*), and *Ormosia glaberrima* Y. C. Wu (*Fabaceae*, *Papilionoideae*) [25].



Note: Values denoted with different letters are significantly different according to the Tukey-Kramer HSD and T test analyses, $P < 0.05$ (JMP 15.1.0) software, <http://www.jmp.com/>). Different uppercase letters indicate significant differences between temperature and control plants.

Figure 2. The root and shoot changes of barley plants exposed to heat stress for 3 days

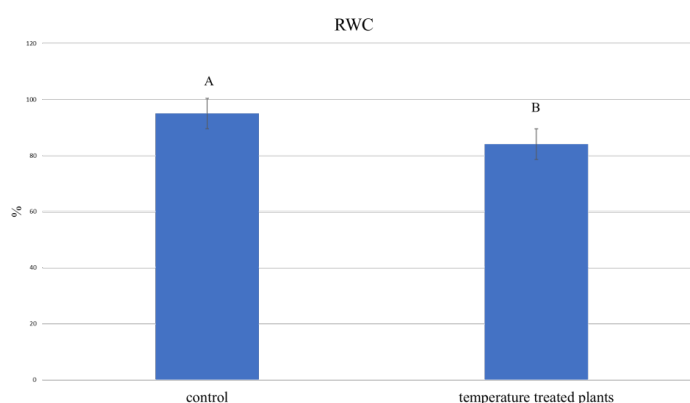


Note: Values denoted with different letters are significantly different according to the Tukey–Kramer HSD and T test analyses, $P < 0.05$ (JMP 15.1.0) software, <http://www.jmp.com/>). Different uppercase letters indicate significant differences between temperature and control plants.

Figure 3. The shoot changes of barley plants exposed to heat stress for 3 days

Effect of High Temperature on Relative Water Content (RWC) in Barley Plants

A reduction in morphological parameters as a consequence of heat stress leads to a decline in the relative water content (RWC) of plants. In our study, a noticeable decrease in RWC was observed in barley plants exposed to 40°C after three days. Furthermore, similar trends have been reported in other studies involving barley, tomato, and maize [21,26,27]. However, tall fescue plants exhibited a higher relative water content (RWC), which may be attributed to the unique physiological characteristics of tall fescue, particularly its ability to rapidly absorb water (Figure 4) [28].



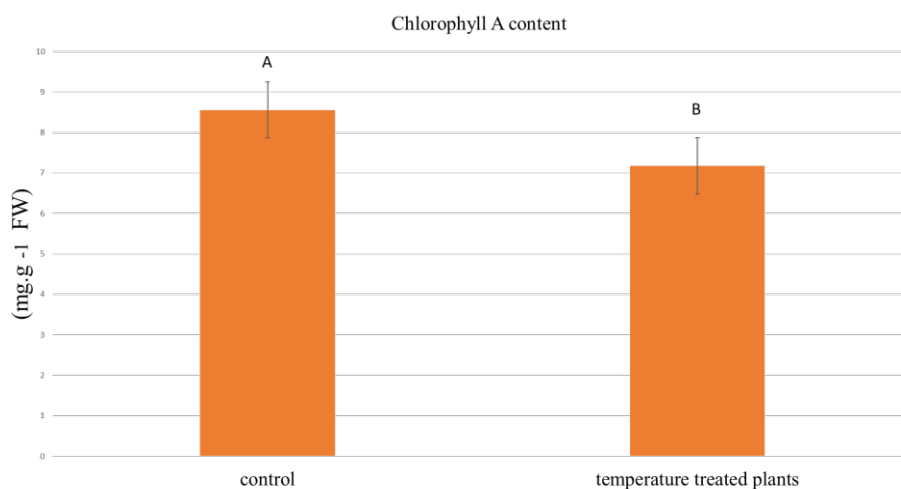
Note: Values denoted with different letters are significantly different according to the Tukey–Kramer HSD and T test analyses, $P < 0.05$ (JMP 15.1.0) software, <http://www.jmp.com/>). Different uppercase letters indicate significant differences between temperature control plants. Asterisks indicate significant differences between temperature stress and control.

Figure 4. The relative water content (RWC) changes of barley plants in response to heat stress (changes are shown as a percentage)

Under elevated temperatures, markers related to photosynthetic activity were significantly diminished. One of the primary factors contributing to the reduced growth rate is the decline in chlorophyll content [29,30]. In line with our findings, the barley cultivar also demonstrated a decrease in chlorophyll levels in heat-treated plants compared to the control group. Moreover, chlorophyll a (chlA) (Figure 5) content exceeded chlorophyll b (chlB) (Figure 6) content under both conditions; however, the chlA/chlB ratio declined in stressed plants, whereas control plants exhibited a significantly higher ratio (Figures 5, 6).

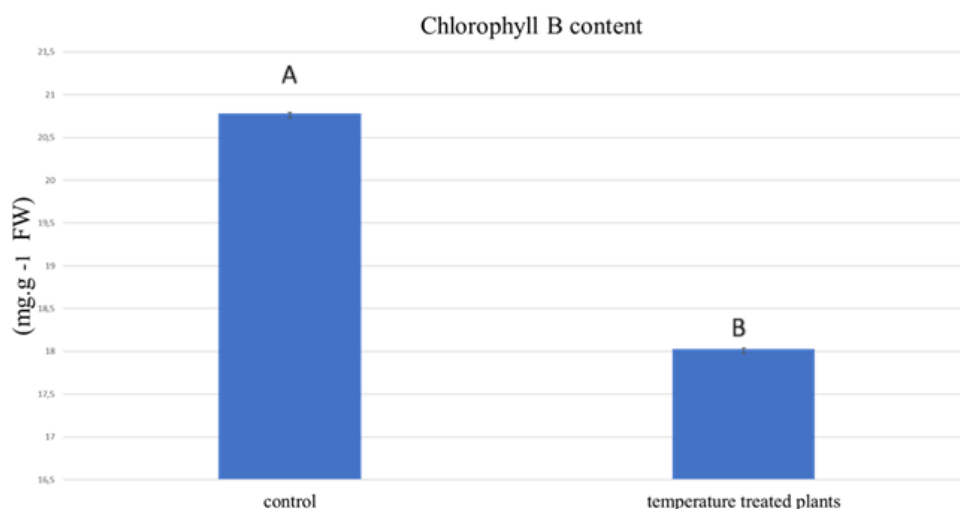
A reduction in chlorophyll content has also been observed in other barley cultivars, suggesting a suppression of stomatal aperture, which enhances resistance by limiting carbon dioxide uptake and minimizing water loss [31]. Additionally, during heat stress, the structure of enzymes is disrupted by reactive oxygen species (ROS), leading to a decline in chlorophyll biosynthesis [32,32,33]. A decrease in chlorophyll biosynthesis, particularly chlorophyll a (chlA) (Figure 5), has been documented in both soybean and barley [31].

Under stress conditions, ROS are generated within plastids and are highly toxic to the photosynthetic machinery. As a result, the thylakoid membranes become a primary target for oxidative damage caused by aldehydes [34]. As previously mentioned, ROS accumulation is a common response in plants subjected to abiotic stress, including elevated temperatures. Excessive ROS production triggers the activation of the plant's antioxidant defense systems, which comprise both enzymatic and non-enzymatic components [35].



Note: Values denoted with different letters are significantly different according to the Tukey-Kramer HSD and T test analyses, $P < 0.05$ (JMP 15.1.0) software, <http://www.jmp.com/>). Different uppercase letters indicate significant differences between temperature and control plants

Figure 5. The photosynthetic pigments changes of barley plants, such as chlorophyll a, in response to heat stress



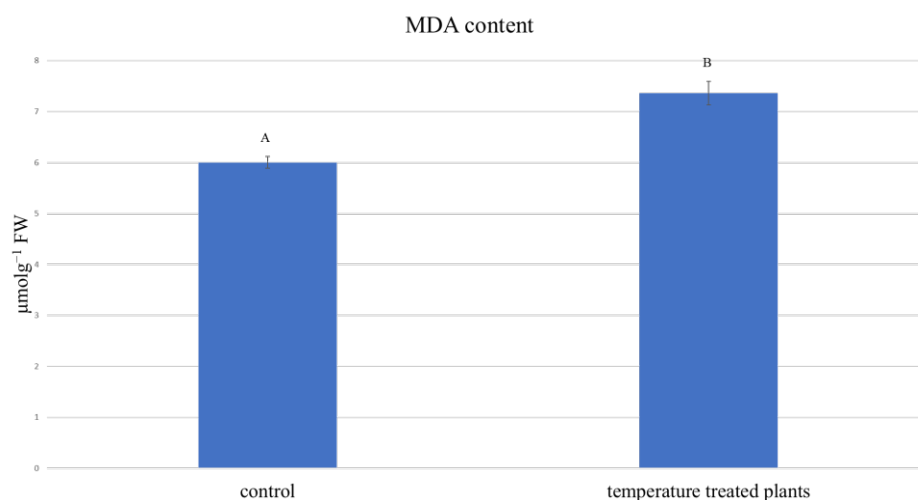
Note: Values denoted with different letters are significantly different according to the Tukey–Kramer HSD and T test analyses, $P < 0.05$ (JMP 15.1.0) software, <http://www.jmp.com/>). Different uppercase letters indicate significant differences between temperature and control plants

Figure 6. The photosynthetic pigments changes of barley plants, such as chlorophyll b, in response to heat stress

Detection of Enzymatic and Non-Enzymatic Antioxidant Activity in Barley Plants

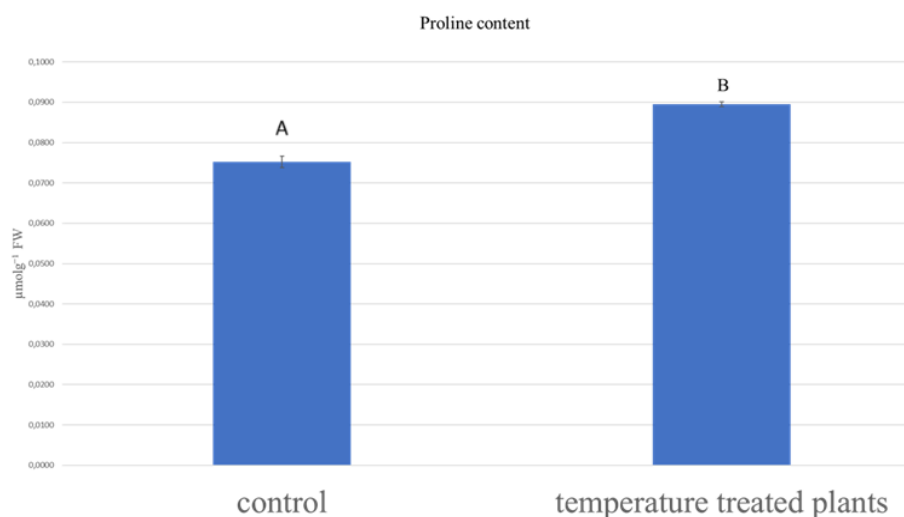
It is well established that thylakoid membranes contain a high proportion of polyunsaturated fatty acids, which serve as precursors to various aldehydes, including malondialdehyde (MDA) [36,37]. When barley plants are exposed to heat stress, MDA levels increase sharply. Elevated MDA content indicates significant disruption of membrane integrity. Similar patterns have been reported in barley, rice, and maize cultivars under high-temperature stress conditions (Figure 7) [29,38]. MDA accumulation within plant tissues can activate defense mechanisms known as the non-enzymatic antioxidant system.

One of the key molecules of non-enzymatic antioxidant systems is proline. Proline accumulation during the heat stress condition is associated with its function acting as a ROS scavenging molecule [31]. In our experiments, was detected higher accumulation of proline molecules was detected in temperature-treated plants in comparison with control plants (Figure 8).



Note: Values denoted with different letters are significantly different according to the Tukey–Kramer HSD and T test analyses, $P < 0.05$ (JMP 15.1.0) software, <http://www.jmp.com/>). Different uppercase letters indicate significant differences between temperature and control plants.

Figure 7. Malonaldehyde (MDA) changes of barley plants in response to heat stress



Note: Values denoted with different letters are significantly different according to the Tukey–Kramer HSD and T test analyses, $P < 0.05$ (JMP 15.1.0) software, <http://www.jmp.com/>). Different uppercase letters indicate significant differences between temperature control plants.

Figure 8. Proline changes of barley plants in response to heat stress

Excessive proline accumulation may be associated with the plant's adaptive response to heat stress (Figure 8). Proline contributes to enhancing the water potential of plant tissues by improving osmotic balance, thereby reducing oxidative stress-induced damage [38,39]. Furthermore, increased proline levels facilitate greater water uptake under stress conditions, which in turn positively influences stomatal aperture regulation [40].

Aldehyde Oxidase (AO) and Catalase (CAT) Activity in Barley Plants Under High Temperature Stress

Aldehyde oxidase (AO) belongs to a multigene family of enzymes characterized by broad substrate specificity. AO plays a key role in the biosynthesis of abscisic acid (ABA) by catalyzing the conversion of abscisic aldehyde into abscisic acid. Additionally, it contributes to the biosynthesis of indole-3-acetic acid (IAA) by converting indole-3-acetaldehyde into IAA [41–43]. AO activity has been reported to increase under stress conditions in both maize and barley [44,45]. Consistent with these findings, our results also demonstrated a significant rise in AO activity when barley plants were exposed to 40 °C for three days (Figure 9A). This suggests an upregulation of abscisic acid biosynthesis during heat stress, with elevated AO activity serving as a biochemical indicator of this process.

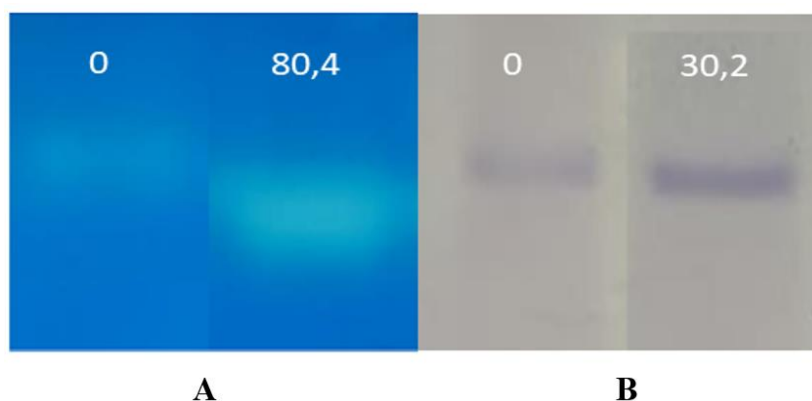


Figure 9. (A) Catalase activity (B) aldehyde oxidase activity in barley plants during the high temperature stress

When plants are exposed to high-temperature stress, their antioxidant defense systems are activated in response to oxidative stress (Figure 9B). The enzymatic antioxidant defense system functions by converting toxic reactive oxygen species (ROS) into less harmful molecules. Key enzymes involved in this process include superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), and ascorbate peroxidase (APX). Catalase plays a vital role in plant responses to temperature fluctuations - both increases and decreases - as demonstrated in experiments with maize plants [46].

Similarly, barley plants exhibited increased catalase activity under elevated temperature conditions compared to control plants. This enhanced activity is associated with rising ROS levels during heat stress, where catalase contributes to mitigating oxidative damage by decomposing

hydrogen peroxide into water. However, chronic exposure to elevated temperatures may not always induce significant oxidative stress, which can result in a non-significant increase in catalase activity. Nevertheless, such prolonged stress can impair plant growth and development [47].

Conclusion

High-temperature stress is a critical environmental factor that can hinder plant growth and development. Growth retardation is typically observed through shortened shoots, hardened roots, and leaf curling. As reported in previous studies, ROS accumulation occurs primarily in the plastids and mitochondria under high-temperature conditions. The presence of excessive ROS leads to membrane damage, as lipid components within the membranes undergo oxidation. This oxidative damage is evidenced by an increase in malondialdehyde (MDA), a byproduct of lipid peroxidation.

Furthermore, oxidative stress can suppress photosynthetic performance, resulting in a reduction of chlorophyll content, as observed in barley plants compared to control groups. To counteract such stress, plants activate antioxidant defense mechanisms comprising both enzymatic and non-enzymatic components, including proline, catalase, and aldehyde oxidase (AO). Catalase functions as a ROS scavenger, alleviating oxidative damage, while AO contributes to the biosynthesis of abscisic acid (ABA), a key hormone involved in stress signaling pathways.

As demonstrated in our research, barley plants exhibited elevated antioxidant defense responses under heat stress; however, growth and developmental processes were still adversely affected. These findings underscore the necessity for further investigations into stress-related signaling cascades, ABA biosynthesis, and its alternative pathways. Such research is crucial for the development of heat-tolerant crop hybrids.

Authors contributions

A.S., B.B., and A.K. – conceptualization; **B.B. and A.S.** – data curation; **B.B., A.S., and A.K.** – formal analysis; **B.B., A.S. and A.K.** – writing – original draft; **B.B., A.S., A.K., A.S., M.B., K.Zh., M.M., Zh.M., and A.K.** – writing – review & editing; **A.K. and Zh.M.** – supervision. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding

This research was funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant numbers AP19676731).

Conflicts of Interest

The authors declare no conflicts of interest.

Compliance with ethical standards

This article does not contain a description of studies performed by the authors involving people or using animals as objects.

References

1. Begna T. The role of genotype by environmental interaction in plant breeding. 2020.
2. Zandalinas SI, Mittler R, Balfagón D, et al. Plant adaptations to the combination of drought and high temperatures. *Physiologia plantarum*. 2018;162: 2–12.
3. Ramegowda V, Senthil-Kumar M. The interactive effects of simultaneous biotic and abiotic stresses on plants: mechanistic understanding from drought and pathogen combination. *Journal of plant physiology*. 2015;176: 47–54.
4. Suzuki N, Rivero RM, Shulaev V, et al. Abiotic and biotic stress combinations. *New Phytologist*. 2014;203: 32–43.
5. Mittler R. Abiotic stress, the field environment and stress combination. *Trends in plant science*. 2006;11: 15–19.
6. Choudhury FK, Rivero RM, Blumwald E, Mittler R. Reactive oxygen species, abiotic stress and stress combination. *The Plant Journal*. 2017;90: 856–867. doi.org/10.1111/tpj.13299
7. Zhang H, Zhu J, Gong Z, Zhu J-K. Abiotic stress responses in plants. *Nature Reviews Genetics*. 2022;23: 104–119.
8. Varshney RK, Tuberosa R. *Genomics-Assisted Crop Improvement, Vol 2: Genomics Applications in Crops*. 2007.
9. Zuo J, Zu M, Liu L, et al. Composition and diversity of bacterial communities in the rhizosphere of the Chinese medicinal herb *Dendrobium*. *BMC plant biology*. 2021;21: 1–13.
10. Mahalingam R, Duhan N, Kaundal R, et al. Heat and drought induced transcriptomic changes in barley varieties with contrasting stress response phenotypes. *Frontiers in Plant Science*. 2022;13. doi.org/10.3389/fpls.2022.1066421
11. Kaushal N, Bhandari K, Siddique KH, Nayyar H. Food crops face rising temperatures: an overview of responses, adaptive mechanisms, and approaches to improve heat tolerance. *Cogent food & agriculture*. 2016;2: 1134380.
12. Mittler R. ROS are good. *Trends in plant science*. 2017;22: 11–19.
13. Mattos BB, Montebianco C, Romanel E, et al. A peptidogalactomannan isolated from *Cladosporium herbarum* induces defense-related genes in BY-2 tobacco cells. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2018;126: 206–216.
14. Demidchik V. Mechanisms of oxidative stress in plants: from classical chemistry to cell biology. *Environmental and experimental botany*. 2015;109: 212–228.
15. Banerjee A, Roychoudhury A. Abiotic stress, generation of reactive oxygen species, and their consequences: an overview. *Reactive Oxygen Species in Plants: Boon or Bane-Revisiting the Role of ROS*. 2017; 23–50.
16. Noctor G, Mhamdi A, Foyer CH. Oxidative stress and antioxidative systems: recipes for successful data collection and interpretation. *Plant, cell & environment*. 2016;39: 1140–1160.
17. Zhang Q, Chen H, Xu C, et al. Heavy metal uptake in rice is regulated by pH-dependent iron plaque formation and the expression of the metal transporter genes. *Environmental and Experimental Botany*. 2019;162: 392–398.
18. Mehla N, Sindhi V, Josula D, et al. An introduction to antioxidants and their roles in plant stress tolerance. *Reactive oxygen species and antioxidant systems in plants: Role and regulation under abiotic stress*. 2017; 1–23.

19. Sofo A, Scopa A, Nuzzaci M, Vitti A. Ascorbate peroxidase and catalase activities and their genetic regulation in plants subjected to drought and salinity stresses. *International journal of molecular sciences*. 2015;16: 13561–13578.
20. Ábrahám E, Hourton-Cabassa C, Erdei L, Szabados L. Methods for determination of proline in plants. *Plant stress tolerance: methods and protocols*. 2010; 317–331.
21. Rollins JA, Habte E, Templer SE, et al. Leaf proteome alterations in the context of physiological and morphological responses to drought and heat stress in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Experimental Botany*. 2013;64: 3201–3212. doi.org/10.1093/jxb/ert158
22. Aebi H. Catalase in vitro. *Methods in enzymology*. Elsevier; 1984. pp. 121–126.
23. Sagi M, Omarov RT, Lips SH. The Mo-hydroxylases xanthine dehydrogenase and aldehyde oxidase in ryegrass as affected by nitrogen and salinity. *Plant Science*. 1998;135: 125–135.
24. Faralli M, Lektemur C, Rosellini D, Gürel F. Effects of heat shock and salinity on barley growth and stress-related gene transcription. *Biologia plantarum*. 2015;59: 537–546.
25. Luo H, Xu H, Chu C, et al. High temperature can change root system architecture and intensify root interactions of plant seedlings. *Frontiers in plant science*. 2020;11: 160.
26. Zhou R, Yu X, Ottosen C-O, et al. Drought stress had a predominant effect over heat stress on three tomato cultivars subjected to combined stress. *BMC plant biology*. 2017;17: 1–13.
27. Zhou R, Kong L, Wu Z, et al. Physiological response of tomatoes at drought, heat and their combination followed by recovery. *Physiologia Plantarum*. 2019;165: 144–154.
28. Mishra S, Spaccarotella K, Gido J, et al. Effects of heat stress on plant-nutrient relations: An update on nutrient uptake, transport, and assimilation. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023;24: 15670.
29. Sangwan S, Ram K, Rani P, Munjal R. Effect of terminal high temperature on chlorophyll content and normalized difference vegetation index in recombinant inbred lines of bread wheat. *Int J Curr Microbiol App Sci*. 2018;7: 1174–1183.
30. Jumrani K, Bhatia VS, Pandey GP. Impact of elevated temperatures on specific leaf weight, stomatal density, photosynthesis and chlorophyll fluorescence in soybean. *Photosynthesis Research*. 2017;131: 333–350.
31. Zahra M, Rasul S, Saeed F, et al. Exogenous Application of Salicylic acid Mitigates heat-induced Oxidative Stress in Barley (*Hordeum vulgare* L.). *Pakistan Journal of Biochemistry and Biotechnology*. 2022;3: 133–143. doi:10.52700/pjbb.v3i2.177
32. Zahra N, Hafeez MB, Ghaffar A, et al. Plant photosynthesis under heat stress: Effects and management. *Environmental and Experimental Botany*. 2023;206: 105178.
33. Medina E, Kim S-H, Yun M, Choi W-G. Recapitulation of the Function and Role of ROS Generated in Response to Heat Stress in Plants. *Plants*. 2021;10: 371. doi:10.3390/plants10020371
34. Liang X, Qian R, Wang D, et al. Lipid-derived aldehydes: new key mediators of plant growth and stress responses. *Biology*. 2022;11: 1590.
35. Syed AZ, Amjad H, Abdus SK, Muhammad A. Heat shock induced morpho-physiological response in indica rice (*Oryza sativa* L.) at early seedling stage. *Pakistan Journal of Botany*. 2017;49: 453–463.
36. Zhou R, Kong L, Yu X, et al. Oxidative damage and antioxidant mechanism in tomatoes responding to drought and heat stress. *Acta Physiol Plant*. 2019;41: 20. doi.org/10.1007/s11738-019-2805-1
37. Kumar A, Prasad A, Sedlářová M, Pospíšil P. Malondialdehyde enhances PsbP protein release during heat stress in *Arabidopsis*. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2023;202: 107984. doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.107984

38. Hussain HA, Men S, Hussain S, et al. Interactive effects of drought and heat stresses on morpho-physiological attributes, yield, nutrient uptake and oxidative status in maize hybrids. Scientific Reports. 2019;9: 3890. doi.org/10.1038/s41598-019-40362-7
39. Wright A, Delong J, Arul J, Prange R. The trend toward lower oxygen levels during apple (*Malus domestica* Borkh) storage. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology. 2015;90: 1–13.
40. Abdelaal KAA, Attia KA, Alamery SF, et al. Exogenous Application of Proline and Salicylic Acid can Mitigate the Injurious Impacts of Drought Stress on Barley Plants Associated with Physiological and Histological Characters. Sustainability. 2020;12: 1736. doi.org/10.3390/su12051736
41. Zhang M, Gao C, Xu L, et al. Melatonin and Indole-3-Acetic Acid Synergistically Regulate Plant Growth and Stress Resistance. Cells. 2022;11: 3250. doi.org/10.3390/cells11203250
42. Tang J, Li Y, Zhang L, et al. Biosynthetic Pathways and Functions of Indole-3-Acetic Acid in Microorganisms. Microorganisms. 2023;11: 2077. doi:10.3390/microorganisms11082077
43. Zhang P, Jin T, Kumar Sahu S, et al. The Distribution of Tryptophan-Dependent Indole-3-Acetic Acid Synthesis Pathways in Bacteria Unraveled by Large-Scale Genomic Analysis. Molecules. 2019;24: 1411. doi.org/10.3390/molecules24071411
44. Zhanassova K, Kurmanbayeva A, Gadilgerayeva B, et al. ROS status and antioxidant enzyme activities in response to combined temperature and drought stresses in barley. Acta Physiologiae Plantarum. 2021;43: 114. doi.org/10.1007/s11738-021-03281-7
45. Rubio V, Bustos R, Irigoyen ML, et al. Plant hormones and nutrient signaling. Plant Mol Biol. 2009;69: 361–373. doi.org/10.1007/s11103-008-9380-y
46. Ren T, Zheng P, Zhang K, et al. Effects of GABA on the polyphenol accumulation and antioxidant activities in tea plants (*Camellia sinensis* L.) under heat-stress conditions. Plant Physiology and Biochemistry. 2021;159: 363–371. doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.01.003
47. Sabagh AE, Mbarki S, Hossain A, et al. Potential Role of Plant Growth Regulators in Administering Crucial Processes Against Abiotic Stresses. Front Agron. 2021;3: 648694. doi.org/10.3389/fagro.2021.648694

Жоғары температура стрессінің *Hordeum vulgare* L. өсуіне әсері

А.Т. Самат¹, Б. Бекболат¹, А. Солтабаева², К. Жанасова¹,
М.Т. Мырзабаева³, М.К. Бейсекова¹, А. Бектұрова¹, Ж. Нұрбекова¹,
Ж.К. Масалимов^{*1}, А.Б. Құрманбаева^{*1}

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

²Назарбаев Университеті, Астана, Қазақстан

³С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан

Аңдатпа. Арпа (*Hordeum vulgare* L.) – абиотикалық күйзелістерге, соның ішінде төмен температураға, құрғақшылыққа, тұздылыққа, әсіресе оның өсуі мен өнімділігін айтарлықтай нашарлататын ыстық күйзелістерге өте сезімтал өмірлік маңызды дәнді дақыл. Бұл зерттеу жоғары температураның Астана 2000 арпа сортының өнуіне және физиологиялық реакцияларына әсерін бағалауға бағытталған. Тұқымдар жылу кернеуін модельдеу үшін 25°C

(бақылау) оңтайлы температурада және 40°C жоғары температурада бақыланатын өсу бөлмесі жағдайында өніп шықты. Біз бірнеше физиологиялық және биохимиялық параметрлерді, соның ішінде хлорофилл мазмұнын, малондальдегидті (МДА) және пролин деңгейін бағаладық. Жылулық стресс фотосинтетикалық пигменттердің айтарлықтай төмендеуіне әкелді, бұл фотосинтетикалық тиімділіктің төмендеуін көрсетеді. Керісінше, МДА және пролин концентрациясы жоғарылады, бұл сәйкесінше липидтердің асқын тотығуының және осмотық стресстің жоғарылауын көрсетеді. Сонымен қатар, альдегидоксидаза және каталаза сияқты антиоксиданттық ферменттердің белсенділігі жоғары температурада айтарлықтай жоғарылады, бұл реактивті оттегі түрлерін детоксикациялау арқылы тотығу зақымдануына қарсы тұру үшін бейімделген қорғаныс механизмін ұсынады.

Түйін сөздер: *Hordeum vulgare*, антиоксидантты ферменттер, хлорофилл мазмұны, малондальдегид (МДА), пролиннің жинақталуы, тотығу стресі, жылуға төзімділік

Влияние высокотемпературного стресса на рост *Hordeum vulgare* L

А.Т. Самат¹, Б. Бекболат¹, А. Солтабаева², К. Жанасова¹,
М.Т. Мырзабаева³, М.К. Бейсекова¹, А. Бектурова¹, Ж. Нурбекова¹,
Ж.К. Масалимов^{*1}, А.Б. Курманбаева^{*1}

¹Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

²Назарбаев Университет, Астана, Казахстан

³Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина,
Астана, Казахстан

Аннотация. Ячмень (*Hordeum vulgare* L.) является жизненно важной зерновой культурой, которая очень восприимчива к ряду абиотических стрессов, включая низкие температуры, засуху, засоление и особенно тепловой стресс, которые могут значительно ухудшить его рост и урожайность. Целью данного исследования была оценка влияния повышенной температуры на прорастание и физиологические реакции сорта ячменя Астана 2000. Семена проращивали в контролируемых условиях вегетационной комнаты при оптимальной температуре 25 °C (контроль) и высокой температуре 40 °C для имитации теплового стресса. Мы оценили несколько физиологических и биохимических параметров, включая содержание хлорофилла, малонового диальдегида (МДА) и уровни пролина. Тепловой стресс привел к заметному снижению фотосинтетических пигментов, что указывает на снижение эффективности фотосинтеза. Напротив, концентрации МДА и пролина увеличились, отражая усиление перекисного окисления липидов и осмотического стресса соответственно. Кроме того, активность антиоксидантных ферментов, таких, как альдегидоксидаза и каталаза, значительно возросла при высокой температуре, что предполагает адаптивный защитный механизм для противодействия окислительному повреждению путем детоксикации активных форм кислорода.

Ключевые слова: *Hordeum vulgare*, антиоксидантные ферменты, содержание хлорофилла, малондальдегид (МДА), накопление пролина, окислительный стресс, устойчивость к теплу

Сведения об авторах:

Самат Абай – магистр естественных наук, PhD студент кафедры общей биологии и геномики, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Кажымукан 13, 010000, Астана, Казахстан.

Бекболат Бейбит – студент кафедры биотехнологии и микробиологии, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Кажымукан 13, 010000, Астана, Казахстан.

Солтабаева Айгерим – PhD, ассоциированный профессор, Школа естественных и гуманитарных наук Назарбаев Университета, пр. Кабанбай батыра 53, 010000, Астана, Казахстан.

Жанасова Куралай – PhD, постдокторант, старший преподаватель кафедры биотехнологии и микробиологии, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, 010000, Астана, Казахстан.

Мырзабаева Малика – PhD, ассоциированный профессор, Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфулина, 010011, Астана, Казахстан.

Бейсекова Молдир – магистр технических наук, постдокторант, старший преподаватель кафедры биотехнологии и микробиологии, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Кажымукан 13, 010000, Астана, Казахстан.

Бектурова Асемгуль – кандидат биологических наук, и.о. доцента кафедры биотехнологии и микробиологии, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Кажымукан 13, 010000, Астана, Казахстан.

Нурбекова Жадырасын – PhD, и.о. доцента кафедры биотехнологии и микробиологии, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Кажымукан 13, 010000, Астана, Казахстан.

Масалимов Жаксылык – автор-корреспондент, кандидат биологических наук, PhD, ассоциированный профессор, заведующий кафедрой биотехнологии и микробиологии, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Кажымукан 13, 010000, Астана, Казахстан.

Курманбаева Асылай – автор-корреспондент, PhD, ассоциированный профессор кафедры биотехнологии и микробиологии, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Кажымукан 13, 010000, Астана, Казахстан.

Авторлар туралы мәліметтер:

Самат Абай – жаратылыстану ғылымдарының магистрі, жалпы биология және геномика кафедрасының PhD студенті, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қажымұқан 13, 010000, Астана, Қазақстан.

Бекболат Бейбит – Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, биотехнология және микробиология кафедрасының студенті, Қажымұқан 13, 010000, Астана, Қазақстан.

Солтабаева Айгерим – PhD, докторант, ғылым және гуманитарлық ғылымдар мектебінің ассоциирленген профессоры, Назарбаев Университеті, Қабанбай батыр даңғылы 53, 010000, Астана, Қазақстан.

Жанасова Куралай – PhD, постдокторант, биотехнология және микробиология кафедрасының аға оқытушысы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қажымұқан 13, 010000, Астана, Қазақстан.

Мырзабаева Малика – PhD, С. Сейфулин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің ассоциирленген профессоры, Жеңіс даңғылы 62, 010011, Астана, Қазақстан.

Бейсекова Молдір – техника ғылымдарының магистрі, постдокторант, биотехнология және микробиология кафедрасының аға оқытушысы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қажымұқан 13, 010000, Астана, Қазақстан.

Бектұрова Асемгуль – биология ғылымдарының кандидаты, биотехнология және микробиология кафедрасының доцент м.а., Л.Н. атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қажымұқан 13, 010000, Астана, Қазақстан.

Нұрбекова Жадырасын – PhD, биотехнология және микробиология кафедрасының доцент м.а., Л.Н. атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қажымұқан 13, 010000, Астана, Қазақстан.

Масалимов Жаксылық – хат-хабар авторы, биология ғылымдарының кандидаты, PhD, биотехнология және микробиология кафедрасының меңгерушісі, қауымдастырылған профессор, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қажымұқан 13, 010000, Астана, Қазақстан.

Қурманбаева Асылай – хат-хабар авторы, PhD, биотехнология және микробиология кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қажымұқан 13, 010000, Астана, Қазақстан.

Authors' information:

Samat Abay – MSc, PhD student, Department of General Biology and Genomics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhymukan 13, 010000, Astana, Kazakhstan.

Bekbolat Beybit – student of the biotechnology and microbiology department, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhymukan 13, 010000, Astana, Kazakhstan.

Soltabayeva Aigerim – Ph.D, associate professor, postdoctoral scholar, School of Science and Humanities, Nazarbayev University, Kabanbay Batyr Ave. 53, 010000, Astana, Kazakhstan.

Zhanassova Kuralay – PhD, postdoctoral student, senior lecturer, Department of Biotechnology and Microbiology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhymukan 13, 010000, Astana, Kazakhstan.

Myrzabayeva Malika – Ph.D, associate professor, S. Seiffulin Kazakh agrotechnical research university, Zhenis avenue 62, 010011, Astana, Kazakhstan.

Beisekova Moldir – MSc, postdoctoral student, senior lecturer, Department of Biotechnology and Microbiology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhymukan 13, 010000, Astana, Kazakhstan.

Bekturova Asemgul – PhD, Associate Professor, Department of Biotechnology and Microbiology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 010000, Astana, Kazakhstan.

Nurbekova Zhadyrassyn – PhD, Associate Professor, Department of Biotechnology and Microbiology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 010000, Astana, Kazakhstan.

Masalimov Zhaksylyk – Corresponding author, candidate of biological sciences, PhD, Associate Professor, head of the department of biotechnology and microbiology of the L.N. Gumilyov Eurasian National University, 010000, Astana, Kazakhstan.

Kurmanbayeva Assylay – Corresponding author, PhD, Associate Professor, Department of Biotechnology and Microbiology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 010000, Astana, Kazakhstan.



ХҒТАР 34.31.27

<https://doi.org/10.32523/2616-7034-2025-151-2-93-110>

Ғылыми мақала

Лерха жусан-еркек бидайық (*Agropyron sibiricum*, *Artemisia lerchiana*) қауымдастығындағы органикалық заттардың қор динамикасы

Д.Т. Утеулиева^{*1}, Ж.М. Ихласова¹, А.С. Бисенгазиева¹, С.Н. Бохорова¹,
Ә.Д. Құрмекеш¹, А.У. Туякбаева², С.М. Хан³

¹М. Өтемісов атындағы Батыс Қазақстан университеті, Орал, Қазақстан

²Л.Н. Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

³Куэйд-и-Азам университеті, Исламабад, Пакистан

*хат-хабар авторы: d_uteulieva@mail.ru

Аңдатпа. Мақалада Лерха жусан-еркек бидайық (*Agropyron sibiricum*, *Artemisia lerchiana*) қауымдастығының шала шайылған, ауыр саздақты қара-қоңыр топырағы, оның флорасы, органикалық заттардың қор динамикасы зерттелді. Бұл зерттеу жұмыстары Л.Е. Родин, Н.И. Базилевич, Н.П. Ремезов еңбектеріндегі әдістер бойынша зерттеулер жүргізілді. Топырағының морфологиялық белгілерін, қара шірік мөлшері, химиялық құрамы қарастырылды. Лерха жусанды-еркек бидайық (*Artemisia lerchiana*, *Agropyron sibiricum*) қауымдастығының флорасы бойынша, түр саны-29. Проективті жамылғысы 50-60%, шынайы жамылғысы-40-45%. Өсімдіктер қауымдастықтары қоршаған орта факторларының әсерінен өзгеріске түсіп, түр алуандылығы азаяды, биологиялық өнімділік төмендейді, химиялық элементтердің айналымы өзгеріп, мал азықтық маңызы бар өсімдіктерді арам шөптер алмастыруда. Жүргізілген зерттеулер жайылымның өнімділігін анықтауға, өсімдік және топырақ жамылғысының қазіргі жағдайының бағасын, антропогенді өзгерістердің деңгейін анықтауға және өсімдік қауымдастықтарының биологиялық әртүрлілікті сақтау шараларын ұйымдастыруға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: флора, жасыл масса (G), құраған бөлім (D), төсеніш (L), тірі тамыр (R), өлі тамыр (V), өнімділік-деструкциялық процесс

Кіріспе

Көпжылдық өсімдіктер – бұл құнды дақылдар, олардың құрамында ақуыздар, көмірсулар, талшықтар, жануарлардың қалыпты өсуі мен дамуына қажетті түрлі дәрумендер мен минералдар бар. Толық жемшөп өндіру үшін лерха немесе ақ жусанның рөлі зор, бұл күзгі-қысқы кезеңде қолданылатын құнды жемдік жайылымдық өсімдік. Ақ жусанның құрамында биологиялық құндылығы жоғары әрі жануарлар ағзасына тиімді сіңетін ақуыз мөлшері көп, сонымен қатар, паразиттерге қарсы, қабынуды басатын, өт

Түсті: 29.05.2025. Қабылданды: 24.06.2025. Онлайн қол жетімді: 04.07.2025

жүргізетін, антисептикалық әсерлері бар [1,2]. Көпжылдық шөптерден тұрақты жем өндірісін ұлғайту олардың агроэкологиялық аудандастырылуын және оларды өсірудің ең қолайлы аймақтарындағы технологияларды нақтылауды талап етеді [3].

Жалпы алғанда, жоғары өнімді экологиялық пластикалық біржылдық және көпжылдық шөптердің оңтайлы арақатынасы топырақ құнарлылығын сақтаудың, сондай-ақ құрғақшылықпен, су және жел эрозиясымен күресудің, биотикалық және абиотикалық стресстен қорғаудың негізгі құралы бола отырып, 1 га жем-шөп алқаптарының өнімділігін орта есеппен 23-26% - ға арттыруға мүмкіндік береді [4], осылайша климаттың өзгеруінің теріс әсерін азайтуға мүмкіндік береді [5]. Энергия шығыны төмен жоғары өнімді және сапалы өсімдік биомассасын алу үшін таңдалған жем-шөп дақылдарының экономикалық және экологиялық тиімділігі оларды өсірудің ғылыми негізделген технологиясына, яғни сыртқы ортаның табиғи және агротехникалық факторлары есебінен өсімдіктердің бейімделу реакцияларын реттеудің барлық факторларын пайдалануға байланысты [6,7].

Зерттелген аймақ Солтүстік Каспий маңы Батыс-Қазақстан облысы деп аталатын, Каспий маңы тектоникалық шұңқырының солтүстік бөлігінде орналасқан. Батыс Қазақстан облысының территориясы Шығыс Еуропа жазықтығының жалғасы. Сондықтан жер бедері негізінен жазық болып келеді. Оның солтүстігі мен шығыс бөлігінде онша биік емес қыраттар кездеседі. Жер бедері бірнеше өзен аңғарларымен тілімделген. Осы жерден ағып өтетін Утва және Елек өзендерінің негізгі су айрықтарын құрайды.

Зерттелетін аймақ Кальминовск жырасы бұйратты-жазықты қоңыржай құрғақ дала Батыс Қазақстан облысының Шелек ауданына, Елек аңғарына еңкіш тартқан Орал маңы үстіртінің солтүстік-шығыс бөлігіне жатады. Облыстағы Кальминовск жырасының маңындағы қара-қоңыр топырақта өскен лерха жусанды-еркек бидайық (*Artemisia lerchiana*, *Agropyron sibiricum*) қауымдастығы зерттелінді.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Өсімдіктердің тығыздығы төртбұрышты жақтауларды (0,25 м²) салу арқылы, толық өркен жаю кезеңінде, толық өсу кезеңінде және шөпті шабу алдында тең қашықтықта учаскенің диагоналі бойынша 2 сабақтас емес тәжірибе қайталануымен белгіленді [8,9].

Қыстағаннан кейін көпжылдық өсімдіктердің сақталуы (өсімдіктердің қыстауы) көктемде өсіп шыққан немесе қалыптасқан өсімдіктерге қатысты қыстауға кетер алдында өсімдіктердің санын санау арқылы анықталды (%-бен) барлық учаске алаңында 2 сабақтас емес тәжірибелер қайталанды [10].

Егістіктердегі өсу динамикасын белгілеу үшін 2 аралас емес тәжірибе қайталануында учаскенің диагоналі бойынша зерттелген өсімдіктердің 10 өсімдігінің биіктігі өлшенді.

Зерттелген аймақтағы лерха жусанды-еркек бидайық (*Artemisia lerchiana*, *Agropyron sibiricum*) қауымдастығы құрылымы өсімдіктердің сабақтарының, жапырақтарының және жапырақтануының массасын анықтай отырып, салмақ әдісімен белгіленді [11].

Жасыл массаның өнімділігі дақылдарды үздіксіз есепке алу әдісімен анықталды [12,13]. Абсолютті құрғақ заттың құрамы 1 кг орташа сынаманы іріктеу арқылы (ол кемінде 20 нүктеден алынған жеке сынамалардан тұрады), содан кейін 105°C температурада кептіру шкафында орташа сынамадан 30-100 г аспаны тұрақты массаға дейін кептіру арқылы белгіленді [14].

Қабылданған әдістемелер мен МЕМСТ-тарды пайдалана отырып, далалық тәжірибелерде:

- өсімдік жамылғысының көрсеткіштері: проективті жабын, түр құрамы, биіктігі, өнімділігі;

- топырақ көрсеткіштері: топырақтың тығыздығы (Качинский цилиндрлерін пайдалана отырып дала жағдайында белгіленген), мөлшері 10-0,25 мм агрономиялық құнды құрылымдық агрегаттардың құрамы (зертханалық жағдайда іріктелген үлгілерді құрғақ себу әдісімен жайылымдарда), топырақтың гранулометриялық құрамы (Качинский әдістемесі бойынша), гумус (ГОСТ 26213-91), нитратты азот (МЕМСТ 26951-86), жылжымалы фосфор (МЕМСТ 26205-91), алмасу негіздері (МЕМСТ 17.4.4.01-84), оның ішінде алмасатын натрий (МЕМСТ 26950-86), тұздану түрі (Н.И. Базилевич және Е.Н. Панкова), термостат-салмақ әдісімен топырақтың ылғалдылығы өлшенді [6].

ҚР АШМ 27.04.2017 ж. №185 бұйрығына сәйкес жер жамылғысының тозу дәрежесі индикаторлар негізінде белгіленді.

Өсімдік жамылғысы бетінің ландшафттық ерекшеліктері объектілерді тахеометриялық түсіру, профильдерді тегістеу нәтижелері бойынша бағаланды. Ғылыми деректердің дұрыстығын бағалау дисперсиялық талдау әдісімен статистикалық өңдеу арқылы жүргізілді [15].

Өсімдіктер қауымдастықтарындағы органикалық қор заттарының динамикасы Л.Е. Родин, Н.И. Базилевич, Н.П. Ремезов еңбектеріндегі әдістер бойынша зерттеулер жүргізілді [1,6,7].

Биогеоценоздағы маңызына баға беру үшін жер үсті жасыл масса (G), қураған бөлім (D), төсеніш (L), тірі (R) және өлі (V) тамырдың органикалық қор заттарының динамикасы анықталды [5-11]. Жер беті және жер асты сферасындағы тірі, өлі органикалық заттар қорының динамикасы теңестіру баланс жүйесін қолдана минимальды баға әдісі арқылы зерттеулер материалдары бойынша туындады [16-18].

Жүргізілген зерттеулер жайылымның өнімділігін анықтауға, өсімдік және топырақ жамылғысының қазіргі жағдайының бағасын беруге, антропогенді өзгерістердің деңгейін анықтауға ықтималдық береді.

Нәтижелер

Зерттелінген Кальминовск жырасындағы лерха-жусанды-еркек бидайық (*Agropyron sibiricum*, *Artemisia lerchiana*) қауымдастығының (Сурет 1) шала шайылған, ауыр саздақ қара-қоңыр топырағының морфологиялық белгілерін қарастырдық.



Сурет 1. Лерха жусанды-еркек бидайық (*Artemisia lerchiana*, *Agropyron sibiricum*) қауымдастығы

А горизонты: Қалыңдығы 0-ден 21 см-ге дейін, түсі қара-қоңыр, шаңды- түйірлі, құрылымы ауыр саздақ, тығыздау, тамырларының кездесуі жиі, келесі горизонтқа біртіндеп өткен.

В горизонты: Қалыңдығы 21-ден 36 см-ге дейін, түсі күрең-қара-қоңыр, жаңғақты- түйірлі, құрылымы орташа саздақ, тығыз, жаңа түзілістер карбонаттар ақ дақ түрінде көрінеді, келесі қабатқа біртіндеп өткен.

ВС горизонты: Қалыңдығы 36-дан 67-см-ге дейін, түсі ақ дақты сары- қоңыр, өте тығыз, ауыр саздақ.

С горизонты: Қалыңдығы 67-ден 113 см-ге дейін, түсі сарғыш, ақ дақтары бар, ауыр саздақ.

Кесте 1

Қара-қоңыр топырақтың сулы сығындысы

Горизонт қалыңдығы см	рН	Жалпы сілтілігі НСО ₃	Мг-экв/100 г топырақта.					
			С1	so ₄ ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
А 0-21	8,4	1,15	0,047	0,0064	0,848	0,887	1,01	0,438
В 21-36	8,4	0,70	0,041	0,0192	0,735	0,251	0,784	1,014
ВС 36-67	8,4	0,30	0,038	–	0,593	0,162	0,738	0,876

1-кестеде жайылымдарды пайдалану тәсілдеріне байланысты 0-67 см қабаттағы топырақтың агрохимиялық және агрофизикалық көрсеткіштері көрсетілген. Топырақтың сулы сығындысы бойынша ортасы (рН) барлық профилде сілтілі, жалпы сілтілік

жоғары, сортаңдануы әлсіз сульфатты-хлорлы. Профильдің – жоғарғы бөлігінде натрий мөлшері көп, бұл өсімдік қауымдастығында *Artemisia lerchiana* басым болса керек [12]. Натрий және магний иондарының мөлшері кальций ионының мөлшерінен артық, ол қара шірікті горизонттың бұзылуына әсер етеді.

Қара шірік мөлшері (Кесте 2) аз, себебі жоғарғы бөлімі А горизонты шамалы шайылған, магний ионынан кальций ионының артығырақ болуы, топырақ жамылғысының даму эволюциялық үрдісі далалық топырақтың басымдылығын көрсетеді [13]. ВС қабатындағы фосфор мөлшерінің көп болуы, аналық жыныс саздақ осы элементпен байытылғанын көрсетеді.

Кесте 2

Қара-қоңыр топырақтың химиялық құрамы

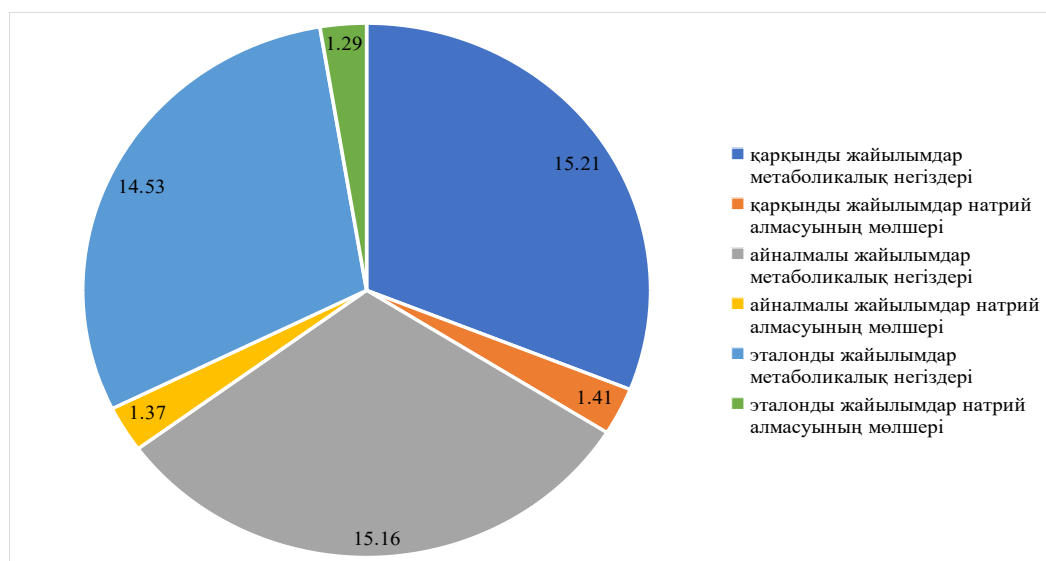
Горизонт қалыңдығы см.	Тюрин бойынша қарашірік %	N %	P %	Сіңірілген негіздің мөлшері мг-экв/100 г топырақта.		
				Ca ²⁺	Mg ²⁺	Барлығы
A 0-21	4,06	0,25	0,14	15,4	8,62	24,02
B 21-36	2,64	0,11	0,122	7,2	2,64	19,84
BC 36-67	2,09	0,09	0,259	10,08	2,34	12,42

Жайылымдағы жануарларды жаю тәсілі де топырақтағы жылжымалы фосфордың құрамына әсер етті. Жануарлардың қарқынды жайылымы бар жайылымдарда жылжымалы фосфордың мөлшері *-0,62 мг/100 г болды, бұл эталондық учаскеге қарағанда 0,45 мг/100 г аз.

Осы зерттеулердің лерха жусанды-еркек бидайық (*Artemisia lerchiana*, *Agropyron sibiricum*) қауымдастығы жайылымдарында жануарлардың айналмалы жайылымын пайдалану топырақтағы метаболикалық негіздер мен натрий алмасуының шамалы өсуіне ықпал етті.

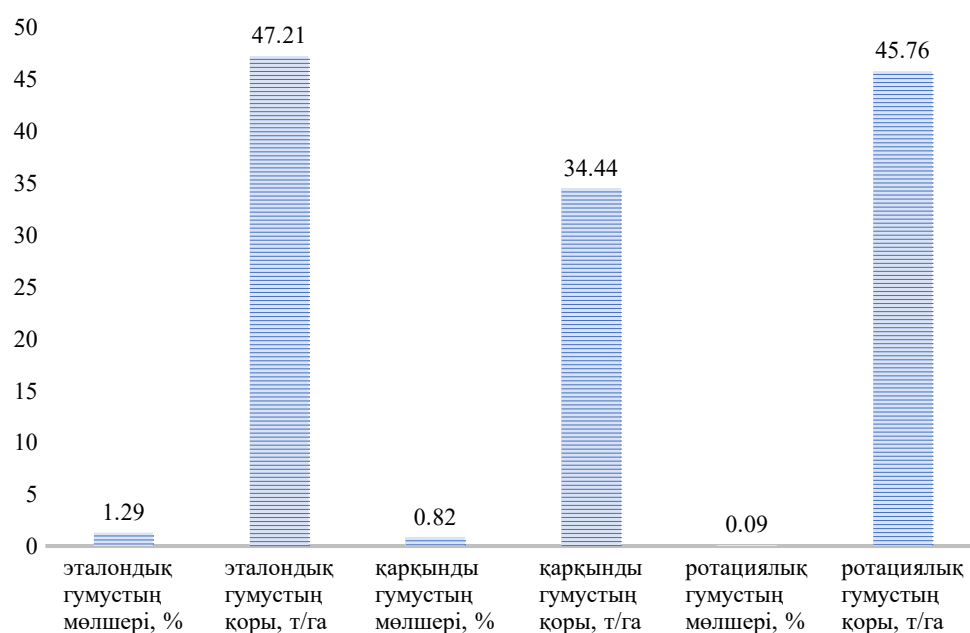
Сонымен, лерха жусанды-еркек бидайық (*Artemisia lerchiana*, *Agropyron sibiricum*) қауымдастығының қарқынды жайылымдарында метаболикалық негіздері мен натрий алмасуының мөлшері – 15,21 мг. экв/100г және 1,41 мг. экв/100г, айналмалы жайылымдарында – 15,16 мг. экв/100г және 1,37 мг. экв/100г құрады, ал эталондық учаскеде топырақтың аздап тұздалған дәрежесі бар, метаболикалық алмасу негіздерінің мөлшері – 14,53 мг. экв / 100г, ал метаболикалық алмасу натрийі – 1,29 мг. экв / 100г (Сурет 2).

Метаболикалық негіздер мен метаболикалық натрийдің құрамындағы бұл айырмашылық тұздану дәрежесінің өзгеруіне әсер еткен жоқ. Сонымен қатар, бақылау нұсқасында жануарлардың қарқынды жайылымын пайдалану тұздылықтың аздап тұздан орташа тұзға дейін өзгеруіне ықпал етті.



Сурет 2. Жайылым түріне қарай метаболикалық негіздер мен натрийдің құрамындағы айырмашылықтар, мг. экв/100г

Талдау нәтижелеріне сәйкес эталондық анықтамалық учаскедегі гумустың мөлшері 1,29% құрайды, 0-30 см қабатындағы гумустың қоры 47,21 т/га құрайды. Жайылымды қарқынды пайдаланған кезде гумустың құрамы мен қоры айтарлықтай төмендеп, сәйкесінше 0,82% және 34,44 т/га құрады. Жайылымдарды айналмалы (ротациялық) пайдалану осы көрсеткіштерге эталондық учаскемен салыстырғанда шамалы әсер еткендігін көрсетеді, сондықтан ротациялық жайылымдарда гумусты қарашірік мөлшері 0,09% - ға, ал гумустың қоры сәйкесінше 45,76 т/га құрады (Сурет 3).



Сурет 3. Жайылым түріне қарай гумус қоры мен мөлшерінің көрсеткіштері

Осылайша, эталондық учаскесі бар қарқынды жайылымдағы жайылымдардағы гумустың құрамындағы айырмашылық деградацияның 2 дәрежесіне сәйкес келеді, ал айналмалы жайылымдардағы гумустың минималды төмендеуі осы көрсеткіш бойынша жайылымдардың деградациясының жоқтығын көрсетеді.

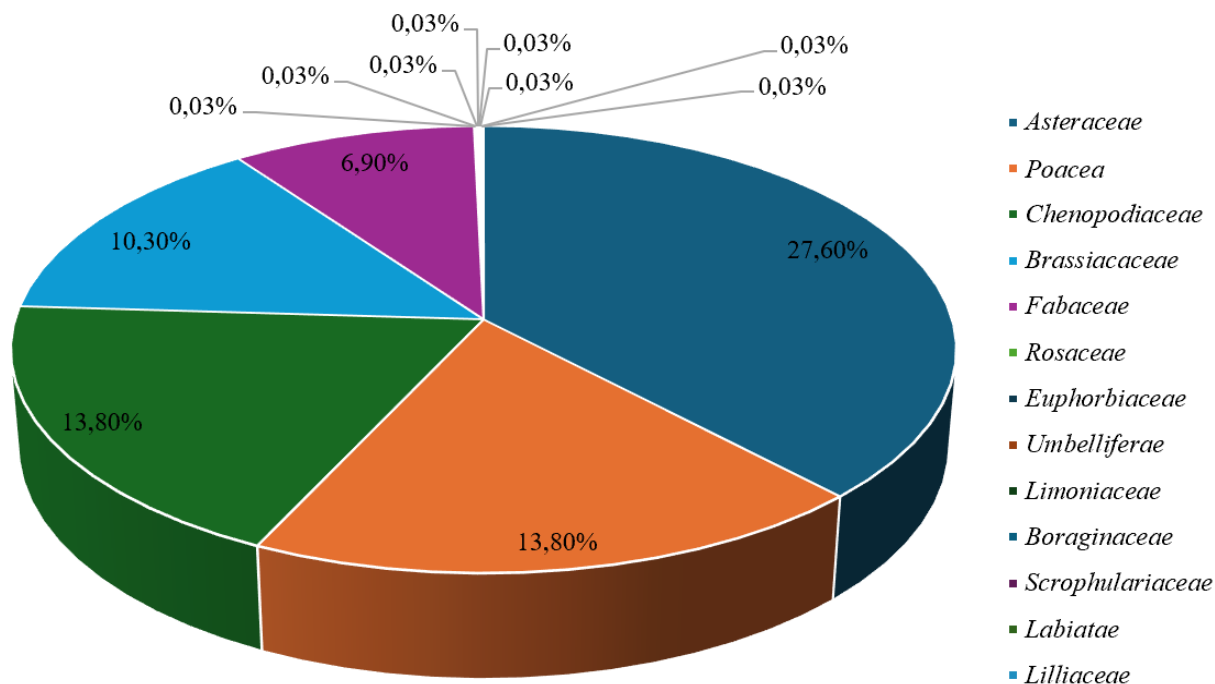
Топырақ тығыздығының көрсеткіштері ауылшаруашылық жануарларын жаю әдісіне байланысты да өзгеріске ұшырады. Анықтамалық учаскеде топырақ тығыздығы 1,22 г/см³ болғанда, зерттеудің бақылау нұсқасында қарқынды жайылымды пайдалану тығыздықтың 15,57%-ға артуына әкеліп соқты, бұл 1,41 г / см³ құрады, бұл деградацияның 3 дәрежесіне сәйкес келеді. 2,46%-ға және 0,82%-ға лерха жусанды-еркек бидайық (*Artemisia lerchiana*, *Agropyron sibiricum*) қауымдастығының жайылымдарында айналмалы әдісті пайдаланған кезде топырақ тығыздығы өсті, бұл өзгерістер топырақтың деградациясының жоқтығын көрсетеді [19].

Анықтамалық учаскедегі агрономиялық құнды құрылымдық агрегаттардың мазмұны 75,05% құрады, бұл – "жақсы" градация дәрежесіне сәйкес келеді, құрылымдық коэффициент "жақсы" бағасына сәйкес келетін – 3,14 құрады. Қарқынды жайылымды пайдалана отырып, бақылау нұсқасының жайылымдарында агрономиялық құнды құрылымдық агрегаттардың мазмұны 52,67% - ға дейін төмендеді, демек, құрылымдылық коэффициенті 1,223-ке дейін төмендеді, бұл көрсеткіштер "қанағаттанарлық" бағаға сәйкес келеді. Жайылымдарды айналмалы пайдалану агрономиялық құнды құрылымдық агрегаттардың мазмұнына да әсер етті, бірақ бақылау нұсқасынан айырмашылығы, айналмалы жайылымдарындағы градация дәрежесі "жақсы" болды және сәйкесінше 68,17% құрады. Бұл ретте айналмалы жайылымдарындағы құрылымдылық коэффициенті 2,03 құрады, бұл екі нұсқада да эталондық учаскедегідей "жақсы" бағасына сәйкес келеді [20,21]. Лерха жусанды-еркек бидайық (*Artemisia lerchiana*, *Agropyron sibiricum*) қауымдастығындағы өсімдіктердің түр саны-29.

Проективті жамылғысы 50-60%, шынайы жамылғысы – 40-45%. *Asteraceae* тұқымдасының үлесіне 8 түр (27,6%), *Poaceae*-4 (13,8%), *Chenopodiaceae*-4, *Brassicaceae*-3 (10,3%), *Fabaceae*-2 (6,9%), ал *Rosaceae*, *Euphorbiaceae*, *Umbelliferae*, *Limoniaceae*, *Boraginaceae*, *Scrophulariaceae*, *Labiatae*, *Lilliaceae* тұқымдастарына бір түрден тиеді (сурет 4). 1 кв.м.-дегі түр саны – 5-10. Бұл қауымдастықтың шөп бітіктігі үш қабатты [22,23].

Зерттеу нұсқасында – айналмалы жайылымдарда шөптердің саны 9% деңгейінде болды, оның ішінде арамшөптер мен улы өсімдіктердің аз мөлшері кездесті, олардың үлесі 1% құрады. Зерттеудің қарқынды жайылым нұсқасында әртүрлі шөптердің үлесі сәл үлкен болды және сәйкесінше 11% құрады. Алайда, жайылымдарды қарқынды пайдалану кезінде арамшөптер мен улы өсімдіктердің саны 6% құрады.

Жалпы шөптің құрамындағы *Agropyron sibiricum* үлесі жайылымдарға жүктеме сипатына да байланысты болды. Осылайша, бақылау нұсқасының жайылымдарында жануарларды қарқынды жаю жалпы проективті жабынның құрамындағы еркек бидайықтың үлесіне теріс әсер етті және тек 5% құрады. *Agropyron sibiricum* ең жоғары мөлшері-43%, айналмалы жайылымдық жайылымдарда тіркелді.



Сурет 4. Лерха жусанды-еркек бидайық (*Artemisia lerchiana*, *Agropyron sibiricum*) қауымдастығының флора құрамы

Фитоценоздардың 15-тен 11%-на дейін жайылымдарды *Artemisia lerchiana* лерха жусаны алып жатты. Өсімдіктердің осы шаруашылық-ботаникалық тобының ең жоғары мөлшері – 15% – қарқынды жайылымдық жайылымдарда өсті. Ал, айналмалы жайылымдарында аз жүктемемен *Artemisia lerchiana* лерха жусанның үлесі сәйкесінше 11% деңгейінде болды (Кесте 3).

Кесте 3

2024 жылдың көктемгі кезеңінде лерха жусанды-еркек бидайық (*Artemisia lerchiana*, *Agropyron sibiricum*) қауымдастығының жалпы проективтік жабындыларының (ЖПП) динамикасы, %

Шаруашылық-ботаникалық топтар атауы	Жайылымды пайдалану нұсқасы	
	Қарқынды жайылымдар	Айналмалы жайылымдар
ЖПП, %	39	79
Эфемерлер мен эфемероидтар	8	16
<i>Agropyron sibiricum</i>	5	43
<i>Artemisia lerchiana</i>	15	11
Әртүрлі шөптер	11	9
Оның ішінде улы және арамшөптер	6	1

Қарқынды жайылымдықтарда, көктемгі кезеңде бақыланатын зерттеу нұсқасында *Poaceae* тұқымдасына жататын *Agropyron desertorum*, *Festuca valesiaca*, *Leymus ramosus*, *Koeleria cristata* сияқты құнды жемдік өсімдіктер болмаған. Эфемерлерден ауылшаруашылық жануарларының барлық түрлері жақсы жейтін *Liliaceae* – *Tulipa* тұқымдасына жататын өсімдіктер, сонымен қатар, *Chenopodiaceae* тұқымдасына жататын жоғары ақуызды өсімдік – *Kochia prostrata* кездеспеді.

Көктемде 2022-2024 жылғы зерттеу нұсқасының қарқынды жайылымдарында *Alyssum Turkestanicum*, *Artemisia lerchiana*, *Artemisia austriaca*, *Láppula squarrósa*, *Ceratocarpus arenarius*, *Galium aparine*, *Chenopodium álbum*, *Poa bulbosa*, *Tanacetum achilleifolium*, *Gypsophila paniculata*, *Thláspi arvéne*, *Ritillária*, *Lipidium ptrfoliatum*, *Euphorbia agrarian*, *Anabasis aphylla* сияқты өсімдіктер болды. Сондай-ақ, *Polygonum aviculare*, *Stipa capillata* аз мөлшерде өсімдіктер байқалды. Сирек өсімдіктер – *Alhagi pseudalhagi*, *Xanthium strumarium* және *Datura*.

Бірінші қабат (50-80 см.) лерха жусаны (*Artemisia lerchiana*), еркек бидайығы (*Agropyron sibiricum*), жалпақ көкбас (*Eryngium planum*) және т.б. тұрады.

Екінші қабат (30-50 см.) Австрия жусаны (*Artemisia austriaca*), түйетікен (*Carduus crispus*), күлгін аюқұлақ (*Verbascum phoenecium*) және т.б.

Үшінші қабат (10-30 см.) жуашықты қоңырбас (*Poa bulbosa*), кәріқыз (*Lappula echinala*) және т.б. тұрады.

Зерттелген аймақ флорасының экологиялық топтарына анализ жасағанда флорасының ксерофильді топтың басым екенін анықтады, яғни бұл шөлейттену үрдісін байқатады [18-21].

Бұл қауымдастықтың доминантты түрлері: *Agropyron sibiricum*, *Artemisia lercheana*, жиі кездесетіндері: *Erysimum cheiranthoides*, *Phlomis pungens*, *Crinitaria villosa*, *Astragalus varius* және т.б.

Мамырда жасыл массаның көрсеткіші 2022 ж. -32,97 ц/га, 2023 ж. -32,97 ц/га түзген. Маусымға карай 2022 ж. бұл көрсеткіштер төмендеген (29,12 ц/га), ал 2023 ж. керісінше жоғарылаған (23,17 ц/га).

2022 ж. келесі айларда біртіндеп азайған. 2023 ж. да келесі айларда азайып келе, қыркүйек айында күрт өскен, ауа температурасының төмендеуі мен ылғалдылықтың көбеюі әсер еткен. Жасыл массаның көрсеткіші 2022 ж. мамыр айында (32,97 ц/га), ал 2023 ж. қыркүйек айында (50,92 ц/га) аса жоғары. Екі жылдың тамыз айында (2022 ж. -10,02 ц/га, 2023ж. -11,87 ц/га) жасыл масса мөлшері минимальды мәнге ие болған, яғни тамызда басым түрлердің вегетациялық кезеңінің аяқталуына сәйкес келуіне байланысты (Кесте 4).

Қураған бөлім мөлшерінің ұлғаюы 2022 ж. тамызында (24,3 ц/га), 2023 ж. қыркүйегінде (40,72 ц/га) байқалды. Аз мөлшері 2022 ж. қыркүйегінде (17,15 ц/га), 2023 ж. мамырында (14,22 ц/га) байқалды, ауа температурасының төмендеуі мен минерализация үрдісінің бәсеңдеуі себеп болуы мүмкін. Қураған бөлімнің де, төсеніштің де максимальды көрсеткіші сәйкес.

Кесте 4

Лерха жусан-еркек бидайық қауымдастығының 2022 жыл кезеңі бойынша өнімділігінің негізгі сипаттамасы

Коэффициент	Айлар бойынша орташа, ц/га					
	V	VI	VII	VIII	IX	X
G	32,9±0,1	29,1±1,4	19,3±0,2	10,02±0,1	10,6±1,0	20,42±0,5
D	19,4±0,5	18,1±0,2	23,1±0,7	24,3±0,2	17,1±0,5	20,40±0,1
L	35,3±0,2	30,8±0,4	37,37±0,7	48,6±0,7	39,5±0,7	32,3±0,4
R	0,57±0,4	14,1±0,5	31,0±2,2	40,8±0,1	51,5±0,4	27,6±1,1
V	14,1±2,1	24±1,0	26,0±0,8	60,2±0,4	43,1±0,6	33,5±1,4
D+L	54,7±0,2	48,9±0,9	60,3±0,7	72,9±0,5	56,7±0,2	52,7±0,4
D+L/G	1,6±2,3	1,68±0,6	3,12±0,5	7,28±0,2	5,31±2,5	2,58±0,5
G+D+L	87,7±0,4	78,0±0,6	79,7±0,2	82,97±0,2	67,3±0,9	73,16±2,1
G+R	33,5±0,1	43,2±0,4	50,3±0,7	50,8±1,2	62,2±0,1	48,03±0,7
R+V	14,7±3,1	38,1±0,5	57,0±0,4	101,1±0,8	94,7±0,2	61,12±0,3
R/G	0,01±0,1	0,48±0,4	1,6±0,8	4,07±1,1	4,83±0,7	1,35±0,4
R/V	0,04±0,2	0,59±1,1	1,19±0,2	0,68±0,8	1,19±0,8	0,82±0,8
G+R+D+ L+V	102±0,3	116±0,1	136±0,4	184±0,5	162,1±0,9	134,3±0,2
D+L+V/ G+R	2,0±1,1	1,7±0,7	1,7±0,8	2,6±0,7	1,6±0,5	1,8±1,3

Осы маусым ішіндегі 2023 ж. (49,96 ц/га) тірі тамыр мөлшері 2022 жылмен (27,61 ц/га) салыстырғанда 1,8 рет көп. Тамыр қоры көктем-жаз, жаз, күз маусымдарында өсімдік қауымдастығының дамуы кезінде көбейіп, қыркүйек айында максимальды көрсеткішті көрсеткен (2022ж.-51,54 ц/га; 2023ж.-98,08 ц/га). Ең аз мөлшері екі жылдың да мамыр айларында (Кесте 5) байқалды.

Өлі тамырға келсек, ең жоғары көрсеткіші 2022 ж. тамызында (60,28 ц/га), 2022 ж. қыркүйегінде (56,76 ц/га), ал аз мөлшері 2022 ж. мамыр айында (14,14 ц/га), 2023 ж. маусым айында (18,81 ц/га) байқалды, өсімдіктердің ерте жазда толық өсіп-өніп үлгермеуінің себебіде әсер еткен.

Қураған бөлім мен төсеніштің (D+L) қосындысы 2022 ж.-52,74 ц/га, ал 2023 ж. - 57,04 ц/га. Жер беті мортмассаларының қосындысының жер беті жасыл массасына ара қатынасы (D+L/G) орташа есеппен 2022 ж.-2,58, ал 2023 ж.-2,16, жойылу жылдамдығының артуы мен өсімнің тоқтауын көрсетеді. (G+D+L) жер беті жасыл масса мен жер беті мортмассаның қосындысы 2022 ж.-73,16 ц/га, 2023 ж.-80,67 ц/га.

Тірі және өлі тамырлардың ара қатынасы (R/V) 2022 ж.-0,82, ал 2023 ж.-1,4. Жер асты және жер беті тірі мүшелердің ара қатынасы, яғни экологиялық көрсеткіші (R/G) 2022 ж.-1,35, 2023 ж.-2,11, бұл қауымдастықтың қолайсыз жағдайға бейімделгендігін көрсетеді. Қауымдастықтың тіршілікке икемділігі (D+L+V/G+R) орташа есеппен 2022 ж.- 1,8, 2023 ж.-0,7, 2022 жылы тірі фитомасса дамуы тежелген, ал 2023 жылы қауымдастықтағы түрлер тағы да тіршілікке икемділігін және қолайсыз климаттық жағдайға төзімділік көрсетті.

Кесте 5

Лерха жусан-еркек бидайық қауымдастығының 2023 жыл кезеңі бойынша өнімділігінің негізгі сипаттамасы

Коэффициент	Айлар бойынша орташа, ц/га					
	V	VI	VII	VIII	IX	X
G	19,1±0,6	23,2±1,3	13,1±2,4	11,8±0,7	50,9±2,2	23,6±0,6
D	14,2±2,1	19,6±1,2	27,9±0,4	29,7±2,2	40,7±0,2	26,4±0,8
L	11,2±0,5	19,1±0,1	23,5±0,7	37,8±0,7	61,2±0,7	30,6±0,5
R	29,7±0,8	31,6±0,4	40,1±0,2	50,2±0,3	98,0±2,1	49,9±0,8
V	32,3±1,0	18,8±0,4	25,4±1,3	44,4±0,9	56,7±0,9	35,5±1,6
D+L	25,4±0,8	38,7±0,5	51,4±0,7	67,5±0,8	101±2,1	57,0±0,5
D+L/G	1,33±2,2	1,67±0,3	3,9±0,2	3,69±0,6	2,0±0,4	2,16±0,6
G+D+L	44,5±0,4	61,9±0,7	64,5±0,9	79,4±0,6	152±0,2	80,6±3,1
G+R	48,8±0,5	54,8±0,2	53,2±0,4	62,1±3,1	149±1,4	124±0,7
R+V	62,0±0,2	50,4±1,1	65,5±0,3	94,7±0,2	154±0,6	85,5±0,9
R/G	1,55±0,7	1,37±1,2	3,0±0,5	4,2±0,3	1,92±0,9	2,11±0,4
R/V	0,92±0,8	1,68±0,3	1,5±0,8	1,13±0,1	1,72±0,7	1,4±0,7
G+R+D+ L+V	106±0,1	112±0,5	130±2,0	174±0,9	307±0,3	166±0,4
D+L+V/ G+R	1,18±1,0	1,0±0,8	1,4±0,2	1,8±0,9	1,0±0,8	0,7±0,4

Талқылау

Қазақстанның басқа облыстары сияқты облыс территориясында аймақтық өзгерістердің айқын белгілері және биоклиматтық факторлардың ауысуы байқалады. Топырақ жамылғысының аймағы солтүстіктен оңтүстікке қарай: қара қоңыр және қоңыр топырақ болып өзгеріп отырады. Орал маңы үстірті қара қоңыр топырақта орналасқан. Қара топырақ зонасының оңтүстігінде Жалпы Сырт пен Орал маңы үстіртінің беткі қабаты қара-қоңыр топырақпен жабылған.

Біз зерттеген аймақ маңындағы лерха жусанды-еркек бидайық қауымдастығының құнды жайылым және шабындық болып есептелгенмен, табиғи фитоценозға антропогенді күштің әсерінің ұлғаюы шөптің шабылуынан, тапталуынан тағы сол сияқты факторлардың нәтижесінде бұзылуға әкеп соғып тұр [24-26].

Сонымен қатар құрғақ климатта өз әсерін беріп тұр, деградация үрдісін тудырып, аймағымыздың шөлейттенуіне бір себеп болуда. Қауымдастықтағы өсімдік түрлерінің алуандылығы азайып, құрылымы тұрпайыланып, топырақтың қара шірік мөлшері азайып, тұздардың мөлшері жоғарылауда. Қауымдастықты толық қайта қалпына келтіріп, биологиялық әртүрлілігін сақтау үшін дұрыс қолдана білу керек, жайылымдыққа түсетін күшті азайтуымыз тиіс, шөп шабу кезеңінде маусымына қарай, өсімдіктердің вегетациялық мерзіміне сәйкес дұрыс ұйымдастыра білуіміз керек.

Қорытынды

Бұл өсімдіктер қауымдастықтарында шамадан тыс жемшөп дайындалады, міне сондықтан табиғи жаңару төмендеп, түр құрамы азайып, азықтық өнімділігі төмендейді. Шөп шабуды міндетті түрде мөлшерге лайықты қылып және мерзімін сақтау керек. Табиғи жайылымдарды және шабындықтарды қорғау оларды қайта қалпына келтіруде маңызды. Өнімділігі аз, күшті деградацияға ұшыраған жайылымдарда өсімдіктердің тамырларына жағдай жасау үшін қопсыту жұмыстарын жүргізіп және еркек бидайық, жоңышқа егу керек, сонда табиғи шөптермен жайылымды жүйеге келтіруге болады. Қорық құрып жоғарыда аталған шараларды ұйымдастырып, нәтижесінде лерха жусан-еркек бидайық қауымдастығын қорғауға алуға болады.

Авторлардың үлесі

А.Б., Ж.И., С.Б. – жұмыстың тұжырымдамасы және оны басқару; **Д.У., Ж.И.** – эксперименттер жүргізу; **Ә.Қ.** – зерттеу нәтижелерін талқылау; **Д.У.** – мәтінін жазу; **А.Т.** және **Ш.М.К.** – мақала мәтінін өңдеу.

Мүдделер қақтығысы

Бұл материал бұрын жарияланбаған және басқа баспаларда қаралмағанын мәлімдейміз, сол себепті мүдделер қақтығысы жоқ.

Этикалық нормаларды сақтау

Авторлар орындаған бұл мақалада адамдарды немесе жануарларды объектілер ретінде пайдаланған зерттеулер жоқ.

Әдебиеттер тізімі

1. Bazilevich NI, Titlyanova AA. Comparative studies of ecosystem function. In.: Grasslands, system, analysis and man. London: IBP Publ & Cambridge Univ. press; 1980.
2. Титлянова АА. Построение баланса и изучение обменных процессов химических элементов в травяных биогеоценозах по методу оценки интенсивностей потоков. Методы изучения биологического круговорота в различных природных зонах. Москва: Мысли, 1978.
3. Фартушина ММ. Рекомендации по рациональному использованию и охрана биогеоценоза пустынно-степного комплекса Северного Прикаспия. Уральск, 1984.
4. Бижанова ГК. Сохранение разнообразия псаммофитной растительности и их охрана. Экология и рациональное природопользование на рубежа веков. Итоги и перспективы: матер. межд. конф. -Томск. 2000; 1: 80-81.
5. Титлянова АА, Косых НП, Миронычева-Токарева НП. Подземные органы растений в травяных экосистемах. Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН; 1996.
6. Базилевич НИ. Малый биологический круговорот зольных веществ и азота при лугово-степном и степном почвообразовании. Почвоведение. 1958; 12: 9-27.
7. Родин ЛЕ, Базилевич НИ. О биологической продуктивности растительного покрова. Проблемы современной ботаники. Москва; 1965.

8. Kelley JM, Van Dyne GM, Harris WE. Comparison of three methods of assessing grassland productivity and biomass dynamics. *The Amer Midl Natur.* 1974; 92 (2): 182-191.
9. Мендыбаев ЕХ, Атаева ГМ. Характеристика почвенного покрова степной зоны Северного Прикаспия. *Степи Северной Евразии: матер. V межд. симп. - Оренбург.* 2009:133-136.
10. Mendybayev E. Landscape and geochemical features of man-made pollution zones of Aktobe. *Geochemical researches of region soil with technogenic influence in terms of Borlinskiy region, west Kazakhstan. Oxid Comm.* 2015; 4: 1933-1941.
11. Фартушина ММ. Процессы опустынивания и их индикаторы в Западно-Казахстанской области. *Экосистемы Зап. Казахстана: матер. межд. конф. Ивановские чтения.- Уральск.* 1999; 71-91.
12. Базилевич НИ, Шатохина НГ. Опыт определение продукции подземной массы в фитоценозе луговой степи. В кн.: *Структура, функционирование и эволюция системы биогеоценозов Барабы.* Новосибирск: Наука; 1976.
13. Reuss IO, Innis GS. A grassland nitrogen flow simulation model. *Ecol.* 1977; 2: 379-388.
14. Safronova IN. On the zonal division of the vegetation cover in the Volga-Ural interfluvium. *Bot J.* 1975; 60: 823-831.
15. Kamelin RV. Vegetation types: phytocenogenesis, florocenotypes, higher synanthrons of other vegetation classifications. *Bot J.* 2013; 5: 553-567.
16. Darbayeva TE, Ramazanov NY. Chalk hills of northwest Kazakhstan as biodiversity refugia. *Bull Eur Dry Grassl Gr.* 2012; 17: 15-18.
17. Petersen HI, Blinkenberg KH, Anderskov K, et al. Spatial distribution of remaining movable and non-movable oil fractions in a depleted Maastrichtian chalk reservoir, Danish North Sea: Implications for CO₂ storage. *Int J Coal Geol.* 2025; 295:104. doi.org/10.1016/j.coal.2024.104624
18. Halim A, Shapiro A, Lantz AE, Nielsen SM. Experimental Study of Bacterial Penetration into Chalk Rock: Mechanisms and Effect on Permeability. *Transp Por Med.* 2014; 101 (1):1-15. doi.org/10.1007/s11242-013-0227-x
19. Fuentes-Bazan S, Uotila P, Borsch T. A novel phylogeny-based generic classification for *Chenopodium* sensu lato, and a tribal rearrangement of *Chenopodioideae* (*Chenopodiaceae*). *Willdenowia.* 2012; 42 (1): 47. dx.doi.org/10.3372/wi.42.42101
20. Joa B, Winkel G, Primmer E. The unknown known—A review of local ecological knowledge in relation to forest biodiversity conservation. *Land Use Pol.* 2018; 79: 520-530. doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.09.001
21. Safronova IN. On the zonal division of the vegetation cover in the Volga-Ural interfluvium. *Bot J.* 1975; 60: 823-31.
22. Darbayeva TY, Alzhanova BS, Sarsenova AN, et al. Taxonomic diversity of partial flora found on chalk hills in North-Western Kazakhstan. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* 2021; 817(1):12-26. doi.org/10.1088/1755-1315/817/1/012026
23. Karynbayev A, Nasiyev B, Zharylkasyn K, et al. Development of a Methodology for Determining the Nutritional Value of Pasture Feed Considering the Fractions of Easily Digestible Carbohydrates in the Desert Zone of Southern Kazakhstan. *J Biol Sci.* 2023; 23 (4): 458-69. doi.org/10.3844/ojbsci.2023.458.469

24. Aipeisova S, Utarbayaeva N, Kazkeev E, et al. Species diversity and structure of the saxicolous floral complex in the Aktobe floristic district. *Sabrao J of Breed & Genet.*2023; 55 (5):1486-95. doi.org/10.54910/sabrao2023.55.5.4

25. Aipeisova S, Utarbayaeva N, Kazkeyev Y, et al. Species diversity of the Chenopodiaceae Vent. family in the flora of the Aktobe floristic district (Kazakhstan). *Pak J Bot.* 2025; 57(2): 661–65. doi.org/10.30848/PJB2025-2(35)

26. Mukhambetov B, Nasiyev B, Abdinov R, et al. Influence of soil and climatic conditions on the chemical composition and nutritional value of *Kochia prostrata* feed in the arid zone of Western Kazakhstan. *Casp J Env Sci.* 2023; 21 (4): 853-63. doi.org/10.22124/CJES.2023.7134

Динамика запасов органического вещества в лерхополынно-житняковом (*Artemisia lerchiana*, *Agropyron sibiricum*) сообществе

**Д.Т. Утеулиева¹, Ж.М. Ихласова¹, А.С. Бисенгазиева¹, С.Н. Бохорова¹,
А.Д. Курмекеш¹, А.У. Туякбаева², Ш.М. Хан³**

¹Западно-Казахстанский университет имени М. Утемисова, Уральск, Казахстан

²Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

³Университет Куэйд-и-Азам, Исламабад, Пакистан

Аннотация. В статье представлены результаты исследования лерхополынно-житнякового сообщества (*Artemisia lerchiana*, *Agropyron sibiricum*), которые произрастают на слабо промывных тяжелосуглинистых темно-каштановых почвах. Описывается флористический состав и динамика запасов органического вещества изучаемого сообщества. Исследовательская работа выполнена по методике Л.Е.Родина, Н.И.Базилевича, Н.П.Ремезова. Изучены морфологические признаки, содержание органического вещества и химический состав почвы растительного сообщества. В составе флоры лерхополынно-житнякового сообщества (*Artemisia lerchiana*, *Agropyron sibiricum*) отмечено 29 видов. Проективное покрытие составляет 50-60%, истинное покрытие – 40-45%. Растительное сообщество под влиянием факторов среды подвергается трансформации, которое выражается в уменьшении видового разнообразия, снижении биологической продуктивности, изменении круговорота химических элементов и заменой ценных кормовых видов на сорные. Проведенные исследования имеют практическую значимость и могут применяться при оценке продуктивности пастбищ, оценке современного состояния растительного и почвенного покрова, определения уровня антропогенного влияния и в организации работ по сохранению биологического разнообразия растительных сообществ.

Ключевые слова: флора, зеленая масса (G), мортмасса (D), подстилка (L), живые корни (R), мертвые корни (V), продукционно-деструкционный процесс

Dynamics of organic matter reserves in the lerh wormwood–wheatgrass (*Artemisia lerchiana*, *Agropyron sibiricum*) community

D.T. Uteulieva*¹, Zh.M. Ikhlasova¹, A.S. Bisengazieva¹, S.N. Bokhorova¹,

A.D. Kurmekesh¹, A.U. Tuyakbayeva², S.M. Khan³

¹M. Utemisov West Kazakhstan University, Ural, Kazakhstan

²L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

³Quaid-i-Azam University, Islamabad, Pakistan

Abstract. The article presents the results of a study of the lerh wormwood–wheatgrass community (*Artemisia lerchiana*, *Agropyron sibiricum*), which grows on poorly washed heavy loamy dark brown soils. The floral composition and dynamics of organic matter reserves of the studied community are described. The research work was carried out according to the methodology of L.E.Rodin, N.I.Bazilevich, N.P.Remezov. Morphological features, the content of organic matter and the chemical composition of the soil of the plant community have been studied. There are 29 species in the flora of the lerh wormwood–wheatgrass community (*Artemisia lerchiana*, *Agropyron sibiricum*). The projective coverage is 50-60%, and the true coverage is 40-45%. The plant community under the influence of environmental factors undergoes transformation, which is expressed in a decrease in species diversity, a decrease in biological productivity, a change in the cycle of chemical elements and the replacement of valuable forage species with weeds. The conducted research has practical benefits and can be used in assessing the productivity of pastures, assessing the current state of vegetation and soil cover, determining the level of anthropogenic influence and in organizing work to preserve the biological diversity of plant communities.

Keywords: flora, green mass (G), mortmass (D), litter (L), living roots (R), dead roots (V), production and destruction process

References

1. Bazilevich NI, Titlyanova AA. Comparative studies of ecosystem function. In.: Grasslands, system, analysis and man. London: IBP Publ & Cambridge Univ. press; 1980.
2. Titlyanova AA. Postroenie balansa i izuchenie obmennyykh processov himicheskikh jelementov v travjanykh biogeocenozaх po metodu ocenki intensivnostej potokov. Metody izuchenija biologicheskogo krugovorota v razlichnykh prirodnykh zonah [Building a balance and studying the metabolic processes of chemical elements in herbal biogeocenoses by the method of estimating the intensity of flows. Methods of studying the biological cycle in various natural zones]. Moscow: Mind, 1978. [in Russian]
3. Fartushina MM. Rekomendacii po racional'nomu ispol'zovaniju i ohrana biogeocenoza pustynno-stepnogo kompleksa Severnogo Prikaspija [Recommendations on the rational use and protection of the biogeocenosis of the desert-steppe complex of the Northern Caspian Sea]. Uralsk, 1984. [in Russian]
4. Bizhanova G.K. // Vol. 1.-Tomsk, 2000- P. 80-81 [in Russian] Bizhanova GK. Sohranenie raznoobrazija psammofitnoj rastitel'nosti i ih ohrana [Preservation of the diversity of psammophytic vegetation and their protection]. Jekologija i racional'noe prirodopol'zovanie na rubezha vekov. Itogi i perspektivy: mater. mezhd. konf. [Mater. inter. conf. "Ecology and rational nature management at the turn of the century: Results and prospects"] -Tomsk. 2000; 1: 80-81. [in Russian]

5. Titljanova AA, Kosyh NP, Mironycheva-Tokareva NP. Podzemnye organy rastenij v travjanyh jekosistemah [Underground organs of plants in grass ecosystems]. Novosibirsk: Science. Siberian Publishing Company of the Russian Academy of Sciences; 1996. [in Russian]
6. Bazilevich NI. Malyj biologicheskij krugovorot zol'nyh veshhestv i azota pri lugovo-stepnoj i stepnom pochvoobrazovanij [Small biological cycle of ash substances and nitrogen in meadow-steppe and steppe soil formations]. Soil science. 1958; 12: 9-27. [in Russian]
7. Rodin LE, Bazilevich NI. Ob biologicheskoy produktivnosti rastitel'nogo pokrova [On biological productivity of vegetation cover]. Problems of modern botany. Moscow; 1965. [in Russian]
8. Kelley JM, Van Dyne GM, Harris WE. Comparison of three methods of assesing grassland productivity and biomass dynamics. The Amer Midl Natur. 1974; 92 (2): 182-191.
9. Mendybaev EH, Ataeva GM. Harakteristika pochvennogo pokrova stepnoj zony Severnogo Prikaspija [Characteristics of the soil cover of the steppe zone of the Northern Caspian Sea]. Stepi Severnoj Evrazii: mater. V mezhd. Simp [Steppes of Northern Eurasia, proceedings of the fifth international symposium]. - Orenburg. 2009:133-136.. [in Russian]
10. Mendybayev E. Landscape and geochemical features of man-made pollution zones of Aktobe Geochemical researches of region soil with technogenic influence in terms of Borlinskiy region, west Kazakhstan. Oxid Comm. 2015; 4: 1933-1941.
11. Fartushina MM. Processy opustynivaniya i ih indikatory v Zapadno - Kazahstanskoj oblasti [Desertification processes and their indicators in the West Kazakhstan region]. Jekosistemy Zapadnogo Kazahstana: mater. mezhd. konf. Ivanovskie chtenija [Ecosystems of the West Kazakhstan. Mater. inter. conf. Ivanovo readings].- Uralsk. 1999; 71-91. [in Russian]
12. Bazilevich NI, Shatohina NG. Opyt opredelenie produkci podzemnoj massy v fitocenoze lugovoj stepi. V kn.: Struktura, funkcionirovanie i jevoljucija sistemy biogeocenzov Baraby [Experience in determining the production of underground mass in the phytocenosis of the meadow steppe. In: Structure, functioning and evolution of the Baraba biogeocenosis system]. Novosibirsk: Science; 1976. [in Russian]
13. Reuss IO, Innis GS. A grassland nitrogen flow simulation model. Ecol. 1977; 2: 379-388.
14. Safronova IN. On the zonal division of the vegetation cover in the Volga-Ural interfluve. Bot J. 1975; 60: 823-831.
15. Kamelin RV. Vegetation types: phylocenogenesis, florocenotypes, higher synthaxons of other vegetation classifications. Bot J. 2013; 5: 553-567.
16. Darbayeva TE, Ramazanova NY. Chalk hills of northwest Kazakhstan as biodiversity refugia. Bull Eur Dry Grassl Gr. 2012; 17: 15-18.
17. Petersen HI, Blinkenberg KH, Anderskov K, et al. Spatial distribution of remaining movable and non-movable oil fractions in a depleted Maastrichtian chalk reservoir, Danish North Sea: Implications for CO2 storage. Int J Coal Geol. 2025; 295:104. doi.org/10.1016/j.coal.2024.104624
18. Halim A, Shapiro A, Lantz AE, Nielsen SM. Experimental Study of Bacterial Penetration into Chalk Rock: Mechanisms and Effect on Permeability. Transp Por Med.2014; 101 (1):1-15. doi.org/10.1007/s11242-013-0227-x
19. Fuentes-Bazan S, Uotila P, Borsch T. A novel phylogeny-based generic classification for Chenopodium sensu lato, and a tribal rearrangement of Chenopodioideae (Chenopodiaceae). Willdenowia. 2012; 42 (1): 47. dx.doi.org/10.3372/wi.42.42101
20. Joa B, Winkel G, Primmer E. The unknown known—A review of local ecological knowledge in relation to forest biodiversity conservation. Land Use Pol. 2018; 79: 520-530. dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.09.001

21. Safronova IN. On the zonal division of the vegetation cover in the Volga-Ural interfluvium. Bot J. 1975; 60: 823-31.
22. Darbayeva TY, Alzhanova BS, Sarsenova AN, et al. Taxonomic diversity of partial flora found on chalk hills in North-Western Kazakhstan. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021; 817(1):12-26. doi.org/10.1088/1755-1315/817/1/012026
23. Karynbayev A, Nasiyev B, Zharylkasyn K, et al. Development of a Methodology for Determining the Nutritional Value of Pasture Feed Considering the Fractions of Easily Digestible Carbohydrates in the Desert Zone of Southern Kazakhstan. J Biol Sci. 2023; 23 (4): 458-69. doi.org/10.3844/ojbsci.2023.458.469
24. Aipeisova S, Utarbayeva N, Kazkeev E, et al. Species diversity and structure of the saxicolous floral complex in the Aktobe floristic district. Sabrao J of Breed & Genet. 2023; 55 (5):1486-95. doi.org/10.54910/sabrao2023.55.5.4
25. Aipeisova S, Utarbayeva N, Kazkeyev Y, et al. Species diversity of the Chenopodiaceae Vent. family in the flora of the Aktobe floristic district (Kazakhstan). Pak J Bot. 2025; 57(2): 661–65. dx.doi.org/10.30848/PJB2025-2(35)
26. Mukhambetov B, Nasiyev B, Abidinov R, et al. Influence of soil and climatic conditions on the chemical composition and nutritional value of Kochia prostrata feed in the arid zone of Western Kazakhstan. Casp J Env Sci. 2023; 21 (4): 853-63. doi.org/10.22124/CJES.2023.7134

Авторлар туралы мәлімет

Утеулиева Дамели Танатаровна – биология ғылымдарының кандидаты, биология және экология кафедрасының доценті, М. Өтемісов атындағы Батыс Қазақстан университеті, Н. Назарбаев даңғылы, 121, 090000, Орал, Қазақстан.

Ихласова Жанар Максutowна – биология және экология кафедрасының аға оқытушысы, М. Өтемісов атындағы Батыс Қазақстан университеті, Н. Назарбаев даңғылы, 121, 090000, Орал, Қазақстан.

Бисенгазиева Айман Сериковна – биология магистрі, биология және экология кафедрасының аға оқытушысы, М. Өтемісов атындағы Батыс Қазақстан университеті, Н. Назарбаев даңғылы, 121, 090000, Орал, Қазақстан.

Бохорова Светлана Николаевна – экология магистрі, биология және экология кафедрасының аға оқытушысы, М. Өтемісов атындағы Батыс Қазақстан университеті, Н. Назарбаев даңғылы, 121, 090000, Орал, Қазақстан.

Құрмекеш Әділет Дәулеткерейұлы – педагогика ғылымдарының магистрі, биология және экология кафедрасының аға оқытушысы, М. Өтемісов атындағы Батыс Қазақстан университеті, Н. Назарбаев даңғылы, 121, 090000, Орал, Қазақстан.

Тұяқбаева Ақмарал Үсерханқызы – биология ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті доцентінің м.а., Сәтбаев, 2, 010008, Астана, Қазақстан.

Шуджаул Мулк Хан – PhD ғылым докторы, Куайд-и-Азам университеті, ботаника кафедрасының қауымдастырылған профессоры, P4XP+46M, 45320, Исламабад, Пәкістан.

Сведения об авторах:

Утеулиева Дамели Танатаровна – кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии и экологии, Западно-Казахстанский университет им. М. Утемисова, проспект Н. Назарбаева, 121, 090000, Уральск, Казахстан.

Ихласова Жанар Максutowна – старший преподаватель кафедры биологии и экологии, Западно-Казахстанский университет им. М. Утемисова, проспект Н. Назарбаева, 121, 090000, Уральск, Казахстан.

Бисенгазиева Айман Сериковна – магистр биологии, старший преподаватель кафедры биологии и экологии, Западно-Казахстанский университет им. М. Утемисова, проспект Н. Назарбаева, 121, 090000, Уральск, Казахстан.

Бохорова Светлана Николаевна – магистр экологии, старший преподаватель кафедры биологии и экологии, Западно-Казахстанский университет им. М. Утемисова, проспект Н. Назарбаева, 121, 090000, Уральск, Казахстан.

Құрмекеш Адилет Даулеткереевич – магистр педагогических наук, старший преподаватель кафедры биологии и экологии, Западно-Казахстанский университет им. М. Утемисова, проспект Н. Назарбаева, 121, 090000, Уральск, Казахстан.

Туякбаева Акмарал Усерхановна – кандидат биологических наук, и.о. доцента, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Сатпаева, 2, 010008, Астана, Казахстан.

Шуджаул Малк Хан – PhD доктор наук, ассоциированный профессор кафедры ботаники, Университет Куайд-и-Азам, P4XP+46M, 45320, Исламабад, Пакистан.

Authors' information:

Uteulieva Dameli Tanatarovna – candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of biology and ecology, M. Utemisov West Kazakhstan University, N. Nazarbayev Ave., 121, 090000, Uralsk, Kazakhstan.

Ihlasova Zhanar Maksutovna – senior lecturer, Department of Biology and Ecology, M. Utemisov West Kazakhstan University, N. Nazarbayev Ave., 121, 090000, Uralsk, Kazakhstan.

Bisengazieva Aiman Serikovna – master of Biology, senior lecturer, Department of Biology and Ecology, M. Utemisov West Kazakhstan University, N. Nazarbayev Ave., 121, 090000, Uralsk, Kazakhstan.

Bochorova Svetlana Nikolaevna – master of Ecology, senior lecturer, Department of biology and ecology, M. Utemisov West Kazakhstan University, N. Nazarbayev Ave., 121, 090000, Uralsk, Kazakhstan.

Kurmekesh Adilet Dauletkereyuly – master of Pedagogical Sciences, senior lecturer, Department of biology and ecology, M. Utemisov West Kazakhstan University, N. Nazarbayev Ave., 121, 090000, Uralsk, Kazakhstan.

Tuyakbaeva Akmaral Userkhanovna – candidate of Biological Sciences, acting associate professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Satpayev, 2, 010008, Astana, Kazakhstan.

Shujaul Mulk Khan – PhD Dr., associate professor, Department of Botany, Quaid-i-Azam University, P4XP+46M, 45320, Islamabad, Pakistan.



МРНТИ 39.19.31

<https://doi.org/10.32523/2616-7034-2025-151-2-111-128>

Научная статья

Лесорастительные условия для возобновления *Pinus sylvestris* L. на гарях (островные боры Аманкарагай и Казанбасы, Костанайская область)

Г.Ж. Султангазина*¹, А.Н. Куприянов², С.Б. Куанышбаев¹, В.Н. Чашков¹,
А. Ысқақ¹, А.Б. Нугманов¹, Д.А. Исаева*¹

¹Костанайский региональный университет имени Ахмета Байтурсынулы, Костанай, Казахстан

²Кузбасский ботанический сад, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, Кемерово, Российская Федерация

*Авторы-корреспонденты: gul_sultan@mail.ru, dinar.issayeva@gmail.com

Аннотация. Изучены первые этапы лесовозобновления на гарях и горельниках в Аманкарагайском бору и бору Казанбасы на второй год после обширных пожаров. Варианты были следующие: контроль (участки, не пройденные пожаром); гарь (участок леса, пройденный комбинированным пожаром с оставшимися не вырубленными деревьями); горельник (верховой пожар с оставшимися деревьями около 10 %); расчищенная гарь (участок, на котором весной 2023 года лес был вырублен и убран). Наиболее успешно лесовозобновление происходит на территории горельника бора Казанбасы – 53,2 тыс./га семян, на расчищенной гари – 16,4 тыс./га семян. На расчищенной гари Аманкарагайского бора сингенез растительного покрова пошел по степному типу – лесовозобновления нет. Основным препятствием лесовозобновления является формирование растительного покрова из длиннокорневищных растений, чьи почки возобновления находятся глубже 6- 10 см и не повреждаются высокими температурами пожара. Травянистая растительность в условиях островных боров Аманкарагай и Казанбасы является конкурентом за влагу, она более приспособлена к климатическим условиям сухой степи и, разрастаясь, способна полностью подавлять лесовозобновление. Успешное лесовосстановление гарей островных боров Костанайской области возможно только при учете экологических условий лесокультурного фонда, при этом особое внимание должно быть уделено оценке микроклиматических условий.

Ключевые слова: островные боры, Аманкарагайский бор, бор Казанбасы, пожары, лесовозобновление, гарь, горельники

Введение

Пожары существовали всегда. В различных типах растительности, в различные геологические эпохи они возникали от извержений вулканов, сухих гроз, разрядов молний. Это закономерное явление является неотъемлемой частью круговорота

Поступила: 10.04.2025. Одобрена: 24.06.2025. Доступна онлайн: 04.07.2025

веществ и энергии на Земле [1-10]. Во многих случаях нахождение обширных сосновых лесов в Западной и Восточной Сибири среди темнохвойной тайги многие исследователи склонны объяснять влиянием глобальных пожаров в недавнее геологическое время [11-13]. Возможно, пожары стали средообразующей ролью в начале четвертичного периода в связи с временной аридизацией территорий современной Евразии.

Лесной пожар в своем комплексе физических и химических факторов катастрофически влияет на экологические условия леса. Воздействие лесного пожара задействует все уровни экосистем: происходит влияние на основные компоненты биогеоценозов (изменение биомассы, плотность популяции, запас семян, видовое разнообразие и т.д.) [14,15]. Общепринято, что после пожаров происходит увеличение содержания щелочноземельных металлов, водорастворимых оснований, фосфора и азота [16,17]. Лесорастительные условия почв после пожаров, как правило, не ухудшаются [18].

Лесовозобновительный процесс в основном зависит от количества выпадающих осадков и солнечной инсоляции в весенне-летний периоды [19]. Так, во всех типах леса на редирах наблюдается неудовлетворительное естественное возобновление, где количество подростов 550–650 шт./га, который по площади распределен неравномерно, и его большая часть находится под защитой отдельно стоящих деревьев или стены леса.

Природные пожары были и остаются весьма распространенной проблемой, причиняют огромный ущерб экономическому потенциалу Казахстана и разрушают флору и фауну регионов. В 2021 году на территории государственного лесного фонда Костанайской области зарегистрированы 100 случаев лесных пожаров. Лесные угодья, пройденные пожарами, составили 5 183,7 га, в т. ч. покрытые лесом – 3 308,8 га. Нелесные угодья, пройденные пожарами, составили 105 912,5 га. В 2022 году зарегистрировано 46 случаев лесных пожаров. Лесные угодья, пройденные пожарами, составили 42 927,8 га, в т. ч. покрытые лесом – 33 824,3 га. Нелесные угодья, пройденные пожарами, составили 5 286,3 га [20].

Обобщающим показателем оценки лесорастительных условий является характер естественного лесовозобновления.

Целью данного сообщения является изучение лесорастительных условий, формирующихся на первых этапах восстановления *Pinus sylvestris* на гарях.

Материалы и методы исследования

Район исследований относится к провинции Тоболо-Убаганской равнинной степной зоны Казахстана, которая расположена между Зауральским плато на западе, Тургайским плато на юге, левобережьем Ишима на востоке и колочной лесостепной равниной на севере [21].

Климат резко континентальный, который заключается в резких контрастах температуры воздуха зимы и лета, дня и ночи, а также в том, что максимум осадков 70%-75% приходится на летние месяцы. Осадков в течение года выпадает около 310-350 мм, относительная влажность воздуха летом составляет 30-45%.

Почвы дерново-боровые песчаные, интенсивно окрашенные гумусом, слабо-подзолистые, грунтовые воды на глубине 3-5 м [22]. Растительность представлена осоково-

злаковыми сообществами с преобладанием *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Carex supina* Willd. ex Wahlenb., *Festuca valesiaca* Gaud., *Spiraea hypericifolia* L. и др., характерными для островных боров Тургайской ложбины [23].

Исследования проведены на территории Аманкарагайского бора (Семиозерное учреждение лесного хозяйства (Калининское и Новонежинское лесничества) и бора Казанбасы (Басаманское учреждение лесного хозяйства (Западное лесничество). Варианты изучения возобновления сосны были следующие: контроль (участки, не пройденные пожаром); гарь (участок леса, пройденный комбинированным пожаром с оставшимися не вырубленными деревьями); горельник (верховой пожар с оставшимися деревьями около 10 %); расчищенная гарь (участок, на котором весной 2023 года лес был вырублен и убран) (Рисунок 1, 2).

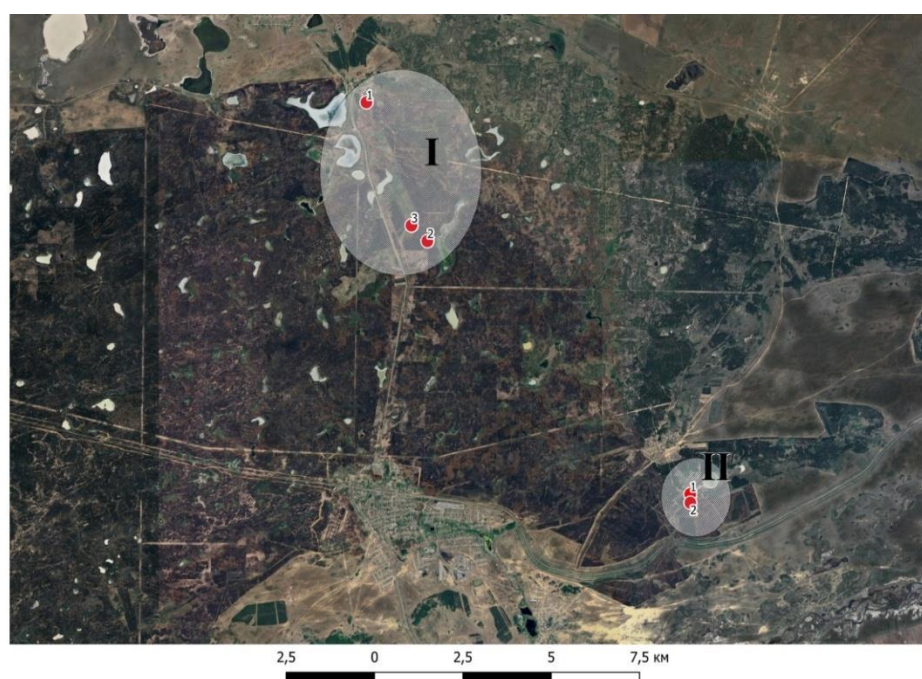


Рисунок 1. Расположение мониторинговых участков на территории Семиозерного учреждения лесного хозяйства (Костанайская обл.)

Исследованные сосняки относятся к сухим борам пологих всхолмлений [24]. При лесоинвентаризационных работах оценку успешности возобновления чаще всего дают по показателю средней численности (густоты) подроста на 1 га. Счетными единицами возобновления *Pinus sylvestris* являлись всходы – особи возрастом до 1 (2) лет; самосев – (подрост младших генераций) – особи в возрасте от 2 до 5 лет. На гарях после пожаров отмечались только всходы и самосев. В контроле подрост ограничили подсчетом особей высотой 1,3–1,5 м и не более 7–10 лет [25]. Для количественных учетов бралось по 20–50 площадок площадью 1 м². Математическая обработка осуществлялась методами, принятыми в биологии [26,27] с привлечением программы *Statistica for Windows* 6.0.



Рисунок 2. Расположение мониторинговых участков на территории Басаманского учреждения лесного хозяйства (Костанайская обл.)

Для оценки успешности естественного возобновления использовалась шкала, в которой нормы количества подроста даются усредненными на всю площадь и выражаются в шт./га. Для лесостепной зоны по шкале оценки естественного возобновления заселенность считается хорошей при количестве благонадежного подроста в возрасте 1-5 лет – более 10 тыс.шт./га; удовлетворительной при 5–10 тыс. на 1 га; слабое – от 3 до 5 тыс. на 1 га и плохое возобновление при количестве подроста менее 3 тыс. шт. на 1 га [28].

Лесорастительные свойства почв осуществлялось на мониторинговых площадках. Отбор почвенных проб в разрезах проводили по генетическим горизонтам до почвообразующей горной породы [29].

Результаты

Контроль (Семиозерное учреждение лесного хозяйства: Калининское и Новонежинское лесничества; Басаманское учреждение лесного хозяйства (Западное лесничество). Лес представлен сухим травяным бором III-IV классами бонитета; полнота 0,4-0,5; возраст 50-90 лет; формула древостоя: 10С, 9С1Б, 9С1Ос. Подлесок сформирован *Cerasus besseyi*, *Cotoneaster melanocarpus*, *Rosa majalis*, *Salix rosmarinifolia*, *Spiraea hypericifolia*. Доминантами напочвенного покрова являются как правило длиннокорневищные или дерновинные злаки: *Calamagrostis epigeios*, *Carex supina*, *Festuca valesiaca* (Таблица 1).

Таблица 1

Характеристика соснового леса в контроле

Показатели	Учреждение лесного хозяйства		
	Семиозерное		Басаманское
	Калининское лесничество	Новонежинское лесничество	Западное лесничество
Характеристика леса			
Полнота	0,4	0,4-0,5	0,43
Возраст, лет	60-80	60-90	50-90
Формула древостоя	10С	9С10с	9С1Б
Подрост	<i>Pinus sylvestris</i> L.	<i>Pinus sylvestris</i> L., <i>Populus tremula</i> L.	<i>Pinus sylvestris</i> L., <i>Betula pendula</i> Roth
Подлесок	<i>Spiraea hypericifolia</i> L., <i>Salix rosmarinifolia</i> L.	<i>Spiraea hypericifolia</i> L., <i>Rosa majalis</i> Herrm., <i>Cerasus besseyi</i> L.H. Bailey, <i>Cotoneaster melanocarpus</i> Fisch. ex Blytt.	<i>Spiraea hypericifolia</i> L., <i>Lonicera tatarica</i> L.
Характеристика напочвенного покрова			
Общее проективное покрытие, %	40-50	45-60	54-55
Количество видов, шт.	24-33	29-35	33-34
Виды с наибольшим участием	<i>Calamagrostis epigeios</i> , <i>Carex supina</i> , <i>Artemisia austriaca</i> , <i>Festuca valesiaca</i>	<i>Calamagrostis epigeios</i> , <i>Carex supina</i> , <i>Festuca valesiaca</i> , <i>Glycyrrhiza uralensis</i>	<i>Calamagrostis epigeios</i> , <i>Carex supina</i> , <i>Artemisia austriaca</i>

Почва дерново-мелко-подзолистая слабодерновая.

Горизонт А0 – 0-4 см; лесная подстилка, преимущественно из хвои. Сверху свежая, в нижней части полуразложившаяся.

Горизонт А1 – 4-10 см; слабо-гумуссированный, темно-бурый, переходящий в серые тона при высыхании, пронизан корнями растений, песчаный. Переход постепенный.

Горизонт А2 – 10-15 см; слегка увлажненный, темно-серый, уплотненный свкращением темных пятен; пронизан корнями древесных растений. Влажный, песчаный. Переход заметный.

Горизонт В – 15-20 см; светло-серый песок с тонкими бурыми прослойками, за счет иллювирированных оксидов железа и органоминеральных соединений; влажный, песчаный, переход постепенный.

Горизонт ВС – глубже 20 см; желтовато-серый песок.

Лесовозобновление в контроле слабое. Количество возобновления в возрасте 1-5 лет составляет 2,5 тыс./га (Таблица 2).

Таблица 2

Характеристика возобновления на гарях Аманкарагайского бора и бора Казанбасы

Характеристика	Варианты		
	Контроль	Гарь	Расчищенная гарь
Семиозерное учреждение лесного хозяйства, Новонежинское лесничество			
Возобновление, 1-5 лет (тыс. шт./га)	2,5	9,0	0
Оценка возобновления	Слабое	Удовлетворительное	0
Семиозерное учреждение лесного хозяйства, Калининское лесничество			
Возобновление, 1-5 лет (тыс. шт./га)	4,4	4,5	-
Оценка возобновления (Нестеров, 1948)	Слабое	Слабое	-
Басаманское учреждение лесного хозяйства, Западное лесничество			
Возобновление, 1-5 лет (тыс. шт./га)	4,0	53,2	16,4
Оценка возобновления (Нестеров, 1948)	Слабое	Очень хорошее	Хорошее

Высота сеянцев на второй год составляет $3,7 \pm 0,6$ см, длина хвои $2,1 \pm 0,2$ см. Сеянцы расположены неравномерно, их возобновлению препятствуют плотные куртины *Calamagrostis epigeios* и *Carex supina* (Рисунок 3). Возобновление старше 5 лет и подрост в контроле располагаются куртинами возле старых сосен и в микропонижениях в количестве 2 тыс. шт./га.

Гарь в Семиозерном учреждении лесного хозяйства (Калининское и Новонежинское лесничества) представлена полностью сгоревшими деревьями, сгоревшей подстилкой до глубины 3-5 см. На второй год доминировали длиннокорневищные виды *Carex supina*, *Calamagrostis epigeios*, *Elytrigia repens*, *Chamerion angustifolium*. Эти виды интенсивно разрастаются, образуя обширные пятна, возобновление сосны появляется исключительно в «окнах», свободных от длиннокорневищных растений.

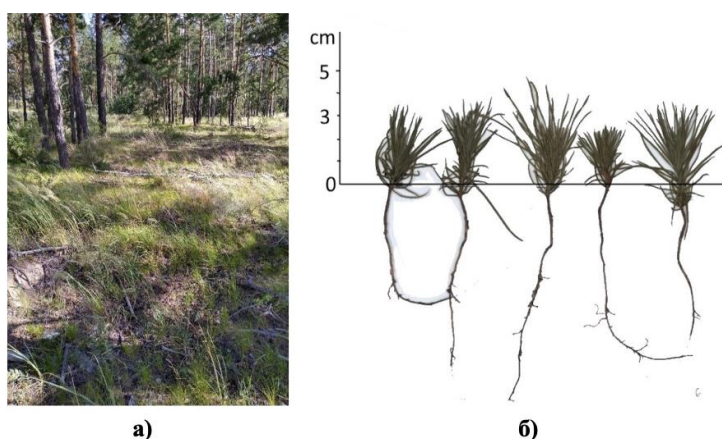


Рисунок 3. Семиозерное учреждение лесного хозяйства, Новонежинское лесничество:
а) Контроль; б) Сеянцы первого года на контроле

Возобновление сосны на гари Калининского лесничества в первый год после пожара отсутствовало, всходы появились на второй год в количестве 4,5 тыс. шт./га. На гари в Новонежинском лесничестве возобновление сосны удовлетворительное и составило 9 тыс. шт./га (Таблица 3, Рисунок 4).

Структура верхних слоев почвы на гаях примерно одинаковое; на несгоревшей части – соответствует контролю.

Горизонт A_0 – 0–0,5 (1,0) см; свежесвыпавший опад из бурых хвоинок и сгоревших веточек.

Горизонт A_1 – 0,5 (1,0) – 2 см; полностью выгоревшая подстилка, темный слой угольков, практически черный с остатками сгоревших корней.

Горизонт A_2 – 2,0–6,0 (10) см; увлажненный, темно-серый с желто-оранжевыми пятнами сгоревшей органики и почвы; переход заметный.

Горизонт В – 6 (10,0) –20 см; темно-серый песок с черными прослойками, влажный, песчаный; переход постепенный.

Горизонт ВС – глубже 20 см желтовато-серый песок с темными прожилками.

Уничтожение лесной подстилки в результате пожара привело к развитию струйчатой водной эрозии. Это может повлечь за собой изменение гранулометрического состава почв и к развитию ветровой и водной эрозии. В почвах под сгоревшим лесом влаги содержится значительно больше, чем в почвах под лесом, не затронутых пожаром. Это подтверждается исследованиями почв на гаях на юге ленточных боров [30]. В результате увеличения содержания водорастворимых щелочных соединений, выщелачиваемых из золы, оставшейся после сгорания лесной подстилки происходит уменьшение гидролитической кислотности.

Таблица 3

Характеристика гари и горельника после пожара (2023-2024 гг.)

Показатели	Гарь		Горельник
	Семиозерное учреждение лесного хозяйства: Калининское и Новонежинское лесничества		Басаманское учреждение лесного хозяйства, Западное лесничество
Характеристика леса до пожара			
Полнота	0,5	0,5	0,5
Возраст, лет	60 - 80	60 - 80	50 – 60
Формула древостоя	10С	9С1Б	9С1Б
Подрост	0	0	0
Подлесок	0	0	0
Характеристика растительного покрова			
Общее проективное покрытие, %	16-50	17–60	17–55,5

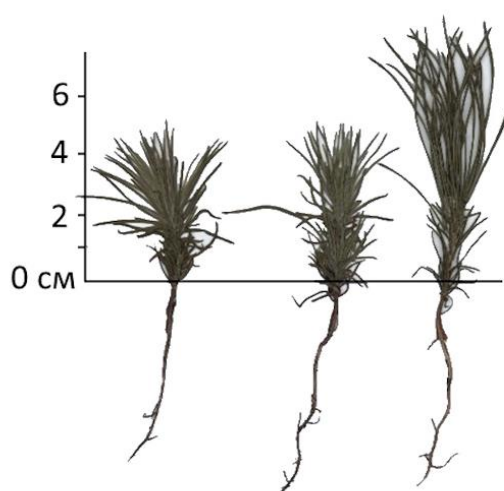
Количество видов, шт.	24–35	30–40	21–24
Виды с наибольшим участием	<i>Carex supina</i> , <i>Chenopodium album</i> , <i>Calamagrostis epigeios</i> , <i>Galium verum</i> , <i>Elytrigia repens</i>	<i>Calamagrostis epigeios</i> , <i>Chamerion angustifolium</i> , <i>Lactuca serriola</i> , <i>Conyza canadensis</i>	<i>Conyza canadensis</i> , <i>Carex supina</i> , <i>Taraxacum officinale</i>

В целом лесорастительные свойства почв на гари благоприятны для появления всходов сосны, за исключением того, что происходит зарастание гарей агрессивными длиннокорневищными растениями. Возобновление сосны на территории Калининского лесничества слабое 5 тыс. шт./га; высота $3,1 \pm 0,4$, количество хвоинок – $24,8 \pm 1,3$, длина хвоинок – $2,0 \pm 0,3$ см; на территории Новонежинского лесничества удовлетворительное – 9 тыс.шт./га: высота $4,9 \pm 0,7$, количество хвоинок – $28,8 \pm 0,5$, длина хвоинок – $3,4 \pm 0,5$ см (Рисунок 4).

Горельник в Басаманском учреждении лесного хозяйства (Западное лесничество) представлен не полностью сгоревшими насаждениями, частично повреждено около 10% древостоя. На второй год обильно разрастается *Carex supina*, образующая плотные куртины, а также – сорные виды: *Conyza canadensis*, *Taraxacum officinale*, которые достаточно многочисленны, но не образуют плотного травостоя и не препятствуют появлению всходов *Pinus sylvestris* (Таблица 3).



а)



б)

Рисунок 4. Гарь (Семиозерное учреждение лесного хозяйства, Новонежинское лесничество): **а)** Состояние гари на второй год после пожара; **б)** Двухлетние сеянцы на гари

В результате в этом варианте сложились благоприятные экологические условия (влажность субстрата, достаточное затенение от сгоревших деревьев, сравнительно низкое задернение гари, наличие живых деревьев с возможностью обсеменения), что

послужило появлению на второй год очень хорошему появлению всходов сосны – 53,2 тыс. шт./га (Рисунок 5). Обращают внимание хорошие морфологические показатели всходов: высота 14,40. Количество хвоинок $46 \pm 0,7$ шт., длина хвои $5,6 \pm 0,7$ см.

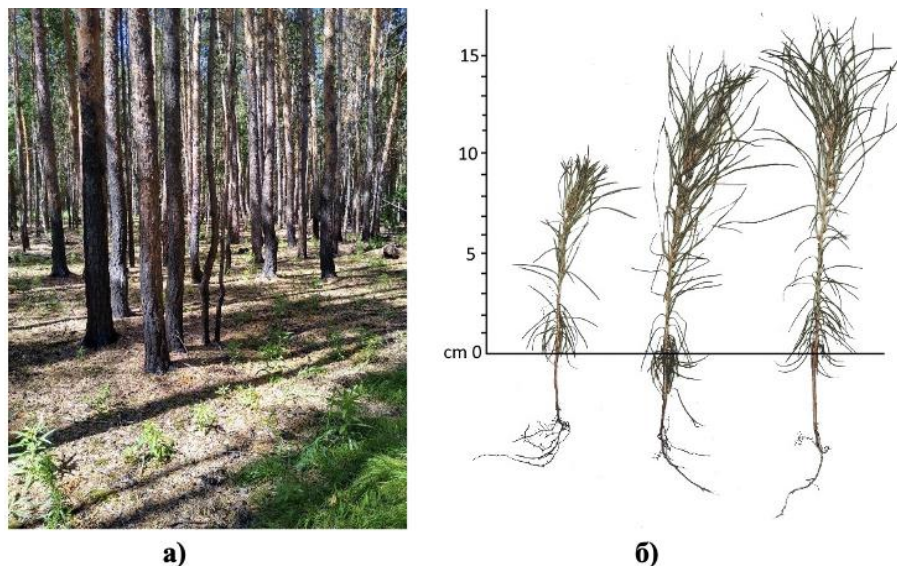


Рисунок 5. Горельник (Басаманское учреждение лесного хозяйства):
а) Состояние горельника на второй год после пожара; **б)** Сеянцы сосны

Расчищенные гари образовались в феврале 2023 года. На территории Новонежинского лесничества Семиозерного учреждения лесного хозяйства прошло остепнение вырубленного и расчищенного участка гари, наибольшей активностью обладают степные растения (*Agropyron cristatum*, *Gypsophila paniculata*, *Festuca valesiaca*, *Stipa pennata*, *Chenopodium album*, *Jacobaea vulgaris*). Произошло снижение количества видов с 55 видов в 2023 году до 37 в 2024 году. Общее проективное покрытие (%) травяного яруса в 2023 году – 29 %, в 2024 году 60,6 % (Таблица 4).

Таблица 4

Характеристика расчищенной гари после пожара (2023-2024 гг.)

Показатели	Учреждение лесного хозяйства	
	Семиозерное	Басаманское
	Новонежинское лесничество	Западное лесничество
Характеристика леса до пожара		
Полнота	0,5	0,6
Возраст, лет	60 - 80	80 - 90
Формула древостоя	9С1Б	9С1Б
Подрост	0	0
Подлесок	0	0

Характеристика растительного покрова		
Общее проективное покрытие, %	29-60,6	17
Количество видов, шт.	37-55	24-31
Виды с наибольшим участием	<i>Agropyron cristatum</i> , <i>Gypsophila paniculate</i> , <i>Festuca valesiaca</i> , <i>Stipa pennata</i>	<i>Calamagrostis epigeios</i> , <i>Achillea millefolium</i> , <i>A. nobilis</i> , <i>Artemisia absinthium</i>

На территории Басаманского учреждения лесного хозяйства восстанавливающийся напочвенный покров образуют *Calamagrostis epigeios*, *Carex supina*, *Artemisia macrantha*, *Glycyrrhiza uralensis*. В 2023 году зарегистрирован 21 вид растений, в 2024 году – 31 вид. Общее проективное покрытие в 2024 году составило 15 %.

Структура верхних слоев почвы на расчищенных гарях примерно одинаковая.

Горизонт A_0 – 0–0,5; свежесвыпавший опад из бурых хвоенок и сгоревших веточек.

Горизонт A_1 – А-Б – 0,5–15,0 см; влажный, не структурированный, с перемешанным верхним слоем в результате раскорчевки леса с включением угольков, переход постепенный.

Горизонт В – 15–30 см; влажный темно-серый песок с черными прослойками.

Горизонт ВС – глубже 30 см желтовато-серый песок с темными прожилками.

Особенностью верхних слоев почвы на расчищенной гари является значительное повреждение верхних слоев в результате спиливания деревьев, трелевки, работы различной техники. На большей территории расчищенной гари почва до глубины 10-15 см в значительной части разрушена, что, в свою очередь, не ухудшило лесорастительные условия. Возобновления сосны на расчищенной гари Новонежинского лесничества не обнаружено. Возобновление сосны на расчищенной гари Басаманского учреждения лесного хозяйства хорошее – 16,4 тыс.шт./га (Рисунок 6); высота сеянцев $12,4 \pm 0,2$ см, количество хвоенок $37,6 \pm 0,3$ шт., длина хвои $5,0 \pm 0,8$ см.

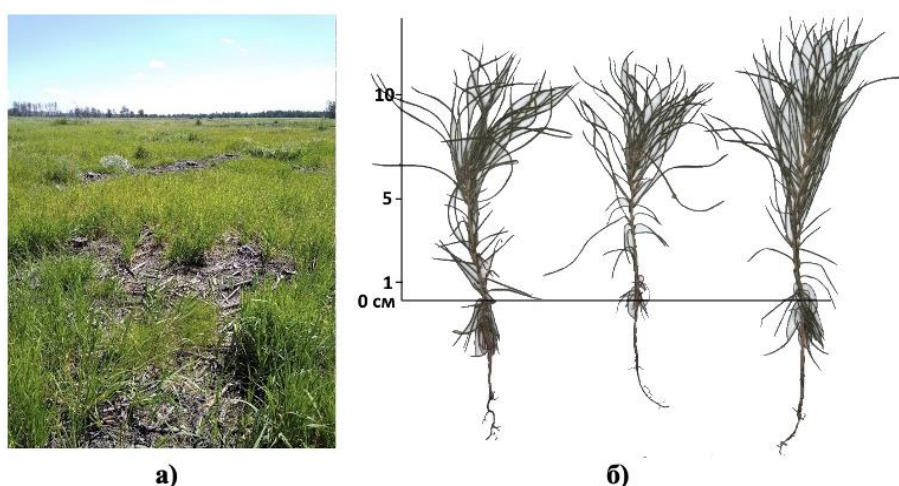


Рисунок 6. Расчищенная гать (Басаманское учреждение лесного хозяйства):

а) Состояние расчищенной гари на второй год после пожара; **б)** Состояние возобновления сосны

Обсуждение

Изучение лесовозобновления на гарях на территории Аманкарагайского бора и бора Казанбасы показало большую неоднозначность появления всходов и сеянцев сосны, что связано с различными экологическими факторами, складывающимися на гарях.

Наиболее успешно лесовозобновление происходит на неубранных гарях, где сохранилась структура почвы, обеспечен налет семян с оставшихся живых плодоносящих сосен, имеется частичное затенение от летней жары. Это наблюдается на гари в Новонежинском лесничестве Семиозерного учреждения лесного хозяйства и на горельнике Западного лесничества Басаманского учреждения лесного хозяйства.

На расчищенных гарях возобновление происходит только в тех местах, где сохраняются условия для появления всходов, а также обеспечен налет семян со стороны нетронутой пожаром стены леса (Басаманское учреждение лесного хозяйства). Хорошая степень минерализации почвы обеспечивает быстрый рост сеянцев.

С другой стороны, полная расчистка сгоревших деревьев, отсутствие осеменителей и стены леса делает невозможным естественное возобновление. Более жесткие лесорастительные условия приводят к быстрому остепнению расчищенных гарей и в дальнейшем естественного лесовозобновления не будет. На таких площадках возможно только искусственное лесовозобновление.

Экстремальные природно-климатические условия островных боров Аманкарагай и Казанбасы – острый недостаток влаги, высокие летние температуры, частые суховеи создают большие трудности для лесовосстановления, особенно на большеплощадных гарях, поскольку на них полностью утрачивается защитное воздействие прилегающих насаждений, отсутствуют обсеменители, ухудшаются эдафические условия. Поэтому во многих случаях естественное возобновление сосны полностью исключается и единственным способом лесовосстановления гарей является создание лесных культур.

Заключение

На гарях уже на второй год формируется травянистая растительность с высоким проективным покрытием. Растительный покров формируется из длиннокорневищных растений, чьи почки возобновления находятся глубже 6-10 см и не повреждаются высокими температурами пожара, а также из видов – анемохоров, налет семян которых происходит постоянно. Травянистая растительность в условиях островных боров Аманкарагай и Казанбасы является конкурентом за влагу, она более приспособлена к климатическим условиям сухой степи и, разрастаясь, способна полностью подавлять лесовозобновление.

Наиболее успешно лесовозобновление происходит на несрубленной гари на территории бора Казанбасы – 53,2 тыс./га сеянцев, на расчищенной гари – 16,4 тыс./га сеянцев. На расчищенной гари на территории Аманкарагайского бора сингенез растительного покрова пошел по степному типу – лесовозобновления нет. Успешное лесовосстановление гарей островных боров Аманкарагай и Казанбасы возможно только

при учете экологических условий лесокультурного фонда, при этом особое внимание должно быть уделено оценке микроклиматических условий.

Финансирование

Работа выполнена в рамках грантового финансирования АР19680147 «Воздействие пожаров и анализ методов восстановления лесной экосистемы Аманкарагайского бора северного региона Республики Казахстан».

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Соблюдение этических норм

Настоящая статья не содержит описания выполненных авторами исследований с участием людей или использованием животных в качестве объектов.

Список литературы

1. Санников СН. Лесные пожары как эволюционно-экологический фактор восстановления популяции сосны в Зауралье. Горение и пожары в лесу. Красноярск; 1973:236–77.
2. Санников СН. Лесные пожары как фактор преобразования структуры, возобновления и эволюции биогеоценозов. Экология. 1981;(6):24–33.
3. Санников СН. Циклически-эрозийно пирогенная теория естественного возобновления сосны обыкновенной. Экология. 1983;(1):3–9.
4. Фуряев ВВ. Роль пожаров в процессе лесообразования. Новосибирск: Наука; 1996.
5. Шершнева ВИ, Заблоцкий ВИ. Восстановление лесов Приобья. Восстановление нарушенных ландшафтов. Барнаул; 2004:154–8.
6. Brown JW, Davis KP. Forest fire: control and use. New York: McGraw-Hill; 1973.
7. Cope M, Challoner W. Fossil charcoal as evidence of past atmospheric composition. Nature. 1980;283:647–9.
8. Méndez J, Morales G, de Nascimento L, et al. Understanding long-term post-fire regeneration of a fire-resistant pine species. Ann For Sci. 2015;72(5):609–19. doi.org/10.1007/s13595-015-0482-9
9. Султангазина ГЖ, Куприянов АН. Пирогенные сукцессии в сосновых лесах Кокшетауской возвышенности после пожаров. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео»; 2017.
10. Султангазина ГЖ, Нұрбекова БЖ, Амантайқызы Б, Ильясова Г. Қарағайлы ормандардағы өсімдік жамылғысының өрттен кейінгі қалыптасуы. Вестник Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева. 2018;(1):22–32.
11. Валендик ЭН. Экологические аспекты лесных пожаров в Сибири. Сибирский экологический журнал. 1996;3(1):64–9.
12. Фуряев ВВ, Заблоцкий ВИ, Черных ВА. Пожароустойчивость сосновых лесов. Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма РАН; 2005.
13. Черных ВА, Фуряев ВВ, Заблоцкий ВИ. Возникновение лесных пожаров от гроз в юго-западной части ленточных боров Алтая. Межрегиональный экологический форум. Барнаул; 2004 апр 7–8:40–3.

14. Одум Ю. Основы экологии. Москва: Мир; 1975.
15. Wiersum LK. Utilization of soil by the plant root system. Plant Soil. 1973;15(12):46–69.
16. Корчагин АА. Влияние пожаров на лесную растительность и восстановление её после пожара на Европейском Севере. Геоботаника. Сер 3. 1954;(9):75–149.
17. Заблоцкий ВИ, Баранник ЛП. Лесорастительные условия в горельниках юго-западной части ленточных боров. Лесное хозяйство. 2000;(1):52–4.
18. Молчанов АА. Влияние лесных пожаров на древостой. Тр Ин-та леса АН СССР. 1954;(16):314–35.
19. Мелехов ИС. Влияние пожаров на лес. Москва: Гослестехиздат; 1948.
20. Министерство экологии и природных ресурсов Республики Казахстан. Национальный доклад о состоянии окружающей среды и об использовании природных ресурсов Республики Казахстан за 2022 год: проект [Интернет]. Астана: МЭПР РК; 2023 [цитировано 2025 фев 19]. Доступно: <https://www.gov.kz/memleket/entities/ecogeo/documents/details/518069?lang=ru>
21. Санникова НС, Санников СН, Кочубей АА, Петрова ИВ. Естественное возобновление сосны на гарях в лесостепи Западной Сибири. Сибирский лесной журнал. 2019;(5):22–9.
22. Грибанов ЛН. Некоторые вопросы биологии возобновления сосны и хозяйства в степных борах Казахстана. Труды института водного и лесного хозяйства. 1956;(1):155–89.
23. Пугачев ПГ. Аман-Карагайский бор Кустанайской области как фрагмент естественных насаждений сосны Pinus sylvestris L. на южном пределе её ареала. Бот Журн. 1971;56(9):1335–43.
24. Таран ИВ. Сосновые леса Западной Сибири. Новосибирск: Наука; 1973.
25. Андреева ЕН, Баккал ИЮ, Горшков ВВ, и др. Методы изучения лесных сообществ. Санкт-Петербург: НИИХ Химии СПбГУ; 2002.
26. Доспехов БА. Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат; 1965.
27. Шмидт ВМ. Математические методы в ботанике. Ленинград: Изд-во ЛГУ; 1984.
28. Шиманюк АП. Естественное возобновление на концентрированных вырубках. Москва: Изд-во АН СССР; 1955.
29. Трофимов ИТ. Исследование почв в природе. Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та; 2001.
30. Куприянов АН, Трофимов ИТ, Заблоцкий ВИ и др. Восстановление лесных экосистем после пожаров. Кемерово: КРЭОО «Ибрис»; 2003.

Pinus sylvestris L. түрінің өрттен кейінгі алқаптарда қалпына келуіне арналған орман өсіру жағдайлары (Аманқарағай және Қазанбасы аралды ормандары, Қостанай облысы)

**Г.Ж. Сұлтанғазина^{*1}, А.Н. Куприянов², С.Б. Куанышбаев¹,
В.Н. Чашков¹, А. Ысқақ¹, А.Б. Нугманов¹, Д.А. Исаева^{*1}**

¹Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті, Қостанай, Қазақстан

²Кузбас ботаникалық бағы, РFA СБ көмір және көмір химиясы Федеральді зерттеу орталығы,
Кемерово, Ресей Федерациясы

Аңдатпа. Аманқарағай және Қазанбасы қарағайлы ормандарындағы ауқымды өрттерден кейінгі екінші жылы өртенген аумақтар мен орман бос жерлердегі орманды қалпына келтірудің алғашқы кезеңдері зерттелді. Нұсқалар келесідей болды: бақылау (өрттен зардап шекпеген аумақтар);

өртенген аумақ (кесілген ағаштармен бірге аралас өрттен өткен орман учаскесі); күйген орман ағаштары (қалған ағаштары бар жоғарғы өрт шамамен 10 %); тазартылған өртенген аумақ (2023 жылдың көктемінде орман кесілген және жойылған аумақ). Ең сәтті орманды қалпына келтіру Қазанбасы қарағайлы орманының өртенген орман алқабында жүруде – гектарына 53,2 мың түп көшет, тазартылған өртенген аумақта – 16,4 мың/га түп көшет. Аманқарағай қарағайлы орманының тазартылған өртенген аймағында өсімдік жамылғысының сингенезі далалық типке сәйкес келеді – орман қалпына келіп жатқан жоқ. Орманды қалпына келтірудің негізгі кедергісі – ұзын тамырлы өсімдіктерден өсімдік жамылғысының пайда болуы, олардың жаңару бүршіктері 6-10 см-ден тереңірек және өрттің жоғары температурасынан зақымдалмайды. Аманқарағай мен Қазанбасының аралдық қарағайлы ормандары жағдайында шөптесін өсімдіктер ылғалға бәсекелес болып табылады, ол құрғақ даланың климаттық жағдайына жақсы бейімделген және өсіп келе жатқан ормандардың жаңаруын толығымен басуға қабілетті. Қостанай облысындағы өртенген аралдық қарағайлы ормандарды ойдағыдай қалпына келтіру орман шаруашылығы қорының экологиялық жағдайын ескерген жағдайда ғана мүмкін болады, микроклиматтық жағдайларды бағалауға ерекше көңіл бөлу қажет.

Түйін сөздер: аралдық қарағайлы ормандар, Аманқарағай қарағайлы орманы, Қазанбасы қарағайлы орманы, өрттер, ормандарды қалпына келтіру, өртенген аумақ, күйген орман ағаштары

Forest conditions for the regeneration of *Pinus sylvestris* L. in burnt areas (island pine forests of Amankaragai and Kazanbasy, Kostanay Region)

G.J. Sultangazina^{*1}, A.N. Kuprijanov², S.B. Kuanyshbayev¹, V.N. Chashkov¹, A. Yskak¹,
A.B. Nugmanov¹, D.A. Issayeva^{*1}

¹*Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University*

²*Kuzbass Botanical Garden, Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry SB RAS,
Kemerovo, Russian Federation*

Abstract. The initial stages of natural reforestation were studied in burned and fire-affected areas of the island-type pine forests of Amankaragai and Kazanbasy in the second year after large-scale wildfires. The studied sites included the following: control plots (areas unaffected by fire); burn (areas affected by a mixed-severity fire, with remaining standing trees); gorelnik (areas affected by crown fires, with approximately 10% of trees remaining); and cleared burn (areas where fire-damaged forest was harvested and removed in spring 2023). The highest density of natural regeneration was observed in the Kazanbasy pine forest, located in the Bora Mountain ridge – 53.2 thousand seedlings per hectare; and in the cleared burn area – 16.4 thousand seedlings per hectare. In the cleared burn area of the Amankaragai forest, vegetation succession followed a steppe-type pattern, with no signs of forest regeneration. The main obstacle to reforestation is the development of herbaceous cover dominated by long-rhizomatous species whose renewal buds lie deeper than 6–10 cm in the soil and are not damaged by high fire temperatures. In the island-type pine forests of Amankaragai and Kazanbasy, herbaceous vegetation is a strong competitor for moisture, being more adapted to the arid steppe climate, and can

completely suppress tree seedling development. Successful reforestation of burned areas in the island-type pine forests of Kostanay Region is possible only if the ecological conditions of forest stands and the silvicultural background are taken into account. Special attention should be paid to the assessment of local microclimatic conditions.

Keywords: island pine forests, Amankaragai pine forest, Kazanbasy pine forest, wildfires, reforestation, burn, gorelniks

References

1. Sannikov SN. Lesnye pozhary kak evolyutsionno-ekologicheskiy faktor vosstanovleniya populyatsii sosny v Zaural'e. Gorenje i pozhary v lesu [Forest fires as an evolutionary-ecological factor in the restoration of pine populations in the Trans-Urals. Burning and fires in a forest]. Krasnoyarsk; 1973. p. 236-77. [in Russian]
2. Sannikov SN. Lesnye pozhary kak faktor preobrazovaniya struktury, obnovleniya i evolyutsii biogeotsenozov [Forest fires as a factor in the transformation of structure, regeneration, and evolution of biogeocenoses]. Ekologiya [Ecology]. 1981;(6):24-33. [in Russian]
3. Sannikov SN. Tsiklicheski-eroziyno pirogennaya teoriya estestvennogo obnovleniya sosny obyknovlennoy [Cyclic-erosional pyrogenic theory of natural regeneration of Scots pine (Pinus sylvestris)]. Ekologiya [Ecology] 1983;(1):3-9. [in Russian]
4. Furyaev VV. Rol' pozharov v protsesse lesoobrazovaniya [The role of fires in the forest formation process]. Novosibirsk: Nauka; 1996. [in Russian]
5. Shershnev VI, Zablotskiy VI. Vosstanovlenie lesov Priob'ya. Vosstanovlenie narushennykh landshaftov [Forest restoration in the Ob River region (Priobye). Restoration of Disturbed Landscapes]. Barnaul; 2004. p. 154-8. [in Russian]
6. Brown JW, Davis KP. Forest fire: control and use. New York: McGraw-Hill; 1973.
7. Cope M, Challoner W. Fossil charcoal as evidence of past atmospheric composition. Nature. 1980;283:647-9. doi.org/10.1038/283647a0
8. Méndez J, Morales G, de Nascimento L, et al. Understanding long-term post-fire regeneration of a fire-resistant pine species. Ann For Sci. 2015;72(5):609-19. doi.org/10.1007/s13595-015-0482-9
9. Sultangazina GZh, Kupriyanov AN. Pirogennyye suksessii v sosnovykh lesakh Kokshetauskoy vozvysheynosti posle pozharov [Pyrogenic successions in the pine forests of the Kokshetau Upland after fires]. Novosibirsk: Akademicheskoe izd-vo «Geo» [Acad. Publ. "Geo"]; 2017. [in Russian]
10. Sultangazina GZh, Nurbekova BZh, Amantaykyzy B, Il'yasova G. Karagayly ormandardagy osimdik zhamylgysynyn ortten keyngi kalyptasuy [Post-fire formation of vegetation cover in pine forests]. Vestnik Evraziyskogo natsional'nogo universiteta im. L.N. Gumileva [Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University]. 2018;1(122):22-32. [in Kazakh]
11. Valendik EN. Ekologicheskie aspekty lesnykh pozharov v Sibiri [Ecological aspects of forest fires in Siberia]. Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal [Siberian Journal of Ecology]. 1996;3(1):64-9. [in Russian]
12. Furyaev VV, Zablotskiy VI, Chernykh VA. Pozharoustoychivost' sosnovykh lesov [Fire resistance of pine forests]. Novosibirsk: Nauka, Sibirskaya izdatel'skaya firma RAN [Sib. Publ. Co. RAS]; 2005. [in Russian]
13. Chernykh VA, Furyaev VV, Zablotskiy VI. Vozniknovenie lesnykh pozharov ot groz v yugo-zapadnoy chasti lentochnykh borov Altaya [Occurrence of forest fires caused by thunderstorms in the

southwestern part of the Altai ribbon forests]. Mezhhregional'nyy ekologicheskiy forum [Int. Ecological Forum]. Barnaul; 2004 Apr 7-8. p. 40-3. [in Russian]

14. Odum Yu. Osnovy ekologii [Fundamentals of Ecology]. Moskva: Mir [World]; 1975. [in Russian]

15. Wiersum LK. Utilization of soil by the plant root system. Plant Soil. 1973;15(12):46-69.

16. Korchagin AA. Vliyanie pozharov na lesnuyu rastitel'nost' i vosstanovlenie ee posle pozhara na Evropeyskom Severe [Influence of fires on forest vegetation and its post-fire restoration in the European North]. Geobotanika. Ser. 3. 1954;9:75-149. [in Russian]

17. Zablotskiy VI, Barannik LP. Lesorastitel'nye usloviya v gorel'nikakh yugo-zapadnoy chasti lentochnykh borov [Forest site conditions in burned areas of the southwestern part of the ribbon forests]. Lesnoe khozyaystvo [Forestry]. 2000;(1):52-4. [in Russian]

18. Molchanov AA. Vliyanie lesnykh pozharov na drevostoy [Influence of forest fires on the tree stand]. Tr. In-ta lesa AN SSSR. 1954;16:314-35. [in Russian]

19. Melekhov IS. Vliyanie pozharov na les [Influence of fires on the forest]. Moskva: Goslestekhizdat [State For. Tech. Press]; 1948. [in Russian]

20. Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan. National report on the state of the environment and the use of natural resources of the Republic of Kazakhstan for 2022: draft [Internet]. Astana: MEPR RK; 2023 [cited 2025 Feb 19]. Available from: <https://www.gov.kz/memleket/entities/ecogeo/documents/details/518069?lang=ru>

21. Sannikova NS, Sannikov SN, Kochubey AA, Petrova IV. Estestvennoe vozobnovlenie sosny na garyakh v lesostepi Zapadnoy Sibiri [Natural regeneration of pine on burned sites in the forest-steppe of Western Siberia]. Sibirskiy lesnoy zhurnal [Siberian For. J.]. 2019;(5):22-9. [in Russian]

22. Gribanov L.N. Nekotorye voprosy biologii vozobnovleniya sosny i khozyaystva v stepnykh borakh Kazakhstana [Some issues of the biology of pine regeneration and management in the steppe pine forests of Kazakhstan]. Trudy instituta vodnogo i lesnogo khozyaystva [Proceedings of the Institute of Water and Forestry Management]. 1956;1:155-89. [in Russian]

23. Pugachev PG. Aman-Karagayskiy bor Kustanayskoy oblasti kak fragment estestvennykh nasazhdeniy sosny Pinus sylvestris L. na yuzhnom predele ee areala [The Aman-Karagay pine forest of the Kostanay region as a fragment of natural stands of Pinus sylvestris L. at the southern limit of its range]. Bot. Zhurn [Botanical Journal]. 1971;56(9):1335-43. [in Russian]

24. Taran IV. Sosnovye lesa Zapadnoy Sibiri [Pine forests of Western Siberia]. Novosibirsk: Nauka; 1973. [in Russian]

25. Andreyeva EN, Bakkal IYu, Gorshkov VV, et al. Metody izucheniya lesnykh soobshchestv [Methods for studying forest communities]. Sankt-Peterburg: NIIKh Khimii [Chemistry] SPbGU; 2002. [in Russian]

26. Dospekhov BA. Metodika polevogo opyta [Methodology of field experiment]. Moskva: Agropromizdat [Agropromizdat]; 1965. [in Russian]

27. Shmidt VM. Matematicheskie metody v botanike [Mathematical methods in botany]. Leningrad: Izd-vo LGU [Publisher of LNU]; 1984. [in Russian]

28. Shimanyuk AP. Estestvennoe vozobnovlenie na kontsentrirrovannykh vyrubkakh [Natural regeneration on concentrated clearcuts]. Moskva: Izd-vo AN SSSR [USSR Acad. Sci. Publ. Press]; 1955. [in Russian]

29. Trofimov IT. Issledovanie pochv v prirode [Study of soils in nature]. Barnaul: Izd-vo Alt. gos. un-ta [Altai State University Press]; 2001. [in Russian]

30. Kupriyanov AN, Trofimov IT, Zablotskiy VI, et al. Vosstanovlenie lesnykh ekosistem posle pozharov [Restoration of forest ecosystems after fires]. Kemerovo: KREOO «Ibris»; 2003. [in Russian]

Сведения об авторах:

Султангазина Гульнар Жалеловна – автор-корреспондент, кандидат биологических наук, профессор, Костанайский региональный университет имени Ахмета Байтурсынулы, просп. Абая 28, 110000, Костанай, Казахстан.

Куприянов Андрей Николаевич – доктор биологических наук, Кузбасский ботанический сад, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, Ленинградский просп. 10, 650065, Кемерово, Россия.

Куанышбаев Сеитбек Бекенович – доктор географических наук, председатель Правления-Ректор НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмета Байтурсынулы», ул. Байтурсынова 47, 110000, Костанай, Казахстан.

Чашков Вадим Николаевич – магистр химии, заведующий лабораторией физико-химических и технологических исследований, НАО «КРУ имени Ахмета Байтурсынулы», просп. Абая 28, 110000, Костанай, Казахстан.

Ыскак Алия – кандидат сельскохозяйственных наук, директор научно-исследовательского института прикладной биотехнологии, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмета Байтурсынулы», просп. Абая, 28, 110000, Костанай, Казахстан.

Нугманов Алмабек Батыржанович – кандидат сельскохозяйственных наук, декан сельскохозяйственного факультета, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмета Байтурсынулы», просп. Абая 28, 110000, Костанай, Казахстан.

Исаева Динара Арстановна – автор-корреспондент, докторант по специальности «Биология», НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмета Байтурсынулы», просп. Абая 28, 110000, Костанай, Казахстан.

Авторлар туралы мәліметтер:

Сұлтанғазина Гульнар Жалелқызы – хат-хабар авторы, биология ғылымдарының кандидаты, Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университетінің профессоры, Абай даңғылы 28, 110000, Қостанай, Қазақстан.

Куприянов Андрей Николаевич – биология ғылымдарының докторы, Кузбасский ботаникалық бағы, ҚМУҚ Ғылыми-зерттеу орталығы, Ленинград даңғылы 10, 650065, Кемерово, Ресей.

Куанышбаев Сеитбек Бекенұлы – география ғылымдарының докторы, Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университетінің Басқарма төрағасы-ректоры, Байтұрсынов көшесі 47, 110000, Қостанай, Қазақстан.

Чашков Вадим Николаевич – химия магистрі, Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университетінің физика-химиялық және технологиялық зерттеулер лабораториясының меңгерушісі, Абай даңғылы 28, 110000, Қостанай, Қазақстан.

Ысқақ Алия – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университетінің Қолданбалы биотехнология ғылыми-зерттеу институтының директоры, Абай даңғылы 28, 110000, Қостанай, Қазақстан.

Нугманов Алмабек Батыржанұлы – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университетінің Ауыл шаруашылығы факультетінің деканы, Абай даңғылы 28, 110000, Қостанай, Қазақстан.

Исаева Динара Арстанқызы – хат-хабар авторы, «Биология» мамандығының докторанты, Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті, Абай даңғылы 28, 110000, Қостанай, Қазақстан.

Authors' information:

Sultangazina Gulnar – Corresponding author, Candidate of Biological Sciences, Professor, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University, 28 Abai Ave., 110000, Kostanay, Kazakhstan.

Kuprijanov Andrej – Doctor of Biological Sciences, Professor, Kuzbass Botanical Garden, Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry SB RAS, 10 Leningradsky Ave., Kemerovo, 650065, Russia.

Kuanyshbayev Seitbek – Doctor of Geographical Sciences, Chairperson of the Board – Rector, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University, 47 Baytursynov St., 110000, Kostanay, Kazakhstan.

Chashkov Vadim – Master of Chemistry, Head of the Laboratory of Physicochemical and Technological Research, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University, 28 Abai Ave., 110000, Kostanay, Kazakhstan.

Yskak Aliya – Candidate of Agricultural Sciences, Director, Scientific Research Institute of Applied Biotechnology, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University, 28 Abai Ave., 110000, Kostanay, Kazakhstan.

Nugmanov Almabek – Candidate of Agricultural Sciences, Dean, Faculty of Agriculture, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University, 28 Abai Ave., 110000, Kostanay, Kazakhstan.

Issayeva Dinara – Corresponding author, PhD student in Biology, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University, 28 Abai Ave., 110000, Kostanay, Kazakhstan.



IRSTI 34.29.01
Research article

<https://doi.org/10.32523/2616-7034-2025-151-2-129-147>

Species diversity of the family *Poaceae* Barnhart in the flora of the Betpakdala Desert (Ulytau region)

P.V. Vesselova¹, D.I. Maralov^{*1}, G.M. Kudabayeva¹, G.T. Sitpayeva¹, Z.A. Inelova²,
A.Z. Childibaeva², K.S. Izbastina^{3,4}

¹Institute of Botany and Phytointroduction, Almaty, Kazakhstan

²Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

³Astana Botanical Garden, Astana, Kazakhstan

⁴S. Seifullin Kazakh AgroTechnical Research University, Astana, Kazakhstan

*Corresponding author: izbastina.k@gmail.com

Abstract. This article presents the results of a comprehensive study of the species composition of the *Poaceae* Barnhart family in the flora of the Betpakdala Desert. The research is based on a critical review of published literature, examination of herbarium specimens from collections housed at AA and MW, and extensive fieldwork conducted by the authors. As a result, an updated checklist of *Poaceae* taxa for the region has been compiled. It includes 106 species distributed across 44 genera, 17 subtribes, 14 tribes, 7 supertribes, and 6 subfamilies. The taxonomic arrangement follows the contemporary classification system adopted by the Angiosperm Phylogeny Group IV (APG IV), and species names are aligned with the nomenclature recognized in the Plants of the World Online (POWO) database. For each species, the checklist provides detailed information on its taxonomic placement, latin binomial with author citation, life form, ecological grouping based on water availability and substrate type, habitat conditions, and flowering period. The genera with the highest species richness in the region are *Stipa* L. (11 species), *Puccinellia* Parl. (9), *Poa* L. (8), *Bromus* L. (8), and *Leymus* Hochst. (7). The article also includes a comparative analysis of the *Poaceae* species composition of Betpakdala with adjacent regions, including the Central Kazakh Upland, the Ulytau Mountains, and the Moyinkum Desert. Using the Sørensen similarity coefficient, it was determined that the highest floristic similarity exists between Betpakdala and Moyinkum, with a similarity index of 0.7. These findings contribute to a deeper understanding of grass diversity in Central Kazakhstan's arid ecosystems.

Keywords: Betpakdala, *Poaceae*, outline, species composition, modern classification, ecological features

Introduction

The conducted research is a part of research works aimed at an inventory of modern species composition of Ulytau region, including a part of the territory of the Betpakdala desert. Difficult accessibility and low water availability of this desert are obstacles to regular study of its territory. The main idea about the flora of this desert can be made mainly from herbarium collections. Studies conducted in the middle of the last century by famous botanists demonstrated that the main ecological feature of the vegetation of Betpakdala is its resistance against extreme conditions of existence [1-4].

We conducted a preliminary analysis using available literature, materials from the herbarium of the Institute of Botany and Phytointroduction in Almaty (AA) and Lomonosov Moscow State University (MW) [5-14]. Available summaries show that Betpakdala and western Pribalkhash are characterized by a high level of endemism, which further emphasizes the floristic uniqueness of this area. Here, there are such endemic and subendemic species for Central Kazakhstan as *Lepidium jarmolenkoi* V.M.Vinogr., *Megacarpaea iliensis* Golosk. et. Vassilcz. (Brassicaceae), *Artemisia hippolyti* A. Butkov (Asteraceae), *Spiraeanthus schrenkianus* (Fisch. & C.A. Mey.) Maxim. (Rosaceae), *Allium trachyscordum* Vved. (Amaryllidaceae), *Lappula duplicicarpa* Pavlov, *L. glabrata* Popov (Boraginaceae), *Asparagus angulofractus* Iljin (Asparagaceae), and some others. However, representatives of the Poaceae family, one of the leading taxa of the desert flora of Kazakhstan in terms of the number of species, are not found among them. This circumstance substantiates our scientific interest in studying the species composition of this family. It should be noted that the majority of herbarium collections of the listed species belong to the first half – middle of the XX century. Modern data on the distribution of most species and the number of their populations are not available.

To understand the role of the Poaceae family in shaping the floristic composition of adjacent regions, a comparison was conducted between the grass flora (*Poaceae*) of Betpakdala and that of neighboring regions (Moyinkum, the Kazakh Upland, and the Ulytau Mountains) using quantitative indicators and the Sørensen similarity coefficient. Floristic similarities and differences were identified, which are explained by both geographical proximity and the ecological conditions of the habitats.

Such information is extremely important for the inventory of floristic diversity of Betpakdala, in particular, the current species composition of the *Poaceae* family. New information about it will serve as a basis for the formation of the State Plant Cadastre of the newly created Ulytau region, which will serve as a basis for the formation of an inventory of the floristic diversity of Betpakdala.

Materials and research methods

When performing research work, such botanical methods were used as: route-reconnaissance; ecological-systematic; ecological-geographical; phytocenotic [15]. Collection of herbarium material was carried out according to the classical method of A.K. Skvortsov [16].

Determination of species affiliation of plants was carried out on the basis of floristic summaries: [17-20]. The nomenclature of taxa was verified according to Cherepanov S.K. and checked against the POWO database [21-22].

When compiling the list of species of the family *Poaceae* of the Betpakdala flora, available materials were used [14,23]. The structure of the species synopsis is given taking into account the modern classification adopted in the APG IV system [24,25].

To understand the ecological preferences of *Poaceae* species in relation to habitat conditions, the species synopsis distinguishes ecological groups of plants based on soil moisture and soil texture.

When comparing the species composition of the *Poaceae* family of the Betpakdala flora with the representation of this family in the floras of adjacent regions, the Serensen coefficient was applied [26]:

$$K = 2 S_{ab} / S_a + S_b,$$

where,

a and b are the number of species in the compared areas,

ab is the number of total species.

Results

As a result of the research, a species outline of the family *Poaceae* Barnhart of the flora of the Betpakdala Desert was compiled, including 106 species distributed among 44 genera, 17 subtribes, 14 tribes, 7 supertribe and 6 subfamilies.

Glyceria notata Chevall. Perennial. Grows on swampy banks of streams, ditches, lakes, and rivers in the plains. Mesophyte. Pelitophyte. Blooms V-VIII.

Neotrinia splendens (Trin.) M. Nobis, P.D. Gudkova A. Nowak Perennial [28]. It grows in deserts, dry steppes, from plains to highlands, along the banks of rivers and lakes, often forming extensive thickets. Mesophyte. Hemipelitophyte. Blooms V-VII.

Stipa caucasica Schmalh. Perennial. Grows on dry slopes and screes, rubbly and sandy plains. Xerophyte. Hemipetrophytes. Blooms IV-VI.

S. orientalis Trin. Perennial. Grows on dry rubbly steppes and stony mountain slopes. Xerophyte. Petrophytes. Blooms IV-VI.

S. hohenackeriana Trin. et Rupr. Perennial. Grows in steppes, on sandy and desert foothills, and slopes of the lower belt of mountains. Xerophyte. Hemipsammophyte. Blooms IV-VI.

S. arabica Trin. et Rupr. Perennial. Grows in dry steppes, on mountain slopes, and desert foothills. Mesophyte. Pelitophyte. Blooms V-VI.

S. kirghisorum P.A. Smirn. Perennial. Grows in steppes and foothills on rubbly and stony soil, reaching the subalpine belt of mountains. Xerophyte. Hemipelitophyte. Blooms VI-VII.

S. macroglossa P.A. Smirn. Perennial. On crushed stone, stony, loess, and sandy-pebble slopes from the foothills to the middle belt of mountains. Xerophyte. Hemipelitophyte. Blooms V-VIII.

S. richteriana Kar. et Kir. Perennial. It grows on steppes and slopes of low mountains. Xerophyte. Pelitophyte. Blooms V-VI.

S. capillata L. Perennial. Grows in steppes, deserts and on stony slopes. Xerophyte. Pelitophyte. Blooms VI-VII.

S. lessingiana Trin. et Rupr. Perennial. Grows in steppes on stony and fine-grained slopes of foothills. Xerophyte. Hemipetrophytes. Blooms IV-V.

S. sareptana A.K. Becker. Perennial. Grows in steppes, on sands and in deserts. Xerophyte. Hemipsammophyte. Blooms V-VI.

S. pulcherrima K. Koch Perennial. Grows in steppes and on dry slopes of mountains and hills. Xerophyte. Pelitophyte. Blooms V-VI.

Timouria conferta (Poir.) Sennikov Perennial. Grows in the lower belt of mountains, on plumes and dry valleys, on rubbly and clayey places in dry steppes and deserts. Mesophyte. Hemipelitophyte. Blooms V-VII.

Piptatherum songaricum (Trin. et Rupr.) Roshev. Perennial. Grows on stony, stony-rubble, stony-silty slopes, rocky outcrops and screes from the foothills to the subalpine belt of mountains. Xerophyte. Petrophytes. Blooms V-VII.

Achnatherum sibiricum (L.) Keng ex Tzvelev Perennial. It grows on sands and sandy steppes. Mesophyte. Psammophyte. Blooms VI-VII.

Phalaris arundinacea L. Perennial. Grows along the banks of rivers, lakes and streams, in damp meadows. Mesophyte. Hemipelitophyte. Blooms VI-VIII.

Avena sativa L. Perennial. Occurs as a weed in wheat crops and on fallow lands. Mesoxerophyte. Hemipelitophyte. Blooms VI-VIII.

A. fatua L. Annual. Occurs as a weed in crops of predominantly cereal crops. Mesoxerophyte. Hemipelitophyte. Blooms VI-VII.

Koeleria pyramidata (Lam.) P. Beauv. Perennial. It grows in steppes, on steppe mountain slopes and steppe meadows; in mountains it rises up to the alpine belt. Xerophyte. Pelitophyte. Blooms V-VIII.

Helictotrichon desertorum (Less.) Pilg. Perennial. Grows in dry steppes and on dry mountain slopes. Xerophyte. Pelitophyte. Blooms V-VI.

Anthoxanthum nitens (Weber) Y. Schouten et Veldkamp Perennial. Grows in flooded, steppe meadows, often as a weed on fallow lands. Mesophyte. Pelitophyte. Blooms V-VI.

Agrostis gigantea Roth Perennial. Grows in damp places, along streams, on sazes, meadows, along river beds from the foothills to the upper belt of mountains. Mesophyte. Pelitophyte. Blooms VI-VIII.

Calamagrostis macrolepis Litv. Perennial. Grows along banks of aryks, on deposits, sometimes on saline places on the plain, on grassy fine-grained slopes, along riverbeds in the mountains up to the upper belt. Halomesophyte. Hemipelitophyte. Blooms VI-VIII.

C. epigejos (L.) Roth Perennial. Grows on sandy and swampy soils of the plains and foothills. Xerophyte. Hemipsammophyte. Blooms VI-VII.

C. pseudophragmites (Haller f.) Koeler Perennial. Grows on sandy soil, on the banks of rivers, lakes and ditches, on damp meadows. Mesophyte. Hemipsammophyte. Blooms VI-VII.

Polypogon maritimus Willd. Perennial. Grows on saline meadows, sands, and dry river beds. Haloxeromesophyte. Hemipsammophyte. Blooms V-VII.

P. monspeliensis (L.) Desf. Annual. Grows on damp, solonetzified places. Halomesophyte. Pelitophyte. Blooms V-VIII.

Helictochloa hookeri (Scribn.) Romero Zarco Perennial. Occurs in the middle and upper belts of mountains, on rubbly, rubbly-stony, rubbly-small-gravel slopes. Xerophyte. Hemipetrophytes. Blooms V-VIII.

Lolium arundinaceum (Schreb.) Darbysh. Perennial. It grows on moist solonetz meadows, on the banks of lakes and rivers, along aryks, in gardens, on clay cliffs, among crops, and on deposits from plains to the middle belt of mountains. Halomesophyte. Pelitophyte. Blooms V-VII.

Festuca valesiaca Schleich. ex Gaudin Perennial. Occurs in steppes, on dry and solonetz meadows, stony slopes of hills, foothill slopes, on stony, rubbly and sandy habitats, among rocks, on scree, on pebbles, moraine hills from plains to the upper belt of mountains. Mesoxerophyte. Hemipetrophytes. Blooms IV-VIII.

F. rupicola Heuff. Perennial. It grows in steppes, on steppe, dry and solonetz meadows, on steppe slopes in the lower belt of mountains. Xerophyte. Pelitophyte. Blooms V-VI.

Puccinellia distans (Jacq.) Parl. Perennial. Grows on moist, slightly saline or waterlogged meadows, sandy-clay shoals, cartilaginous-pebble habitats along the banks of rivers, lakes, streams and ditches from plains to the upper belt of mountains; weeds. Mesophyte. Hemipelitophyte. Blooms IV-IX.

P. diffusa (V.I. Krecz.) V.I. Krecz. ex Drobov Perennial. Grows on saline sands, solonchaks along the banks of rivers, lakes, streams, springs and along mountain loops. Haloxeromesophyte. Psammophyte. Blooms IV-VI.

P. dolicholepis (V.I. Krecz.) Pavlov Perennial. Grows on solonts, solonchaks, saline sands, in the lower part of rubbly slopes of hills, along the margins of takyr, along the banks of rivers and saline lakes, near springs. Hyperhalomesophyte. Hemipsammophyte. Blooms V-VI.

P. poecilantha (K. Koch) Grossh. Perennial. Grows on damp solonetz meadows, wet solonchaks, sandy and loamy-sandy habitats, waterlogged depressions along the banks of seas, rivers, salt lakes, streams, and ditches from plain to foothills; weeds. Hyperhalomesophyte. Hemipelitophyte. Blooms V-VIII.

P. gigantea (Grossh.) Grossh. Perennial. Grows on solonetz meadows, banks of water bodies, and ditches, occasionally in foothills. Mesophyte, галофит. Halomesophyte. Hemipelitophyte. Blooms VI-VII.

P. hauptiana (V.I. Krecz.) Kitag. Perennial. Grows on damp and slightly saline meadows and marshes, on weedy places. Mesophyte. Pelitophyte. Blooms VI-VII.

P. roshetvitsiana (Schischk.) V.I. Krecz. ex Tzvelev Perennial. Grows on solonetz and solonetz meadows, in chia thickets. Halomesophyte. Pelitophyte. Blooms VI-VII.

P. macropus V.I. Krecz. Perennial. Grows on saline desert sands. Haloxerophyte. Psammophyte. Blooms V-VI.

P. tenuissima (Litv. ex V.I. Krecz.) Pavlov Perennial. Grows on dry and coastal solonetz steppes, in steppe hollows and depressions. Halomesophyte. Pelitophyte. Blooms V-VI.

Catabrosella humilis (M. Bieb.) Tzvelev Perennial. Grows in clay steppes and deserts, on sandy sediments, and less often on stony slopes of foothills and shallow hills. Mesoxerophyte. Hemipelitophyte. Blooms IV-V.

Poa annua L. Perennial. It grows in weedy places, meadows, near roads and ditches, and rises to the mountains. Mesophyte. Pelitophyte. Blooms IV-VIII.

P. bulbosa L. Perennial. It grows on steppes, in large-grass and wormwood-ephemeral deserts, on sands and dry slopes of foothills. Xerophyte. Hemipsammophyte. Blooms IV-VI.

P. pratensis L. Perennial. It grows in meadows and shrubs, near streams, from the plain to the subalpine belt of mountains. Mesophyte. Pelitophyte. Blooms V-VII.

P. angustifolia L. Perennial. Grows on dry meadows, steppes, and mountain slopes, up to the subalpine belt. Xerophyte. Pelitophyte. Blooms V-VII.

P. palustris L. Perennial. Grows in shrub and tree thickets, in meadows, along river and stream banks, and on mountain slopes in the lower belt. Mesophyte. Pelitophyte. Blooms V-VI.

P. versicolor Besser Perennial. Grows on mountain steppes and dry steppe slopes. Mesoxerophyte. Pelitophyte. Blooms VI-VII.

P. nemoralis L. Perennial. Grows on wet meadows, in river valleys, along the banks of water bodies and forest edges. Mesophyte. Pelitophyte. Blooms VI-VIII.

P. diaphora Trin. Annual. Grows on dry riverbeds, banks of rivers, lakes and streams on saline soil. Haloxerophyte. Hemipelitophyte. Blooms V-VI.

Beckmannia eruciformis (L.) Host Perennial. Grows along the banks of rivers and ditches, on moist solonetz meadows. Halomesophyte. Pelitophyte. Blooms VI-VIII.

Alopecurus arundinaceus Poir. Perennial. Grows on flood and solonetz meadows, on the banks of rivers and streams and in swamps. Галогигрофит. Hemipelitophyte. Blooms V-VII.

Apera interrupta (L.) P. Beauv. Annual. Grows on sands and as a weed in cultivated fields. Xeromesophytes. Psammophyte. Blooms IV-V.

Bromus scoparius L. Annual. It grows in swamps and fallow lands, in gardens, near roads, along river valleys, on dry clay slopes from plains to the lower belt of mountains, and weeds in rainfed crops. Xeromesophytes. Pelitophyte. Blooms IV-VI.

B. lanceolatus Roth Annual. It grows on meadows, lanes, storages, semifixed and fixed sands, on gravelly and sandy riverbeds from foothill deserts to the middle belt of mountains, less often on meadows in river valleys and along the shores of lakes, and in weeds in crops. Mesoxerophyte. Hemipsammophyte. Blooms V-VII.

B. inermis Leyss. Perennial. It grows on steppe meadows, meadow slopes, in shrubs, and rises to the mountains up to the alpine belt. Xeromesophytes. Pelitophyte. Blooms VI-VII.

B. tectorum L. Annual. It grows in southern ephemeral deserts, on sands, often as a weed on deposits, near roads and dwellings. Xeromesophytes. Psammophyte. Blooms IV-VI.

B. japonicus subsp. *japonicus* Annual. It grows in meadow steppes, on fallow lands, often as a weed near roads, in crops and near dwellings; it enters the middle belts of mountains. Mesophyte. Pelitophyte. Blooms V-VII.

B. danthoniae Trin. Annual. It grows in meadows, in swamps, along gravelly riverbeds, from foothill deserts to the middle belt of mountains; weeds in crops and gardens. Mesoxerophyte. Pelitophyte. Blooms V-VII.

B. gracillimus Bunge Annual. Grows in open places on sandy and clay soils in deserts and foothills, in mountains, on dry slopes, screes, and gravelly riverbeds up to the upper belt of mountains. Xerophyte. Hemipelitophyte. Blooms IV-VIII.

B. squarrosus L. Perennial. Grows in dry steppes of plains and foothills, clay deserts, as a weed in crops and near roads. Xerophyte. Pelitophyte. Blooms V-VII.

Henrardia persica (Boiss.) C.E. Hubb. Annual. Grows on dry, rubbly, and clayey, sometimes sandy slopes of foothills, occasionally as a weed in rainfed crops. Xerophyte. Hemipelitophyte. Blooms V-VI.

Agropyron fragile (Roth) P. Candargy Perennial. Grows on flat sandy steppes and sands. Xerophyte. Psammophyte. Blooms VI-VII.

A. cristatum (L.) Gaertn. Perennial. Grows on dry steppes, mountain and hill slopes up to the middle belt. Xerophyte. Pelitophyte. Blooms VI-VII.

A. desertorum (Fisch. ex Link) Schult. Perennial. Grows on clay and stony plain steppes. Xerophyte. Hemipelitophyte. Blooms VI-VII.

Hordeum bogdanii Wilensky Perennial. Grows on saline meadows and steppe estuaries. Halomesophyte. Pelitophyte. Blooms VI-VII.

H. brevisubulatum (Trin.) Link Perennial. Grows on saline meadows, banks of rivers and lakes. Halomesophyte. Pelitophyte. Blooms VI-VII.

H. murinum subsp. *leporinum* (Link) Arcang. Annual. Occurs in river valleys, foothill deserts, foothills and the lower belt of mountains, weeds in crops, gardens, on boundaries and foothills, and near dwellings. Mesoxerophyte. Pelitophyte. Blooms IV-VII.

Leymus paboanus (Claus) Pilg. Perennial. Grows on solonets, solonchaks and solonetz meadows. Halomesophyte. Pelitophyte. Blooms VI-VII.

L. racemosus (Lam.) Tzvel. Perennial. Grows on sands and sandy steppes. Xerophyte. Psammophyte. Blooms VI-VII.

L. ramosus (K.Richt.) Tzvelev Perennial. Grows on solonetz steppes, on solonetz and solonetz meadows, fallow lands, sometimes as a weed. Haloxeromesophyte. Pelitophyte. Blooms VI-VII.

L. karelinii (Turcz.) Tzvelev Perennial. Grows in clay desert. Xerophyte. Pelitophyte. Blooms V-VI.

L. akmolinensis (Drobow) Tzvelev Perennial. Grows on solonchaks and solonchak meadows, banks of lakes, rivers and streams. Haloxeromesophyte. Pelitophyte. Blooms VI-VII.

L. multicaulis (Kar. Kir.) Tzvelev Perennial. Grows on solonchaks and saline meadows. Halomesophyte. Pelitophyte. Blooms V-VI.

L. angustus (Trin.) Pilg Perennial. Grows on dry steppes, on hills and slopes of the lower belt of mountains, riverbanks. Mesoxerophyte. Pelitophyte. Blooms VI-VII.

Psathyrostachys juncea (Fisch.) Nevski Perennial. Grows in dry steppes, on solonchaks and steppe slopes, and on plumes of mountains up to the middle belt. Haloxerophyte. Pelitophyte. Blooms VI-VII.

Taeniatherum caput-medusae (L.) Nevski Annual. Grows along rocky slopes and plumes of the southern foothills. Xerophyte. Petrophytes. Blooms IV-V.

Thinopyrum intermedium subsp. *intermedium* Perennial. Grows on dry slopes from the foothills to the middle belt of mountains, forming peculiar wheatgrass steppes. Xerophyte. Pelitophyte. Blooms V-VII.

Elymus repens (L.) Gould Perennial. It grows in steppes and meadows, on fallow lands and estuaries, often as a weed and crops. Xeromesophytes. Pelitophyte. Blooms VI-VII.

Eremopyrum triticeum (Gaertn.) Nevski Annual. It grows in steppes and deserts on rubbly, sandy and solonetz soils. Haloxerophyte. Hemipelitophyte. Blooms IV-V.

E. bonaepartis (Spreng.) Nevski Annual. Grows on plains, sands and clay soils of deserts. Xerophyte. Hemipelitophyte. Blooms IV-V.

E. orientale (L.) Jaub. et Spach Perennial. Grows in southern steppes and deserts, on dry slopes of the lower belt of mountains. Xerophyte. Pelitophyte. Blooms IV-V.

E. distans (K.Koch) Nevski Perennial. Grows in southern steppes and deserts, slightly occurs on dry mountain slopes of the lower belt. Xerophyte. Pelitophyte. Blooms IV-V.

Secale sylvestre Host Annual. Grows on sands and steppe sandy loam. Xerophyte. Hemipsammophyte. Blooms V-VI.

Digitaria sanguinalis (L.) Scop. Annual. It grows as a weed on sandy soils, in crops, near ditches, on lawns. Mesophyte. Hemipsammophyte. Blooms VII-X.

Echinochloa crus-galli (L.) P. Beauv. Annual. Grows as a weed in crops and vegetable gardens. Mesophyte. Pelitophyte. Blooms VI-VIII.

Cenchrus americanus (L.) Morrone Annual. Grows as a weed in crops, gardens and orchards, less often along riverbanks and on mountain loops. Mesophyte. Pelitophyte. Blooms VII-IX.

Setaria viridis (L.) P. Beauv. Annual. Grows as a weed in crops, gardens and orchards, less often along riverbanks. Mesophyte. Pelitophyte. ЦВ: VII-IX.

Bothriochloa ischaemum (L.) Keng Perennial. Grows on dry slopes of mountains and hills, less often in flat steppes. Xerophyte. Pelitophyte. Blooms VI-VII.

Stipagrostis karelinii (Trin. et Rupr.) H. Scholz Perennial. It grows on mobile barchan and bumpy sands. Xerophyte. Psammophyte. Blooms V-VI.

S. pennata (Trin.) De Winter Perennial. Grows on barchan and bumpy sands. Xerophyte. Psammophyte. Blooms V-VI.

Aristida adscensionis L. Annual. Grows on dry sandy and stony places, not rising high up into the mountains. Xerophyte. Hemipetrophytes. Blooms V-IX.

Phragmites australis (Cav.) Trin. Steud. Perennial. Grows in the mouths of rivers, forming huge thickets, along the banks of lakes, streams and ditches, on flood meadows, in depressions between bumpy sands and as a weed on irrigated lands. Hygrophyte. Hemipelitophyte. Blooms VII-X.

Schismus arabicus Nees Annual. It grows on dry sandy or stony places. Xerophyte. Hemipsammophyte. Blooms IV-VI.

Eragrostis minor Host Annual. It grows on clay and sandy slopes, along the banks of rivers and ditches, as a weed in crops and vegetable gardens. Mesoxerophyte. Hemipelitophyte. Blooms VII-VIII.

E. cilianensis (All.) Vignolo ex Janch. Annual. It grows in weedy places, among crops and in storage on the plain, and enters the foothills and mountains. Mesoxerophyte. Pelitophyte. Blooms V-IX.

E. collina Trin. Perennial. Grows on saline places and saline sandy steppes. Haloxerophyte. Hemipsammophyte. Blooms VI-VII.

E. pilosa (L.) Beauv. Annual. Grows on sandy banks of rivers and reservoirs and in weedy places. Mesoxerophyte. Hemipsammophyte. Blooms VII-VIII.

Sporobolus alopecuroides (Piller Mitterp.) P.M. Peterson [27] Annual. Grows on damp, sandy, and saline places. Haloxeromesophyte. Psammophyte. Blooms VI-VIII.

S. borszczowii (Regel) P.M. Peterson Annual. Grows in the valleys of desert rivers, on damp saline places. Mesophyte. Hemipelitophyte. Blooms VI-VII.

S. aculeatus (L.) P.M. Peterson [29] Annual. Grows on damp, saline soils. Halomesophyte. Pelitophyte. Blooms VI-VIII.

S. schoenoides (L.) P.M. Peterson Annual. Grows on damp, sandy, and saline soils. Haloxeromesophyte. Hemipsammophyte. Blooms VI-VIII.

S. turkestanicus (Eig) P.M. Peterson Annual [30]. Grows on saline sands and clays. Haloxerophyte. Hemipelitophyte. Blooms IV-VI.

Aeluropus littoralis (Gouan) Parl. Perennial. Grows on saline soils and saline sands. Halomesoxerophyte. Hemipsammophyte. Blooms IV-VII.

A. lagopoides (L.) Thwaites Perennial. On sandy sites, on saline soils, moist saline areas on the plain and in the foothills. Haloxerophyte. Hemipsammophyte. Blooms V-VIII.

Cynodon dactylon (L.) Pers. Perennial. Grows on sandy places and as a weed near dwellings, in crops, near ditches. Mesoxerophyte. Hemipsammophyte. Blooms V-VIII.

The leading genera in terms of number of species include the following genera: *Stipa* L. – 11 species, *Puccinellia* Parl. – 9, *Poa* L. – 8, *Bromus* L. – 8, *Leymus* Hochst. – 7.

During the analysis of the species composition of the Betpakdala region, it was found that, according to current data, species such as *Puccinellia macropus* V.I. Krecz. and *Leymus karelinii* (Turcz.) Tzvelev, which were previously considered endemics of Kazakhstan, are no longer classified as such. Species of the *Poaceae* family, included in the Red Data Book of Kazakhstan (2014), were not recorded in the flora of Betpakdala.

In the flora of Betpakdala, the family *Poaceae* is represented by 106 species, among which 30 species are annual plants and 76 are perennials. The analysis of ecological features showed the following distribution of species: in relation to water regime: 22 mesophytes, 5 xeromesophytes, 2 hyperhalomesophytes, 12 halomesophytes, 6 haloxeromesophytes, 37 xerophytes, 13 mesoxerophytes, 7 haloxerophytes, 1 halomesoxerophyte and 1 hygrophyte (Figure 1). In relation to substrate: 10 psammophytes, 17 Hemipsammophytes, 48 pelitophytes, 23 hemipelitophytes, 3 petrophytes and 5 hemipetrophytes (Figure 2).

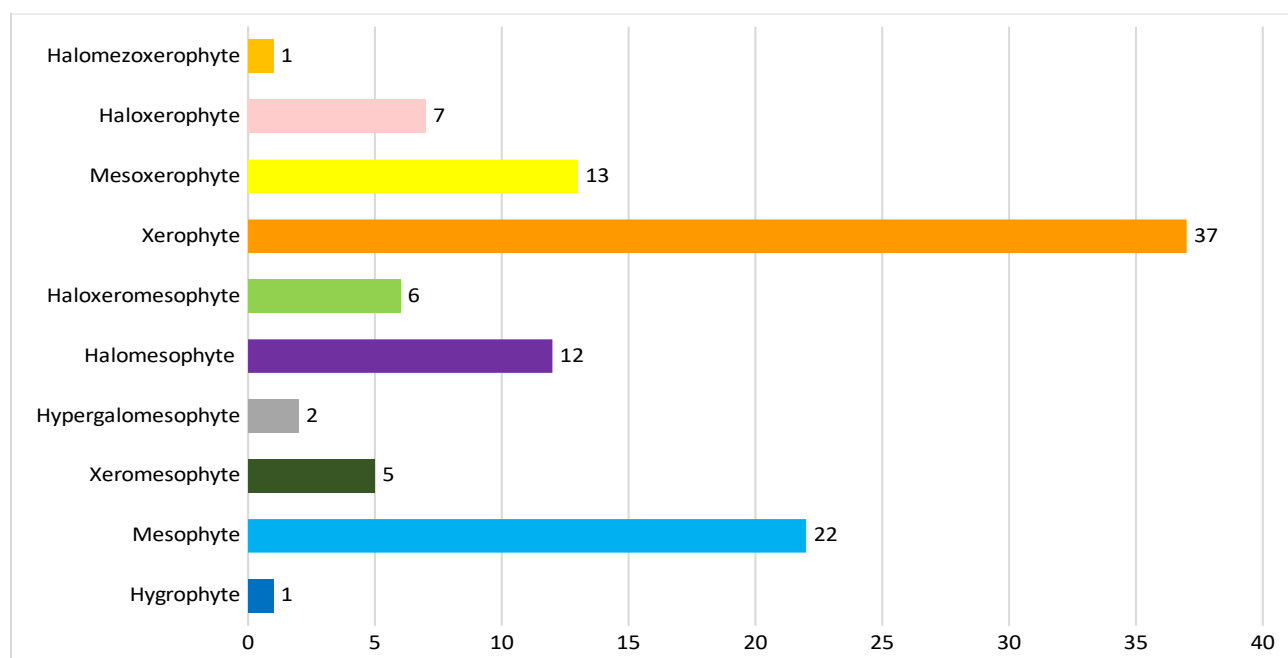


Figure 1. Distribution of the species composition of the *Poaceae* family in the flora of Betpakdala in relation to soil moisture

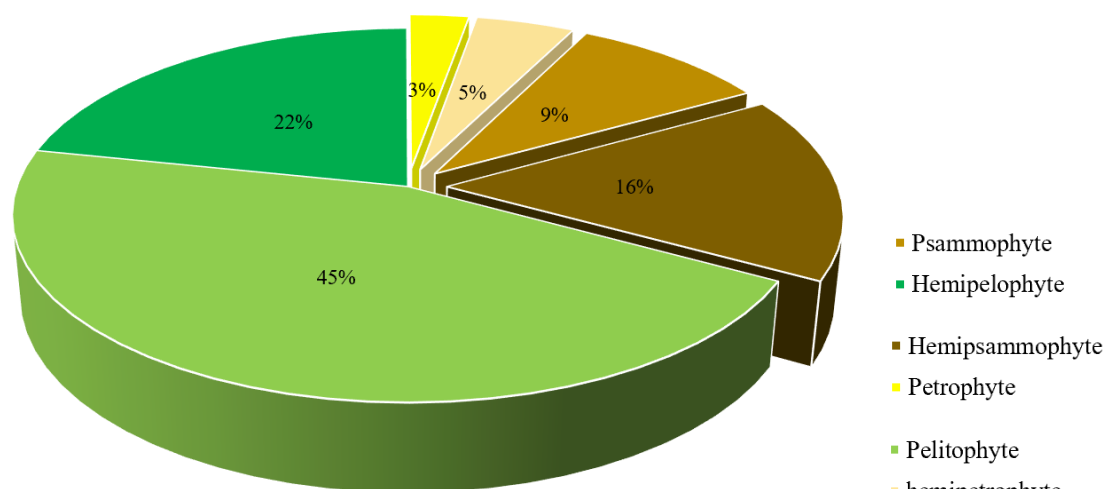


Figure 2. Distribution of the species composition of the *Poaceae* family in the flora of Betpakdala in relation to soil texture

The conducted comparative analysis showed the similarity of species composition of *Poaceae* family of Betpakdala flora and its representation in the floras of adjacent regions (Kazakh Upland, Ulytau mountains and sandy desert Moyinkum) (Table 1).

Table 1
Distribution of leading genera of the family *Poaceae* in the floras of Betpakdala, Moyinkum, Kazakh Upland and Ulytau

Betpakdala		
Leading genera	Number of species	% of total number of species
<i>Stipa</i>	11	10.3
<i>Puccinellia</i>	9	8.5
<i>Poa</i>	8	7.5
<i>Bromus</i>	8	7.5
<i>Leymus</i>	7	6.6
Total	106	40.5
Kazakh Upland		
Leading genera	Number of species	% of total number of species
<i>Stipa</i>	15	10.7
<i>Poa</i>	13	9.2
<i>Puccinellia</i>	9	6.4
<i>Elymus</i>	8	5.7
<i>Leymus</i>	7	5
Total	140	37.1

Moyinkum		
Leading genera	Number of species	% of total number of species
Stipa	9	11.2
Poa	7	8.7
Bromus	7	8.7
Puccinellia	4	5
Leymus	4	5
Total	80	38.8
Ulytau		
Leading genera	Number of species	% of total number of species
Stipa	9	13.6
Poa	8	12.1
Leymus	5	7.5
Puccinellia	3	4.5
Bromus	3	4.5
Total	66	42.4

A comparative analysis of the similarity of the species composition of representatives of the *Poaceae* family in the floras of adjacent territories yielded the following results, presented in Table 2.

Table 2

Comparative analysis of the similarity of the species composition of representatives of the *Poaceae* family

Comparison between the floras	Calculation method	Similarity coefficient
Betpakdala and Kazakh Upland	$K = 2 \times 82 / 246$	0.6
Betpakdala and Ulytau	$K = 2 \times 49 / 172$	0.5
Betpakdala and Moyinkum	$K = 2 \times 67 / 186$	0.7

Thus, the highest floristic similarity was found between the species composition of the flora of Betpakdala and the Moyinkum Desert ($K = 0.7$), which is also supported by the proportional similarity of dominant genera: *Stipa* (10.3% in Betpakdala and 11.2% in Moyinkum), as well as comparable values for the genera *Poa* and *Bromus*. This is explained by similar arid ecological conditions, sandy substrates, and vegetation types dominated by grasses and xerophytic herbs.

The relatively small difference in the coefficient ($K = 0.6$) in the comparison between Betpakdala and the Kazakh Upland reflects not only the geographical proximity of these regions but also the mutual penetration and participation of species in the formation of their vegetation cover. Despite a greater total number of species, dominant genera such as *Stipa* and *Poa* demonstrate comparable proportions.

The lowest similarity was observed in the comparison between the species diversity of Betpakdala and Ulytau ($K = 0.5$), which may be due to the differences in terrain and landscape structure in the Ulytau region. Here, the representation of the genera *Puccinellia* and *Bromus* is noticeably lower. These results emphasize that not only geographical proximity but also ecological similarity plays a key role in shaping floristic composition.

Discussion

The Poaceae flora of the Betpakdala Desert demonstrates a high degree of ecological specialization and taxonomic richness. This work contributes new insights into the structure and dynamics of grass diversity in arid ecosystems of Central Asia. The identified patterns and hypotheses provide a foundation for future research focused on floristic change, ecological resilience, and conservation under the dual pressures of climate change and human impact.

Additional insights into the floristic context of the Betpakdala Desert can be drawn from earlier works such as A.N. Kupriyanov and the foundational studies of Z.V. Kubanskaya [5,13]. These works highlighted that the northern boundary of the Betpakdala desert flora extends approximately along the 47°N parallel, where steppe communities begin to transition into desert vegetation. They also described a complex mosaic of phytocoenoses, including *Artemisia*-grass steppes and halophytic shrublands, which corresponds well with our observations of habitat heterogeneity and substrate-driven plant distribution. Particularly relevant is the record of rare grasses such as *Aristida heymannii*, *Piptatherum songaricum*, and *Stipa richteriana* on southern granite outcrops like Mount Pystan-species that reflect floristic continuity with our present records.

Our findings, especially regarding the presence of pelitophytic and xerophytic *Poaceae* species, align with Kubanskaya's estimation that northern deserts occupy around 90% of Betpakdala's territory, where dominant vegetation includes drought-adapted shrubs like *Anabasis salsa*, *Salsola laricina*, and halophytic taxa [5]. The floristic similarity further strengthens the ecological cohesion of the region's plant assemblages. Furthermore, the detection of ephemeral and ephemeroïd species, such as *Catabrosella humilis* and *Eremopyrum orientale*, reported both in historical surveys and our current study, suggests that seasonal hydrological conditions continue to play a significant role in shaping the short-term composition of Poaceae communities. The expansion or contraction of these species may serve as a sensitive indicator of climate variability in arid environments.

We hypothesize that observed shifts in the species composition and ecological group balance, such as the dominance of perennial xerophytes and pelitophytes, may also reflect a gradual aridization trend, possibly amplified by reduced grazing pressure in some areas or localized microclimatic stabilization (e.g., due to changing land use or hydrology). Conversely, areas experiencing intensified anthropogenic influence, such as pasture degradation or soil compaction, might be favoring more resilient yet ecologically narrower taxa, which could result in a functional simplification of the grass layer over time.

The integration of historical floristic records and contemporary ecological analysis underscores the scientific novelty of this study: it not only updates species richness estimates

but also links them to ongoing ecological processes. This dual temporal-spatial perspective is essential for building a predictive understanding of floristic dynamics in fragile desert ecosystems like Betpakdala. Thus, as a result of study, critical analysis and generalization of available data on the species composition of the family *Poaceae* Barnhart in the flora of the Betpakdala Desert, 106 species distributed in 44 genera have been identified to date. *Perennials* dominate among them, accounting for 71.6% of the species. The genera *Stipa* L., *Puccinellia* Parl., *Poa* L. are predominant in number of species and together include 28 species or 26% of the total number of species. In relation to water, 10 groups of species were identified, with xerophytes – 35% and mesophytes – 20% predominating, and in relation to the substrate, 6 groups were identified with pelitophytes dominating 67%. Comparative analysis of *Poaceae* species composition of Betpakdala flora with representation of this family in the floras of neighboring regions naturally showed the greatest similarity (Sørensen's coefficient is equal to 0.7) between Betpakdala and Moinkum deserts.

Author Contributions

V.P. and **K.G.** – supervisor of the study, critically revising its content; **M.D.** – conceptualization, investigation & data curation; **S.G.** – review & editing; **I.Z.** – supervisor; **I.K.** and **Ch.A.** – formal analysis. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding

This research was funded by the Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR23591088).

Conflicts of Interest

The authors declare no conflicts of interest.

Compliance with ethical standards

This article does not contain a description of studies performed by the authors involving people or using animals as objects.

References

1. Крашенинников ИМ. Характеристика растительного покрова Центрального Казахстана. Матер. совещания по Центральному Казахстану, Труды Сов. Производительных сил; 1931;4(12-14):2.
2. Закржевский БС, Коровин ЕП. Экологические особенности главнейших растений Бетпак-Дала (Ecological properties of typical plants of Betpak-Dala): Труды Среднеазиатского государственного университета; 1935;23.
3. Павлов НВ. Растительность западной Бетпак-дала и Карсакпайского плато. Среднеазиатского гос. университета; 1935.
4. Рубцов НИ, Кубанская З.В. Флора пустыни Бетпак-Дала, Известия АН КазССР; 1949;3(52).
5. Кубанская ЗВ. Растительность и кормовые ресурсы пустыни Бет-Пак-Далы, Алма-Ата: Изд-во АН КазССР. 1956.

6. Кердяшкин АВ, Садвокасов РЕ, Говорухина СА. Анализ флористического состава северо-западной части пустыни Бетпак-Дала, Вестник КазНУ. 2007;2.
7. Веселова ПВ. и др. Редкие виды флоры Иле-Балхашского региона Вестник КазНУ. Серия биологическая. 2011;52(6):52-56.
8. Байтулин ИО, Лысенко ВВ, Нурушева АМ. К вопросу эндемизма в роде *allium* L. в Казахстане, Қазақстан Республикасы; 2015;2224:95.
9. Веселова ПВ. Крестоцветные пустыни Бетпакдала, Аридные экосистемы. 2016;22(66):31-37.
10. Владимирович КР. Флора пестроцветных обнажений Средней Азии (краткий анализ и вопросы генезиса). *Turczaninowia*. 2017;20(4):125-151. doi.org/10.14258/turczaninowia.20.4.14
11. Куприянов АН, Хрусталева ИА. Флора горы Бектауата (Центральный Казахстан), Ботанические исследования Сибири), Ботанические 2010;10:25-36.
12. Куприянов АН. Заметка об эндемике Центрального Казахстана–*Artemisia hippolyti* Butk. *Turczaninowia*. 2013;16(4):12-15.
13. Куприянов А.Н. Конспект флоры Казахского мелкосопочника. 2020.
14. «Плантиум» [Internet]. Geneva: WHO; 2023 [cited 2025 may 05]. Available from: <https://www.plantarium.ru>
15. Артаев ОН и др. Методы полевых экологических исследований, учеб. пособие–Саранск. 2014.
16. Скворцов АК. Гербарий. Пособие по методике и технике. 1977.
17. Гамаюнова АП, Кузнецов НМ. Сем. Злаки – *Gramineae* Juss. Флора Казахстана. 1956;1:112-334.
18. Гамаюнова АП, Филатова НС. Сем. 19. Злаковые – *Gramineae* Juss., Иллюстрированный определитель растений Казахстана. 1969.
19. Определитель растений Средней Азии: Критический конспект флоры Средней Азии. 1968;1:49-197.
20. Гудкова ПД. и др. Определитель злаков Алтайского края. 2024.
21. Черепанов СК. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). 1995.
22. Plants of the World online [Internet]. Geneva: WHO; 2023 [cited 2025 may 08]. Available from: <https://powo.science.kew.org>
23. Маралов ДИ, Веселова ПВ, Кудабаева ГМ. Скрининг видового состава сем. *Poaceae* barnhart флоры бетпакдалы по литературным источникам и гербарным материалам. *Spiraeanthus*. 2024;1:125-130.
24. Angiosperm Phylogeny Group. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical journal of the Linnean Society*. 2016;181(1):1-20.
25. Soreng RJ, et al. A worldwide phylogenetic classification of the *Poaceae* (*Gramineae*) III: An update. *Journal of Systematics and Evolution*. 2022; 60(3):476-521.
26. Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы. 1980.
27. Peterson PM, et al. (2332) proposal to conserve the name *sporobolus* against *spartina*, *crypsis*, *ponceletia*, and *heleochloa* (*Poaceae*: *Chloridoideae*: *Sporobolinae*). *Taxon*. 2014.
28. Nobis M, et al. *Neotrinia* gen. nov and *Pennatherum* sect. Nov. In *Achnatherum* (*Poaceae*: *Stipeae*). *Turczaninowia*. 2019;22(1):37-41.
29. Peterson PM, et al. (2332) proposal to conserve the name *sporobolus* against *spartina*, *crypsis*, *ponceletia*, and *heleochloa* (*Poaceae*: *Chloridoideae*: *Sporobolinae*). *Taxon*. 2014.
30. Hamzaoglu, Ergin. "*Sporobolus turcicus* (sect. *Crypsis*, *Poaceae*), a new species from Türkiye." *Anatolian Journal of Botany*. 2024.

**Бетпақдала шөлінің флорасындағы Poaceae Barnhart тұқымдасының түрлік алуандығы
(Ұлытау облысы)**

П.В. Веселова¹, Д.И. Маралов¹, Г.М. Кұдабаева¹, Г.Т. Ситпаева¹,

З.А. Инелова², А.Ж. Чилдибаева², К.С. Избастина^{3,4}

¹*Ботаника және фитоинтродукция институты, Алматы, Қазақстан*

²*Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан*

³*Астана ботаникалық бағы, Астана, Қазақстан*

⁴*С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан*

Аңдатпа. Мақалада Бетпақдала шөлі флорасының Poaceae Barnhart тұқымдасының түрлік құрамын зерттеу нәтижелері келтірілген. Атап айтқанда, APG IV жүйесінде қабылданған заманауи классификацияны ескере отырып, түрлердің қысқаша мазмұны берілген. Түрлер үшін конспекте таксономиялық тиістілігі (субфамилияға, суприбеге, тайпаға, субтрибеге және тұқымға), автормен латын атауы, тіршілік формасы, су мен субстратқа қатысты топ, өсудің экологиялық жағдайлары, гүлдену мерзімдері, фотосинтез түрі және Қазақстан шегінде таралуы көрсетіледі. Конспект 44 туыс, 17 триба асты, 14 триба, 7 триба үсті және 6 тұқымдас асты арасында бөлінген 106 түрді қамтиды. Түрлердің саны бойынша жетекші туыстардың қатарына жатады: *Stipa* L. – 11 түрі, *Puccinellia* Parl. – 9, *Poa* L.-8, *Bromis* L.-8, *Leymus* Hochst. – 7. Бұдан басқа, Poaceae Бетпақдала флорасының түрлік құрамын осы отбасының іргелес өңірлердің (Орталық Қазақ ұсақ шоқысы, Ұлытау таулары мен Мойынқұм құмды шөлі) флораларында ұсынылуымен салыстырмалы талдау нәтижелері келтіріледі. Серенсен коэффициентінің формуласын қолдану негізінде Poaceae тұқымдасының құрамының ең үлкен ұқсастығы Бетпақдала және Мойынқұм флоралары болып табылады. Олардың ұқсастық коэффициенті 0,7.

Түйін сөздер: Бетпақдала, Poaceae, конспект, түрлік құрамы, қазіргі классификациясы, экологиялық ерекшеліктері

**Видовое разнообразие семейства Poaceae Barnhart флоры пустыни Бетпақдала
(Улытауская область)**

П.В. Веселова¹, Д.И. Маралов¹, Г.М. Кудабеева¹, Г.Т. Ситпаева¹,

З.А. Инелова², А.Ж. Чилдибаева², К.С. Избастина^{3,4}

¹*Институт ботаники и фитоинтродукции, Алматы, Казахстан*

²*Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан*

³*Астанинский ботанический сад, Астана, Казахстан*

⁴*Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Астана, Казахстан*

Аннотация. В статье приводятся результаты изучения видового состава семейства Poaceae Barnhart флоры пустыни Бетпақдала. В частности, дается конспект видов с учетом современной классификации, принятой в системе APG IV. Для видов в конспекте указывается таксономическая

принадлежность (к подсемейству, надтрибе, трибе, подтрибе и роду), латинское название с автором, жизненная форма, группа по отношению к воде и субстрату, экологические условия произрастания, сроки цветения, тип фотосинтеза и распространение в пределах Казахстана. Конспект включает 106 видов, распределенных между 44 родами, 17 подтрибами, 14 трибами, 7 надтрибами и 6 подсемействами. К числу ведущих по количеству видов относятся следующие роды: *Stipa* L. – 11 видов, *Puccinellia* Parl. – 9, *Poa* L. – 8, *Bromus* L. – 8, *Leymus* Hochst. – 7. Кроме того, приводятся результаты сравнительного анализа видового состава Роасеае флоры Бетпакдалы с представленностью этого семейства во флорах смежных регионов (Центрального Казахского мелкосопочника (ЦКМ), гор Улытау и песчаной пустыни Мойынкумы). На основании применения формулы коэффициента Серенсена показано, что наибольшее сходство состава семейства Роасеае видов имеют флоры Бетпакдалы и Мойынкумов. Коэффициент их сходства равен 0,7.

Ключевые слова: Бетпакдала, Роасеае, конспект, видовой состав, современная классификация, экологическая особенность

References

1. Krashenninnikov IM. Kharakterestika rastitelnogo pokrova Centralnogo Kazakhstana [Characterization of vegetation cover of Central Kazakhstan]. Materialy soveshchaniya po Centralnomu Kazakhstana. Trudy Sovetskikh Proizvoditelnykh sil. Seriya kazakhskaya. 1931;4:12-14. [in Russian]
2. Zakrzewski BS, Korovin EP. Ekologicheskie osobennosti glavneishikh rastenii Betpak-Dala [Ecological features of the main plants of Betpak-Dala]. Trudy Sredneaziatskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya VIII-b. Botanika. 1935;23. [in Russian]
3. Pavlov NV. Rastitelnost zapadnoi Betpak-Dala i Karsakpaiskogo plato [Vegetation of the western Betpak-dala and Karsakpai plateau]. Tashkent: Izd-vo Sredneaziatskogo gosudarstvennogo universiteta; 1935. [in Russian]
4. Rubtsov NI, Kubanskaya ZV. Flora pustyni Betpak-Dala [Flora of the Betpak-Dala desert]. Alma-Ata: Izd-vo AN KazSSR; 1949. [in Russian]
5. Kubanskaya ZV. Rastitelnost i kormovye resursy pustyni Bet-Pak-Dala [Vegetation and fodder resources of the Bet-Pak-Dala desert]. Alma-Ata: Izd-vo AN KazSSR; 1956. [in Russian]
6. Kerdyashkin AV, Sadvokasov RE, Govorukhina SA. Analiz floristicheskogo sostava severo-zapadnoi chasti pustyni Betpak-Dala [Analysis of floristic composition of the north-western part of the Betpak-Dala Desert]. Vestnik KazNU. Seriya Biologicheskaya. 2007;2. [in Russian]
7. Veselova PV, Sitpaeva GT, Kudabaeva GM, Nurtazin ST, Illarionova ID, Mukhtubaeva SK. Redkie vidy flory Ile-Balkhashskogo regiona [Rare species of the flora of the Ile-Balkhash region]. Vestnik KazNU. Seriya Biologicheskaya. 2011;52(6):52-56. [in Russian]
8. Baitulin IO, Lysenko VV, Nurusheva AM. K voprosu endemizma v rode *Allium* L. v Kazakhstane [To the question of endemism in the genus *Allium* L. in Kazakhstan]. Kazakhstan Respublikasy. 2015;2224:95. [in Russian]
9. Veselova PV. Krestotsvetnye pustyni Betpakdala [The cruciferous deserts of Betpakdala]. Aridnye ekosistemy. 2016;22(66):31-37. [in Russian]
10. Vladimirovich KR. Flora pestrotsvetnykh obnazhenii Srednei Azii (kratkii analiz i voprosy genezisa) [Flora of variegated outcrops of Central Asia (brief analysis and questions of genesis)]. Turczaninowia. 2017;20(4):125-151. doi.org/10.14258/turczaninowia.20.4.14 [in Russian]

11. Kupriyanov AN, Khrustaleva IA. Flora gory Bektauata (Centralnyi Kazakhstan) [Flora of Bektauata Mountain (Central Kazakhstan)]. Botanicheskie issledovaniya Sibiri i Kazakhstana. 2010;10:25-36. [in Russian]
12. Kupriyanov AN. Zametka ob endemike Centralnogo Kazakhstana - *Artemisia hippolyti* [Note on an endemic of Central Kazakhstan - *Artemisia hippolyti*]. Turczaninowia. 2013;16(4):12-15. doi.org/10.14258/turczaninowia.16.4.3 [in Russian]
13. Kupriyanov AN. Konspekt flory Kazakhskogo melkosopochnika [Prospectus of the flora of the Kazakh Upland]. [in Russian] 2020.
14. Plantarium [Internet]. Available from: <https://www.plantarium.ru/> [cited 2025 Feb 28]. [in Russian]
15. Artaev ON. Glava 8. Metody ikhtiologicheskikh issledovaniy [Chapter 8. Methods of ichthyological research]. 2014:171-183. [in Russian]
16. Skvortsov AK. Posobie po metodike i tekhnike [Manual of methods and techniques]. [in Russian] 1977.
17. Gamayunova AP, Kuznetsov NM. Flora Kazakhstana semeistva zlaki - Gramineae Juss [Flora of Kazakhstan family cereals - Gramineae Juss]. Alma-Ata: Nauka; 1956;1:112-334. [in Russian]
18. Gamayunova AP, Filatova NS. Illustrirovannyi opredelitel rastenii Kazakhstana. Cereals - Gramineae Juss [Illustrated identifier of plants of Kazakhstan]. Alma-Ata: Nauka; 1969. [in Russian]
19. Srednyaya Aziya: Kriticheskii konspekt flory Srednei Azii [Central Asia: A critical outline of the flora of Central Asia]. Tashkent: FAN; 1968;1:49-197. [in Russian]
20. Gudkova PD, Olonova MV. Opredelitel zlakov Altaiskogo kraya [Key to grasses of Altai Krai]. [in Russian] 2024.
21. Cherepanov SK. Sosudistye rasteniya Rossii i sopredelnykh gosudarstv (v predelakh byvshego SSSR) [Vascular plants of Russia and neighboring countries (within the former USSR)]. [in Russian] 1995.
22. Plants of the World Online [Internet]. Available from: <https://powo.science.kew.org/> [cited 2025 Jan 25].
23. Maralov DI, Veselova PV, Kudabaeva GM. Skrining vidovogo sostava semeistva Poaceae Barnhart flory Betpakdala po literaturnym istochnikam i gerbarnym materialam [Screening of species composition of the family Poaceae Barnhart of Betpakdala flora based on literature sources and herbarium materials]. Spiraeanthus. 2024;1:125-130. doi.org/10.71130/spir-2024-1-125-130 [in Russian]
24. Angiosperm Phylogeny Group, Chase MW, Christenhusz MJ, et al. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. Botanical Journal of the Linnean Society. 2016;181(1):1-20. doi.org/10.1111/boj.12385
25. Soreng RJ, Peterson PM, Zuloaga FO, et al. A worldwide phylogenetic classification of the Poaceae (Gramineae) III: An update. Journal of Systematics and Evolution. 2022;60(3):476-521. doi.org/10.1111/jse.12847
26. Whittaker R. Soobshchestva i ekosistemy [Communities and ecosystems]. [in Russian] 1980.
27. Peterson PM, Romaschenko K, Herrera Arrieta Y, Saarela JM. (2332) Proposal to conserve the name *Sporobolus* against *Spartina*, *Crypsis*, *Poncelletia*, and *Heleochoa* (Poaceae: Chloridoideae: Sporobolinae). Taxon. 2014;63(6):1373-1374. doi.org/10.12705/636.23
28. Nobis M, Nowak A. *Neotrinia* gen. nov and *Pennatherum* sect. nov in *Achnatherum* (Poaceae: Stipeae). Turczaninowia. 2019;22(1):37-41. doi.org/10.14258/turczaninowia.22.1.5

29. Peterson PM, Romaschenko K, Herrera Arrieta Y, Saarela JM. (2332) Proposal to conserve the name *Sporobolus* against *Spartina*, *Crypsis*, *Poncelletia*, and *Heleochloa* (Poaceae: Chloridoideae: Sporobolinae). *Taxon*. 2014;63(6):1373-1374.

30. Hamzaoglu E. *Sporobolus turcicus* (sect. *Crypsis*, Poaceae), a new species from Türkiye. *Anatolian Journal of Botany*. 2024.

Сведения об авторах:

Веселова Полина Васильевна – кандидат биологических наук, заведующая лабораторией флоры и высших растений, Институт ботаники и фитоинтродукции, ул. Тимирязева 36 д, 050000, Алматы, Казахстан.

Маралов Дамир Икрамович – лаборант лаборатории флоры и высших растений, Институт ботаники и фитоинтродукции, ул. Тимирязева 36 д, 050000, Алматы, Казахстан.

Кудабоева Гульмира Маулетовна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории флоры и высших растений, Институт ботаники и фитоинтродукции, ул.Тимирязева 36 д, 050000, Алматы, Казахстан.

Ситпаева Гульнара Токбергеновна – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Институт ботаники и фитоинтродукции, ул. Тимирязева 36 д, 050000, Алматы, Казахстан.

Инелова Зарина Аркенжановна – кандидат биологических наук, профессор кафедры биоразнообразия и биоресурсов, пр. аль-Фараби 71, 050000, Алматы, Казахстан.

Чильдибаева Асел Жумагуловна – PhD, исполняющая обязанности доцента кафедры биоразнообразия и биоресурсов, пр. аль-Фараби 71, 050000, Алматы, Казахстан.

Избастина Клара Сержановна – PhD, ассоциированный профессор, старший преподаватель кафедры «Биология, защита растений и карантин», просп. Женис 62, 010000, Астана, Казахстан.

Авторлар туралы мәліметтер:

Веселова Полина Васильевна – биология ғылымдарының кандидаты, Ботаника және фитоинтродукция институты, флора және жоғары өсімдіктер зертханасының меңгерушісі, Тимирязев көшесі 36, 050000, Алматы, Қазақстан.

Маралов Дамир Икрамович – Ботаника және фитоинтродукция институты, флора және жоғары өсімдіктер зертханасының зертханашысы, Тимирязев көшесі 36, 050000, Алматы, Қазақстан.

Кудабоева Гульмира Маулетовна – биология ғылымдарының кандидаты, Ботаника және фитоинтродукция институты, флора және жоғары өсімдіктер зертханасының жетекші ғылыми қызметкері, Тимирязев көшесі 36, 050000, Алматы, Қазақстан.

Ситпаева Гульнара Токбергеновна – биология ғылымдарының докторы, Ботаника және фитоинтродукция институтының жетекші ғылыми қызметкері, Тимирязев көшесі 36, 050000, Алматы, Қазақстан.

Инелова З.А. – биология ғылымдарының кандидаты, биоалуантүрлілік және биоресурстар кафедрасының профессоры, Әл-Фараби даңғылы 71, 050000, Алматы, Қазақстан.

Чильдибаева Асел Жумагуловна – PhD, Биоалуантүрлілік және биоресурстар кафедрасының қауымдастырылған профессор міндетін атқарушы, Әл-Фараби даңғылы 71, 050000, Алматы, Қазақстан.

Избастина Клара Сержановна – PhD, қауымдастырылған профессор, биология, өсімдіктерді қорғау және карантин кафедрасының аға оқытушысы, Жеңіс даңғылы 62, 010000, Астана, Қазақстан.

Authors' information:

Vesselova Polina Vasilevna – Candidate of biological sciences, Head of the Laboratory of Flora and Higher Plants, Institute of Botany and Phytointroduction, Timiryazev street 36 d, 050000, Almaty, Kazakhstan.

Maralov Damir Ikramovich – laboratory assistant, Laboratory of Flora and Higher Plants, Institute of Botany and Phytointroduction, Timiryazev street 36 d, 050000, Almaty, Kazakhstan.

Kudabayeva Gulmira Mauletovna – Candidate of biological sciences, Leading Researcher, Laboratory of Flora and Higher Plants, Institute of Botany and Phytointroduction, Timiryazev street 36 d, 050000, Almaty, Kazakhstan.

Sitpayeva Gulnara Tokbergenovna – Doctor of biological science, Leading researcher, Institute of Botany and phytointroduction, Timiryazev street 36 d, 050000, Almaty, Kazakhstan.

Inelova Zarina Arkenzhanovna – Candidate of biological sciences, Professor, Department of Biodiversity and bioresources, Al-Farabi avenue 71, 050000, Almaty, Kazakhstan.

Childibayeva Asel Zhumagulovna – PhD, Acting associate professor, Biodiversity and Bioresources, Al-Farabi avenue 71, 050000, Almaty, Kazakhstan.

Izbastina Klara Serzhankyzy – PhD, Associate Professor, Senior Lecturer, Department of Biology, Plant Protection and Quarantine, Zhenis avenue 62, 010000, Astana, Kazakhstan.



IRSTI 34.29.25
Research article

<https://doi.org/10.32523/2616-7034-2025-151-2-148-168>

Spectral Characteristics of Spring Wheat Pests Using Hyperspectral Data: Diagnostics and Adaptation Features of Colouring

R.M. Ualiyeva*¹, A.V. Osipova¹, M.M. Kaverina¹, A.A. Faurat¹, S.B. Zhangazin²

¹Toraighyrov University, Pavlodar, Kazakhstan

²L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

*Corresponding author: ualiyeva.r@gmail.com

Abstract. Using hyperspectral imaging, the spectral characteristics of six pest species (*Chorosoma schillingii*, *Loxostege sticticalis*, *Tettigonia viridissima*, *Chaetocnema aridula*, *Calliptamus italicus*, and *Laodelphax striatella*) associated with spring wheat in northeastern Kazakhstan were investigated for the first time, complementing the few existing studies on this topic. Spectral analysis revealed how these insects reflect, transmit, and absorb light, providing insights for the future application of such data in pest recognition tasks under field conditions. The analysed species exhibited spectral responses within the 500-780 nm range. The analysed species exhibited pronounced spectral responses in the 500-780 nm range, corresponding both to peak reflectance values and the spectral window suitable for diagnostic purposes. A high reflectance coefficient was characteristic of light-coloured and smooth body surfaces, while darker, uneven, and rougher regions tended to scatter light, thereby reducing overall reflectance. Among the studied specimens, *Chorosoma schillingii* showed the highest reflectance due to the combination of a smooth body structure and light pigmentation, which also contributed to strong reflectance in the near-infrared region. The lowest reflectance coefficient was recorded in *Chaetocnema aridula*, explained by the absorption of light by dark pigments. Despite the generally light-coloured exoskeletons of most other species, their reflectance coefficient remained low due to the matte texture of the cuticle. Insect colouration not only aids in camouflage against vegetation but also serves as an adaptation to environmental conditions. Light pigmentation contributes to solar reflectance and prevents overheating, while darker colouration may offer protection against ultraviolet radiation. The variation in colouration across different body parts reflects functional adaptations to specific ecological conditions.

Keywords: hyperspectral imaging, spectral characteristics, entomofauna, wheat agrocenosis, pests

Received: 10.04.2025. Accepted: 24.06.2025. Available online: 04.07.2025.

Introduction

The identification of insect pests plays a key role in ensuring food security, while modern computer vision technologies contribute to accelerating data processing and automating crop inspection for the presence of pests. This opens up new opportunities for the development and implementation of monitoring systems for agricultural lands. In this context, research into the spectral characteristics of pests is essential for training artificial intelligence models capable of automatically detecting and identifying pests in the field [1,2].

Imaging systems have already been applied for the analysis of cuticle structures and phenotypic changes in *Sitophilus oryzae*, classification of *Anastrepha fraterculus*, *Anastrepha obliqua*, *Anastrepha sororcula* Zucchi, *Drosophila melanogaster*, *Drosophila simulans*, *Heliothis virescens*, *Helicoverpa zea*, detection of *Tetramorium caespitum*, *Tetramorium impurum*, and *Trichogramma spp.*, as well as the identification of *Cryptolestes ferrugineus* infestation within wheat kernels [3,4]. Hyperspectral imaging has been studied for detecting *Tetranychus urticae* and *Hemiptera Pseudococcidae* in cotton, describing the integration of alpha taxonomy, mitochondrial DNA, and hyperspectral reflectance profiling of *Cicadellidae*, identifying the pest *Halyomorpha halys*, and taxonomic classification of genera within *Orthoptera* [5-9]. The technology also enables the differentiation of morphologically similar cricket species and the study of insect structural features [10,11].

Hyperspectral imaging represents a rapid and non-destructive method for differentiating infested plants by pest type, as well as a tool for insect classification. However, the broader application of hyperspectral imaging in agriculture for pest identification and assessment of harmfulness requires the expansion of spectral databases of entomofauna. For precise identification and classification, it is essential to analyse insect spectra that reflect their unique optical properties - specifically, the reflection or absorption of light within certain wavelength ranges. This approach allows for the discrimination of even morphologically similar species.

Thus, this study aims to investigate the spectral characteristics of spring wheat pests in northeastern Kazakhstan using hyperspectral imaging. This research is among the few of its kind and the first to provide a detailed examination of the spectral profiles of such pests as *Chorosoma schillingii*, *Loxostege sticticalis*, *Tettigonia viridissima*, *Chaetocnema aridula*, *Calliptamus italicus*, and *Laodelphax striatella*. The obtained data will serve as a foundation for further classification and recognition of these pests through advanced machine learning technologies.

Materials and research methods

The collection of spring wheat pests was carried out during the crop's vegetation period in 2024 in the main grain-producing areas of Pavlodar Region (northeastern Kazakhstan), specifically in the Zhelezin and Terenkol districts. Pest accounting was conducted using quantitative methods. The target species for this study were *Chorosoma schillingii*, *Loxostege sticticalis*, *Tettigonia viridissima*, *Chaetocnema aridula*, *Calliptamus italicus*, and *Laodelphax striatella* (Figure 1). External appearance of the six pest species selected for analysis; scale bar – 5 mm; all images have a resolution of 300 dpi. The research was conducted at the Laboratory of Biological Research, Toraighyrov University, NPJSC (Pavlodar, Kazakhstan).

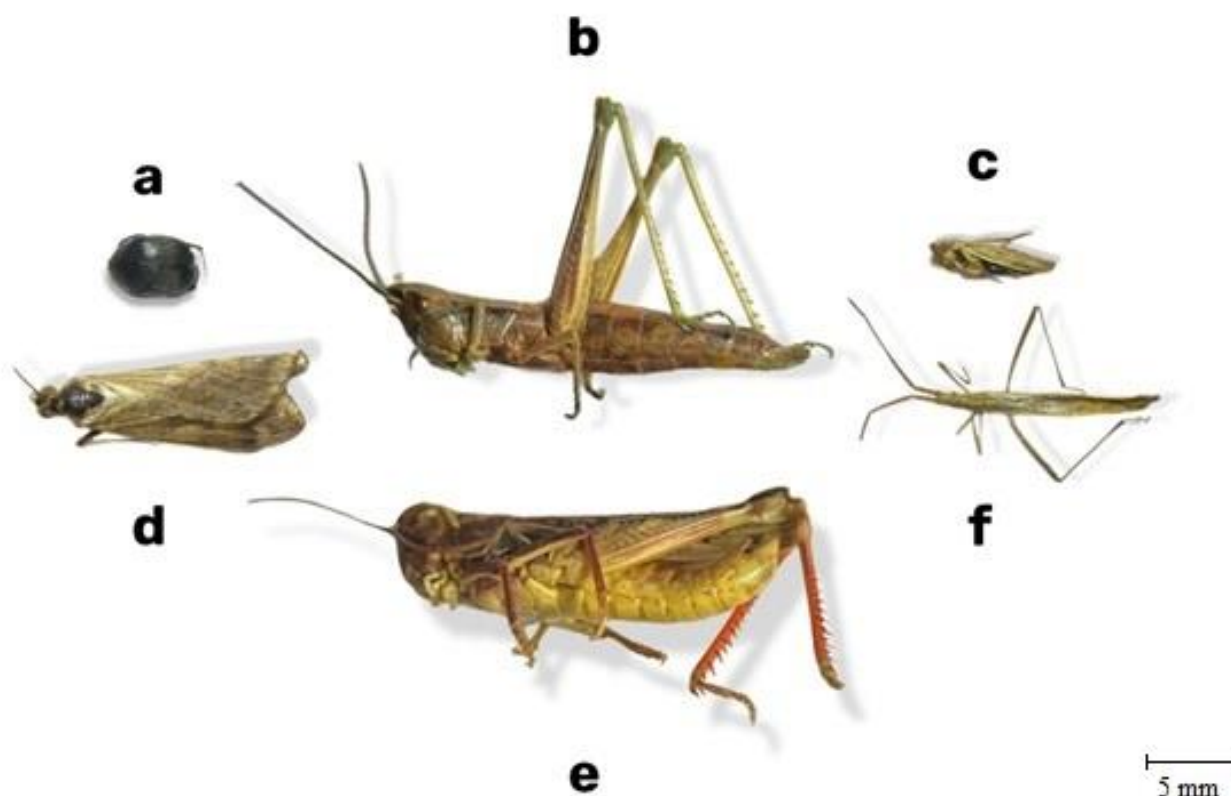


Figure 1. Objects of study (**a** – *Chaetocnema aridula*, **b** – *Tettigonia viridissima*, **c** – *Laodelphax striatella*, **d** – *Loxostege sticticalis*, **e** – *Calliptamus italicus*, **f** – *Chorosoma schillingi*)

Hyperspectral imaging of the selected specimens was performed using a FigSpec FS-13 VNIR scanning hyperspectral camera, operating within the 400-1000 nm range, capable of capturing over 250 spectral channels with a spectral resolution of 2.5 nm [12]. Preliminary visual quality control of the acquired hyperspectral images was carried out in the Breeze software environment, with further data processing implemented using the IDL programming language. A PCA (Principal Component Analysis) model was constructed using machine learning methods [13,14] in the Pixel Explore module, based on all image pixels. Five principal components were used for the analysis, collectively explaining 94.6% of the total variance in the spectral data (PC1 – 58.2%, PC2 – 21.4%, PC3 – 8.7%, PC4 – 4.1%, PC5 – 2.2%). These values allow for a reliable interpretation of the observed differences between species in the PCA plots (Figures 2 and 3). The dataset included spectral plots (Raw Spectrum), variance scatter plots, and a hyperspectral image based on maximal variance. For each insect species, between 15 and 25 individuals were selected (*Anisoplia austriaca* – 20, *Anisoplia agricola* – 18, *Phorbia fumigata* – 15, *Trigonotylus ruficornis* – 25, *Phyllotreta vittula* – 22, *Haplothrips tritici* – 20). The collection was carried out in the morning and early afternoon hours (from 8:00 AM to 1:00 PM) under predominantly clear weather conditions. Lighting conditions during hyperspectral imaging were carefully recorded: 82% of the samples were captured under direct sunlight, and 18% under diffuse light on overcast days.

For statistical analysis, modeling, and data visualisation, SigmaPlot 15.0 was used with Python programming language support, integrated with Microsoft Excel for streamlined data import and analysis. Spectral data were statistically processed using analysis of variance (ANOVA) and descriptive statistics methods.

Before conducting the ANOVA, the main assumptions were tested: normality was assessed using the Shapiro-Wilk test ($p > 0.05$ for all groups), and homogeneity of variances was evaluated using Levene's test ($p > 0.05$) [15,16]. All obtained p-values are presented in Table 2.

Minimum and Maximum Reflectance are calculated using the formulas:

$$R_{\min} = \min (R_1, R_2, \dots, R_n) \\ R_{\max} = \max (R_1, R_2, \dots, R_n)$$

where $R_{\min}$ and $R_{\max}$ are the minimum and maximum reflectance values within the sample; $R_1, R_2, \dots, R_n$ are the individual reflectance measurements; and n is the total number of measurements.

Mean Reflectance represents the average intensity of reflected light within the analysed spectral range and characterises the general reflectance level of the object. It is calculated as:

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i$$

Where R_i is the reflectance value for the i -th measurement, and n is the total number of measurements [17, 18].

Standard Deviation quantitatively indicates the dispersion of reflectance values from the mean, allowing for the assessment of how statistically distinguishable the spectra are. It is calculated using the formula. It is computed as:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_i - \mu)^2},$$

where μ is the mean reflectance, R_i is the reflectance value of the i -th measurement, and n is the total number of measurements.

Before each imaging session, the camera was calibrated using a white reference standard (Spectralon 99%) and a dark frame (with the lens covered). The distance between the lens of the Figspec FS-13 hyperspectral camera and the specimen was 20 cm. Illumination was provided by natural daylight.

Coefficient of Variation (CV) expresses the degree of variability and enables the evaluation of how variable the insect spectra are relative to their mean value. It is calculated using the formula:

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} \times 100,$$

where σ is the standard deviation and μ is the mean reflectance.

Rate of Change (RoC) is a dynamic parameter describing the rate of reflectance coefficient variation over time. It helps assess the temporal dynamics of spectral properties in a single subject. The formula is:

$$\Delta R = \frac{R_2 - R_1}{T_2 - T_1},$$

where R_1 and R_2 are reflectance values at time points T_1 and T_2 , respectively.

Delta Reflectance (ΔR) indicates the difference between maximum and minimum reflectance values within a specific spectral range or between two measurement conditions:

$$\Delta R = R_{\max} - R_{\min}$$

where $R_{\min}$ and $R_{\max}$ are the minimum and maximum reflectance values within the sample.

Spectral Bandwidth refers to the width of the spectral range in which significant changes in reflectance occur. It helps to identify regions where the object exhibits distinct optical properties, such as maximum absorption or reflection. The overlap or separation of spectral bands across different species or conditions can be used to detect statistically significant differences. It is calculated using the formula:

$$SB = \lambda_{\max} - \lambda_{\min}$$

where $\lambda_{\min}$ is the minimum wavelength, and $\lambda_{\max}$ is the maximum wavelength.

Spectral Skewness describes the asymmetry in the distribution of reflectance and absorption values. It is calculated using the formula:

$$SS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{R_i - \mu}{\sigma} \right)^3,$$

where σ is the standard deviation, μ is the mean reflectance, R_i is the reflectance value for the i -th measurement, and n is the total number of measurements.

The calculated parameters, such as minimum and maximum reflectance, mean reflectance, standard deviation, and coefficient of variation, enable a quantitative assessment of the spectral characteristics of the studied objects and allow for the identification of differences among them. Methods such as Principal Component Analysis (PCA), along with metrics like rate of change and delta reflectance, provide a more comprehensive understanding of the variability in spectral features. These data form the basis for the further development of classification models and can be employed for effective detection and monitoring of pests in agricultural fields, thereby contributing to the enhancement of crop protection systems.

Results

The images present the spectral characteristics of insects obtained via hyperspectral imaging [19-22]. Each insect specimen and its corresponding spectral curve are assigned matching numbers; for instance, the first red line in the Raw Spectrum graph corresponds to specimen number one in the hyperspectral image [23]. *Chaetocnema aridula* is a small, oval-shaped insect

measuring 2-3 mm in length (Figure 1). Its body exhibits a shiny surface with a greenish-bronze sheen. The elytra, pronotum, and legs are uniformly black.

According to the Raw Spectrum graph, the insect demonstrates low reflectance due to its dark colouration, which absorbs a significant portion of incident light (Figure 2). A reflection peak is observed in the 500-750 nm range, while a decline in intensity beyond 750 nm indicates reduced chitin reflectivity in the near-infrared region, which is typical of dark-coloured surfaces. The highest reflectance is recorded in the first sample, attributed to the smoother surface texture of the elytra.

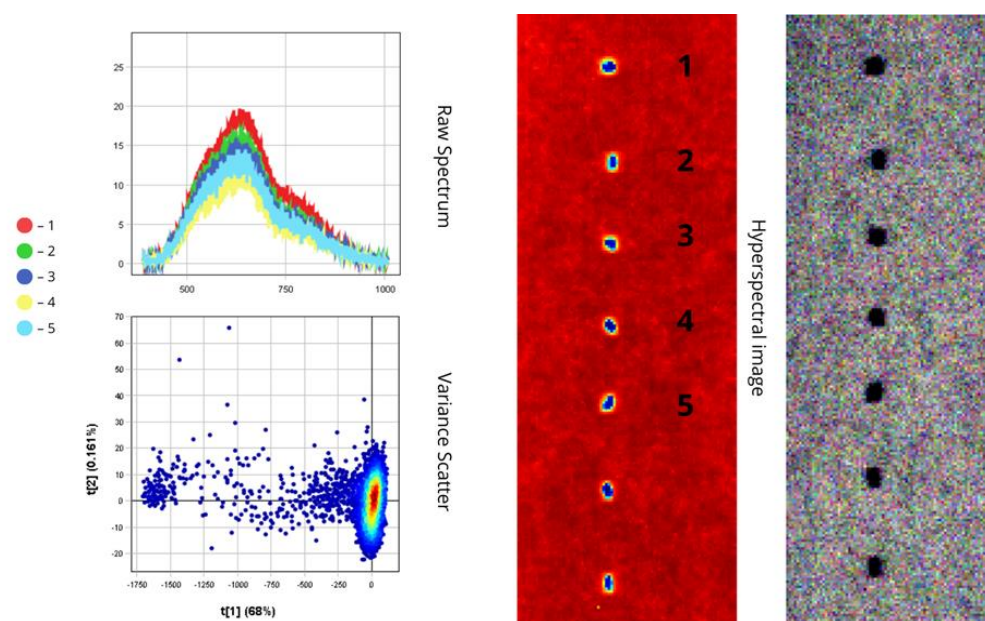


Figure 2. Spectral characteristics of *Chaetocnema aridula*

In contrast, the lowest reflectance is observed in the fourth sample, which was positioned with its abdomen facing upward, thereby reducing the amount of reflected light. The Variance Scatter Plot for *Chaetocnema aridula* displays low data density, which can be explained by the insect's small size and its morphological and spectral characteristics. Due to the limited number of pixels captured during hyperspectral imaging, less spectral information is collected. Moreover, the presence of pigments that absorb light within specific wavelength ranges reduces the overall spectral variability, resulting in a sparser distribution in the scatter cloud.

The imago of *Tettigonia viridissima* reaches a length of 20-25 mm, with colouration ranging from green and yellow to pinkish-yellow (Figure 1). The head features a well-defined, laterally compressed vertex and is equipped with antennae. The male's forewings possess a stridulatory organ, consisting of a mirror, a transparent resonating membrane, and a stridulatory section. In the Raw Spectrum graph, the highest reflectance is observed in the first sample, where the selected region includes the wings (Figure 3).

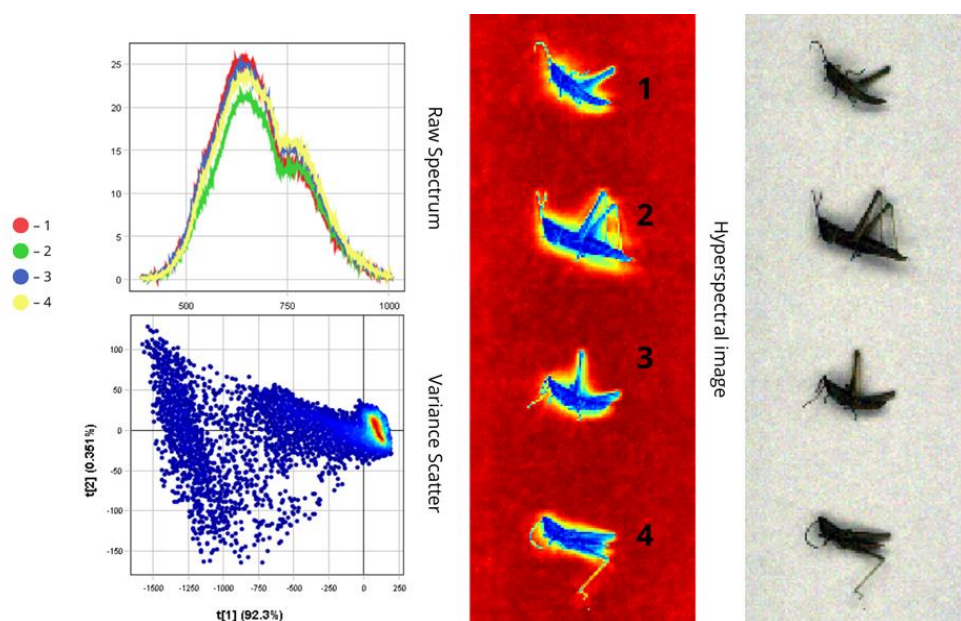


Figure 3. Spectral characteristics of *Tettigonia viridissima*

The wing membrane reflects more light than the insect's chitinous exoskeleton. The lowest reflectance is recorded in the second sample, where the wings are not visible in the image. The size and position of the wings enhance the overall spectral intensity due to light scattering. The spectral peak is observed in the 500-750 nm range, while the intensity decrease beyond 750 nm indicates a reduction in chitin reflectance in the near-infrared spectrum. In the Variance Scatter Plot, the high point density observed in the scatter cloud can be attributed to the uniformity of the cuticular structure and the larger body size of *Tettigonia viridissima*. With a greater surface area, more spectral data is collected from various regions, leading to an increase in point density. The spectral characteristics remain relatively uniform due to the consistency in surface structure across the insect's larger body.

Chorosoma schillingii measures 11-15 mm in length and has a slender, yellow-green body (Figure 1). The fifth sample exhibits the highest intensity due to its lighter colouration and less dense chitinous exoskeleton, which allows more light to be reflected (Figure 4). In contrast, the first sample shows the lowest intensity because of its rougher body surface, which causes more light scattering. The spectral graph shows an intensity peak in the 500-780 nm range, indicating limited reflection in the near-infrared spectrum. In the Variance Scatter plot, the moderate point density is associated with the insect's narrow body. A narrower body provides a smaller surface area, which restricts the amount of spectral data collected. This results in an average point density, as spectral variability is less pronounced due to the smaller volume of data. Additionally, the insect's narrow shape may contribute to more localised spectral differences, such as segmentation or structural variations, which increase data spread and reduce overall density.

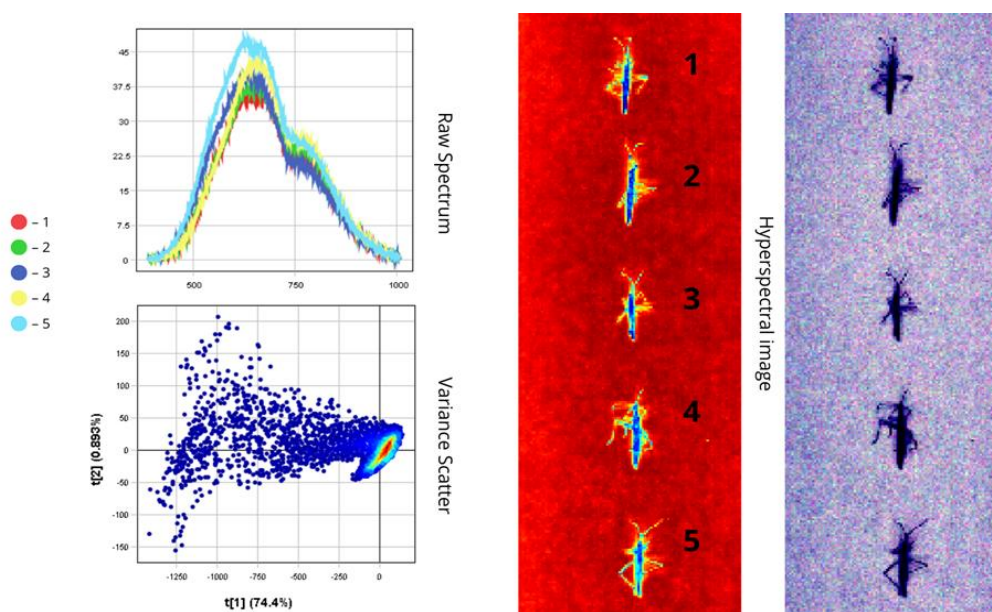


Figure 4. Spectral characteristics of *Chorosoma schillingii*

Loxostege sticticalis has light brown forewings with a dark brown pattern and greyish-brown hindwings (Figure 1). It features a head with compound eyes and simple thread-like antennae, measuring 17-19 mm in length. The spectral intensity peak falls within the 500-780 nm range (Figure 5). The first sample has the lowest reflection coefficient due to its darker, brownish colouration. In contrast, the second sample, which has a lighter body, exhibits the highest reflection coefficient. According to the Raw Spectrum graph (Figure 5), the head reflects significantly less light than the wings. The wings exhibit a higher reflection coefficient than other body parts due to their structure, which allows them to reflect more incident light rather than absorb it. Wing venation and fine scales, characteristic of *Lepidoptera*, contribute to this effect. Scales on the wings can be pigment-based, determining colouration, or structural, producing optical effects such as iridescence or sheen through light interference, which enhances reflectivity. Some scales possess microscopic structures that interact with light, causing reflection and refraction, thereby significantly increasing wing reflectivity even in the absence of bright pigments. The wing surface, covered in scales, is relatively smooth at the microscopic level, further enhancing light reflection. The light-coloured wings of *Loxostege sticticalis* enhance reflectivity despite the presence of brown pigments. The thin and transparent wing membrane also contributes to a higher reflection coefficient than other body parts. High reflectivity may be an adaptive trait, aiding in temperature regulation by reflecting sunlight and providing camouflage by blending with bright surroundings, such as sunlit grass.

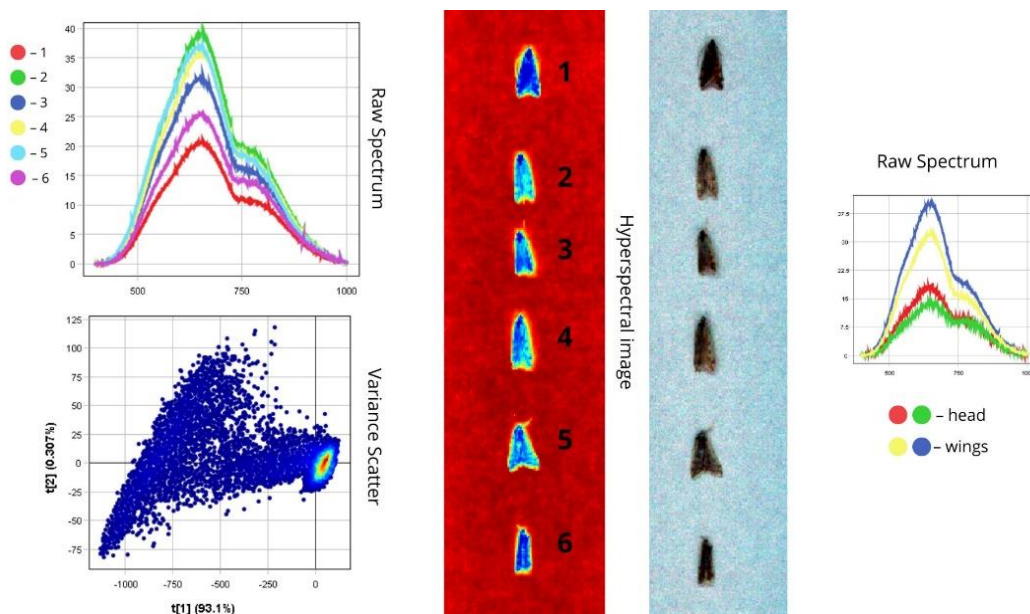


Figure 5. Spectral characteristics of *Loxostege sticticalis*

Calliptamus italicus ranges in length from 20 to 25 mm and is predominantly brown and yellow-brown in colour (Figure 1). The spectral graph shows the highest reflection coefficients in the third and fourth samples, while the first, second, and fifth samples have the lowest (Figure 6). The third and fourth samples have visibly yellow abdomens, whereas the others are positioned at different angles, making them appear darker. The intensity peak occurs within the 550-750 nm range, decreasing in the near-infrared spectrum.

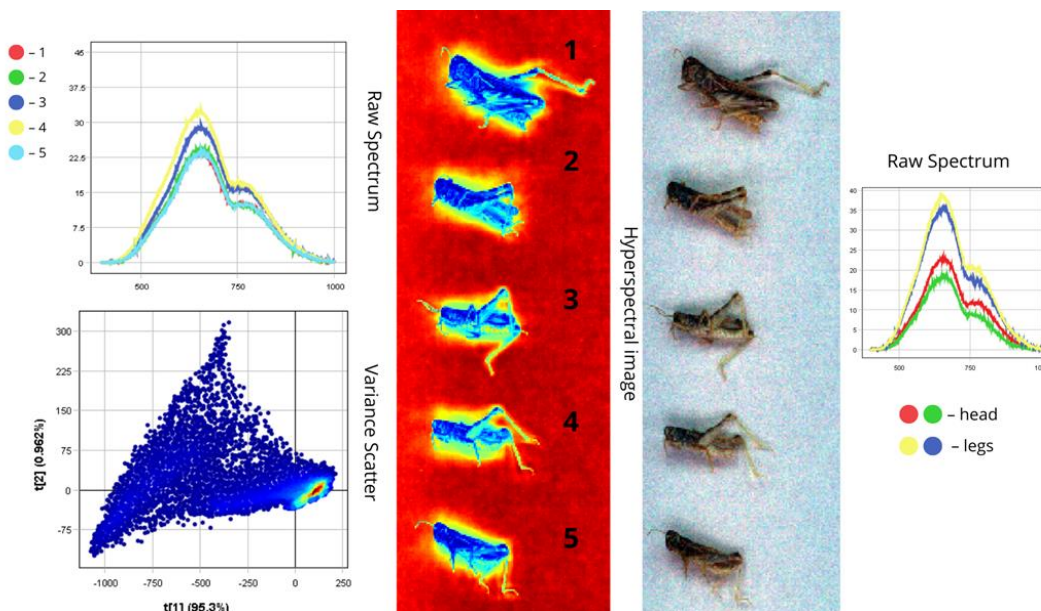


Figure 6. Spectral characteristics of *Calliptamus italicus*

The Raw Spectrum graph displays spectra from the head and limbs. The head is darker than the abdomen and limbs due to the presence of pigments such as melanin in the cuticle. Dark pigments absorb more light, reducing reflectivity. This darker colouration may provide camouflage and protection against ultraviolet radiation, both crucial for survival. Additionally, lower reflectivity could result from the denser chitin composition of the head. In contrast, the limbs are lighter in colour, containing fewer pigments, which results in higher reflectivity. This lighter colouration helps reflect sunlight, preventing overheating during active movement.

Imago *Laodelphax striatella* measures 4 mm in length (Figure 1). Males have yellow bodies, while females are black-brown with black-striped patterns. Their transparent wings feature a brownish smear on the inner side in females or a partially smoky appearance in males. Due to this sexual dimorphism, the spectra of males and females may differ based on pigment composition. The first sample has the lowest reflection coefficient, while the second and third samples have the highest (Figure 7). Samples positioned with their abdomens facing upward may show lower intensity, whereas those with wings facing upward exhibit higher reflectivity within the same sex. The spectral intensity peak occurs within the 550-750 nm range. In the Variance Scatter plot, the low point density is attributed to the insect's small size, which limits the number of spectral data points captured.

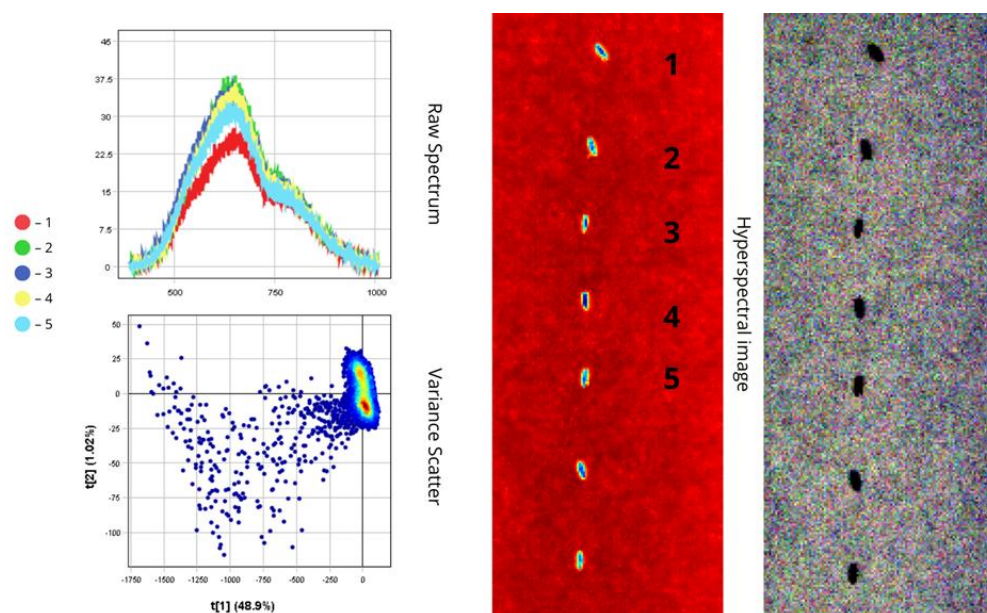


Figure 7. Spectral characteristics of *Laodelphax striatella*

The generalised spectral characteristic data are presented in Table 1. The statistical analysis of the data allowed for the identification of key patterns in the spectral characteristics (Table 2) of the insects, the assessment of their variability and stability, and the clear and informative visual presentation of the results.

The highest maximum reflectance is observed in *Chorosoma schillingi* due to its light pigment and in *Loxostege sticticalis* due to the reflective ability of the wing membrane, while the lowest

is seen in *Chaetocnema aridula* due to its dark pigment. Mean Reflectance simplifies complex spectral data into a single numerical value, making it easier to compare between individuals or species. *Chaetocnema aridula* has the lowest mean value, which corresponds to the lowest reflection intensity among all the samples. *Laodelphax striatella* shows the highest mean value due to the presence of light pigments and nearly uniform reflectivity across the samples of the species.

Table 1

Spectral characteristics of insects

№	Species	Body part	Wave lenght (nm)	Reflection coefficient (%)
1	<i>Chaetocnema aridula</i>	Body	500-750	10-20
2	<i>Tettigonia viridissima</i>	Body	500-750	20-25
3	<i>Chorosoma schillingi</i>	Body	500-780	35-45
4	<i>Loxostege sticticalis</i>	Body	500-780	20-40
		Head	500-750	15
		Wings	500-780	30-38
5	<i>Calliptamus italicus</i>	Body	550-750	22,5-35
		Head	500-750	20-25
		Legs	500-750	35-40
6	<i>Laodelphax striatella</i>	Body	550-750	22,5-37,5

The Standard Deviation values among the presented samples are low, confirming the reproducibility of measurements within a species. For instance, in *Chaetocnema aridula*, $\sigma = 2.89\%$ for reflection at 750 nm, meaning most values lie within $\pm 2.89\%$ of the mean. High values suggest measurement errors or biological variability, with a greater diversity of characteristics within a species. For samples with high values (e.g., 15%), additional tests such as the t-test should be conducted. This indicator also allows for the assessment of variability within a species: if the reflection σ increases sharply over the course of a year, it may indicate adaptation to new environmental conditions.

Tettigonia viridissima and *Chorosoma schillingi* have low Coefficient of Variation values, indicating high reproducibility of data. *Chaetocnema aridula*, *Loxostege sticticalis*, and *Laodelphax striatella* exhibit moderate variability, linked to biological heterogeneity among the samples, such as age differences and cuticle condition. Stable species demonstrate low RoC values, indicating the stability of their optical properties. *Loxostege sticticalis* has a primary RoC = 15, a relatively high rate of change. Combined with a high ΔR (20%), this suggests significant variability in reflectance, possibly due to age differences within the sample and varying cuticle conditions (e.g., moulting or damage). *Calliptamus italicus* shows a sharp increase in RoC = 15 in the head region, where the colouration significantly differs from the rest of the body.

Stable species also exhibit lower ΔR under changing conditions. The ΔR value of 5% in *Tettigonia viridissima* indicates the species' stability. Values of 10-20% exceed the natural

fluctuation typical of stable populations. In a small sample, this is not significant, as random fluctuations distort the result. Elevated ΔR and σ values in some species suggest the need to account for external factors.

Table 2

Statistical analysis of spectral reflection coefficients

№	Species	Body parts	Min Reflectance	Max Reflectance	Mean Reflectance	Standard Deviation	Coefficient of Variation	Median	RoC	Delta Reflectance	Shapiro-Wilk (p)	Levene's Test (p)
1	<i>Chaetocnema aridula</i>	Body	10	20	15	2,89	19,25	15	–	10	0,15	0,30
2	<i>Tettigonia viridissima</i>	Body	20	25	18,4	1,44	7,84	18,4	–	5	0,55	0,70
3	<i>Chorosoma schillingi</i>	Body	35	45	32,4	2,89	8,91	32,4	–	10	0,08	0,60
4	<i>Loxostege sticticalis</i>	Body	20	40	30	5,77	19,25	30	15	20	0,03	0,02
		Head	15	15	15	0	0	15	19	0	1,00	–
		Wings	30	38	34	2,31	6,79	34	4	8	0,40	0,80
5	<i>Calliptamus italicus</i>	Body	22,5	35	26,5	3,61	13,62	26,5	4	12,5	0,07	0,25
		Head	20	25	22,5	1,44	6,42	22,5	15	5	0,65	0,90
		Legs	35	40	37,5	1,44	3,85	37,5	11	5	0,75	0,85
6	<i>Laodelphax striatella</i>	Body	22,5	37,5	33	4,33	13,12	33	–	15	0,04	0,10

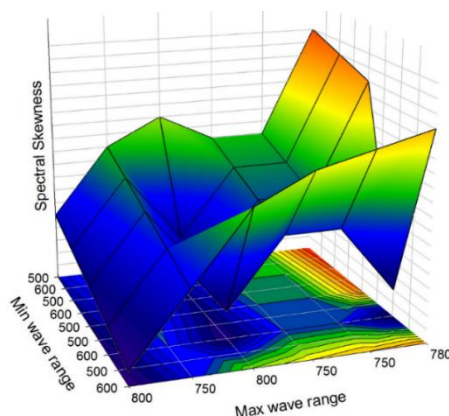
Overall, all species exhibit nearly identical Spectral Bandwidth values due to the similar organisation of the chitinous exoskeletons, as they belong to the same class. Among the samples, a slight positive skew in Spectral Skewness is observed in *Chorosoma schillingi*, *Calliptamus italicus*, and *Laodelphax striatella*, which is attributed to the presence of pigments that are rare in the sample but intense. No asymmetry is observed in the remaining species (Table 3). A positive value of Spectral Skewness indicates a shift of the reflectance spectrum towards the long-wavelength region, which may suggest the predominance of dark pigments. Conversely, negative skewness indicates stronger reflectance in the short-wavelength range, implying the presence of pigments that more effectively reflect blue and green light.

Table 3

Statistical analysis of the spectrum range

Nº	Species	Body parts	Min	Max	Spectral Bandwidth	Spectral Skewness
1	<i>Chaetocnema aridula</i>	Body	500	750	250	0
2	<i>Tettigonia viridissima</i>	Body	500	750	250	0
3	<i>Chorosoma schillingi</i>	Body	500	750	250	0,390
4	<i>Loxostege sticticalis</i>	Body	500	780	280	0
		Head	500	750	250	–
		Wings	500	780	280	0,312
5	<i>Calliptamus italicus</i>	Body	550	750	200	0,408
		Head	500	750	250	0
		Legs	500	750	250	-0,204
6	<i>Laodelphax striatella</i>	Body	550	750	200	0,618

The statistical data processing results were visualised using SigmaPlot 15.0. The data in Figure 8 are presented in a colour gradient, covering the wavelength range indicators and spectral skewness. Darker areas (dark blue) represent negative skewness values, indicating a leftward shift in the distribution. The gradual transition to yellow-orange colours reflects positive skewness values, suggesting a rightward shift in the distribution. This allows for the visualisation of differences in spectral shape or data distribution, where brightness and colour gradation help easily identify areas with varying degrees of asymmetry.

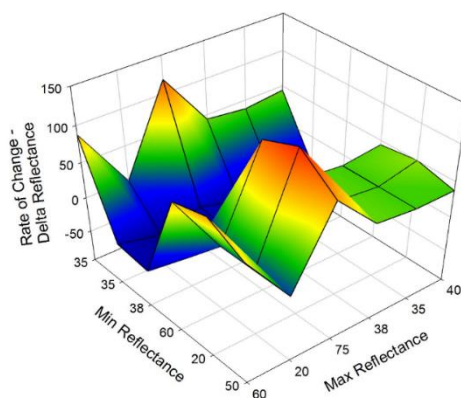


Note: x-axis – maximum wavelength value; y-axis – minimum wavelength value; z-axis – spectral skewness

Figure 8. Wavelength indicators (nm) and spectral skewness

The data in Figure 9, presented in a colour gradient, reflect the values of the reflection coefficient, rate, and delta of reflection. The dark blue areas indicate higher reflectivity of the studied objects, as well as a range with lower values of rate and delta of reflection. This may suggest stable or slow reflection processes in the studied samples. The orange-red areas

demonstrate lower values of the reflection coefficient, which are associated with higher values of the rate and delta of reflection, respectively.



Note: x-axis – maximum reflection coefficient value; y-axis – minimum reflection coefficient value; z-axis – rate and delta of reflection

Figure 9. Reflection coefficient, rate, and delta indicators

These areas may indicate changes in the exoskeleton structure or the chemical composition of the insect body or its parts, leading to rapid variations in the reflection characteristics, which are displayed in the colour gradient of hyperspectral images. The colour gradient serves as a tool for quickly identifying areas with unique characteristics.

Discussion

This work represents the first study of the phenotypic traits, where spectral characteristics of pest entomofauna in wheat agrocenoses were described using hyperspectral imaging and computer vision technologies. The imaging demonstrated the high sensitivity of the method to differences in the reflectivity of the exoskeleton. The variation in intensity reflects the variability between different body parts and morphological features of the individuals [24-26], such as pigmentation, density, chitin structure, and age. Despite the differences of each individual sample, the spectral curves exhibit similar intensity and wavelength for each species, which forms the basis for their identification [27,28]. The obtained spectral signatures provide a solid foundation for developing machine learning algorithms that enable automatic classification of pests based on their unique reflectance spectra [29,30]. Future work will focus on building and validating models such as PLS-DA, SVM, and neural networks using the presented set of spectral profiles to create effective pest monitoring systems [31,32].

The study results show that reflectivity decreases with the presence of a larger amount of dark pigment in the cuticle. Higher reflectivity is observed in insects with lighter body coverings, such as *Laodelphax striatella* with yellow pigment and *Chorosoma schillingii* with green pigment. This supports previous research where it was found that insects with white, red, orange, and yellow colouration exhibit high reflectivity, a property also observed in some green species [12].

The combination of pigment composition, surface smoothness of the chitin, and cuticle density is also crucial. Insects with lighter colouration and a matte or rough body surface will

exhibit lower reflectivity. Among all the studied insects, *Loxostege sticticalis* spans the near-infrared spectrum due to the effective reflection of light from its smooth, light-coloured wing surface at the micro level. The wings are covered with microscopic scales that act as a diffraction grating, causing light interference. This creates iridescence. Keratin and chitin in the wings form translucent layers that reflect light. Bright reflection may be an adaptation: it aids in camouflage among foliage, attracts mates, and prevents overheating of the wings. The bodies of insects are typically covered with a matte cuticle with roughness that scatters light, while their legs and antennae have setae that absorb light, leading to the lowest reflectivity in these parts of the body. Additionally, the heads of insects generally contain more dark pigments than other body parts, which may serve as protection against ultraviolet radiation, as seen in *Calliptamus italicus*. Overall, insects with a predominance of melanin colouration exhibit the highest peak in the visible range (500-750 nm), with little or no reflection in the near-infrared spectrum. The combination of small size, dark colouration, and matte covering results in the lowest reflectivity coefficient, as observed in *Chaetocnema aridula*.

Based on the statistical analysis, the most stable species is *Tettigonia viridissima*, with the least variation observed within the sample. The most significant intra-species differences are found in *Loxostege sticticalis*, due to both the small number of objects in the sample and the greater diversity of colouration and wing structure, which increases variability. The study of spectral characteristics opens up opportunities for the application of technology [33,34] in precise, rapid, and non-invasive research on the morphology, taxonomy of insects, and pest detection in fields.

Conclusion

In this study, the spectral characteristics of the wheat pests *Chorosoma schillingii*, *Loxostege sticticalis*, *Tettigonia viridissima*, *Chaetocnema aridula*, *Calliptamus italicus*, and *Laodelphax striatella* were described for the first time. The obtained data provide insights into how insects interact with light, reflecting, transmitting, and absorbing it, opening new opportunities for their classification and efficient application in agricultural practices.

The spectral characteristics of insects not only help create databases for their identification but also reveal the adaptive features of their colouration in response to light exposure. Light colouration can help prevent overheating by reflecting sunlight, while dark colouration protects against ultraviolet radiation. The diversity of colours on different parts of the insect body is a result of such ecological adaptations.

The highest reflectance was demonstrated by the *Chorosoma schillingii* sample, which is related to its smooth structure and light colouration, while the lowest was observed in *Chaetocnema aridula* due to light absorption by its dark pigment. The other studied species, despite their light exoskeletons, have low reflectance due to the matte texture of their covers.

Hyperspectral imaging, which covers a wider range of the electromagnetic spectrum, allows the consideration of nuances that are not visible to the naked eye. The structure of the insect's chitinous cover, its roughness, and microstructures also affect reflectance. The practical application of hyperspectral imaging requires taking into account factors such as the time of day and lighting conditions during the imaging process in order to obtain accurate and comparable data.

Thus, the results of the study expand the possibilities for applying hyperspectral imaging to the study of insect exoskeletons, which, in turn, opens new horizons for using these data in agriculture and entomology.

Author Contributions

U.R.M. – concept and supervision of the work; **O.A.V.** – conducting the experiments; **K.M.M.** – discussion of the research results; **F.A.A.** – writing the text; **Zh.S.B.** – editing the text of the article.

Funding

This research is funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP22784689 «Development of an integrated system for remote monitoring of spring wheat agroecosystems based on spectral imaging technology for the creation of precision agriculture»).

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

Compliance with ethical standards

All procedures carried out in the studies involving animals adhered to the ethical standards of the institution where the research was conducted and complied with the legal regulations of the Republic of Kazakhstan and international organisations.

References

1. Cardim Ferreira Lima M, Damascena de Almeida Leandro ME, Valero C, et al. Automatic Detection and Monitoring of Insect Pests - A Review. *Agriculture*. 2020;10(5):161. doi.org/10.3390/agriculture10050161
2. Behmann J, Mahlein A-K, Rumpf T, et al. A review of advanced machine learning methods for the detection of biotic stress in precision crop protection. *Precision Agriculture*. 2015;16(3):239-260. doi.org/10.1007/s11119-014-9372-7
3. Lacotte V, Dell'Aglio E, Peignier S, et al. A comparative study revealed hyperspectral imaging as a potential standardized tool for the analysis of cuticle tanning over insect development. *Heliyon*. 2023;9(3):e13962. doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13962
4. Nansen C, Elliott N. Remote Sensing and Reflectance Profiling in Entomology. *Annual Review of Entomology*. 2016;61:139-158. doi.org/10.1146/annurev-ento-010715-023834
5. Yamada M, Thiesen LV, Iost Filho FH, Yamamoto PT. Hyperspectral imaging and machine learning: A promising tool for the early detection of *Tetranychus urticae* Koch infestation in cotton agriculture. *Agriculture*. 2024;14(9):1573. doi.org/10.3390/agriculture14091573
6. Prabhakar M, Prasad Y, Vennila S, et al. Hyperspectral indices for assessing damage by the solenopsis mealybug (Hemiptera: Pseudococcidae) in cotton. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2013;97:61-70. doi.org/10.1016/j.compag.2013.07.004
7. Wang Y, Nansen C, Zhang Y. Integrative insect taxonomy based on morphology, mitochondrial DNA, and hyperspectral reflectance profiling. *Zoological Journal of the Linnean Society*. 2015;175(2):317-329. doi.org/10.1111/zoj.12367

8. Ferrari V, Calvini R, Boom B, et al. Evaluation of the potential of near-infrared hyperspectral imaging for monitoring the invasive brown marmorated stink bug. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. 2023;227:104751. doi.org/10.1016/j.chemolab.2023.104751
9. Tavares GC, Silva NC. Images in red: A methodological and integrative approach for the usage of Near-infrared Hyperspectral Imaging (NIR-HSI) on collection specimens of Orthoptera (Insecta). *bioRxiv*. 2024;617997. doi.org/10.1101/2024.10.12.617997
10. Ma Z, Di M, Hu T. Visible-NIR hyperspectral imaging based on characteristic spectral distillation used for species identification of similar crickets. *Optics and Laser Technology*. 2025;183:112420. doi.org/10.1016/j.optlastec.2025.112420
11. Soltani P, Hacken M, Meijden A, et al. Polarization resolved hyperspectral imaging of the beetle *Protaetia speciosa jousseini*. *Optics Express*. 2025;33(7):14858-14871. doi.org/10.1364/OE.557318
12. Mielewicz M, Liebisch F, Walter A, et al. Near-infrared (NIR)-reflectance in insects - Phenetic studies of 181 species. *Entomological Today*. 2012;24:183-215.
13. Akin O, Kemal P. Deep Learning Applications for Hyperspectral Imaging: A Systematic Review. *Journal of the Institute of Electronics and Computer*. 2020;39-56. doi.org/10.33969/JIEC.2020.21004
14. Alt BB, Gurova TA, Elkin OV, et al. The use of Specim IQ, a hyperspectral camera, for plant analysis. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020;21(3):259-266. doi.org/10.18699/VJ19.587
15. Shapiro SS, Wilk MB. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*. 1965;52(3-4):591-611. /doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591
16. Levene H. Robust tests for equality of variances. In: *Contributions to Probability and Statistics*. Stanford University Press; 1960:278-292.
17. Bauriegel E, Giebel A, Geyer M, et al. Early detection of *Fusarium* infection in wheat using hyperspectral imaging. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2011;75(2):304-312. doi.org/10.1016/j.compag.2010.12.006
18. Bravo C, Moshou D, West J, McCartney A, Ramon H. Early disease detection in wheat fields using spectral reflectance. *Biosystems Engineering*. 2003;84(2):137-145. doi.org/10.1016/S1537-5110(02)00269-6
19. Del Fiore A, Reverberi M, Ricelli A, et al. Early detection of toxigenic fungi on maize by hyperspectral imaging analysis. *International Journal of Food Microbiology*. 2010;144(1):64-71. doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.08.001
20. Lu G, Fei B. Medical hyperspectral imaging: a review. *Journal of Biomedical Optics*. 2014;19(1):010901. doi.org/10.1117/1.JBO.19.1.010901
21. Calvini R, Ulrici A, Amigo JM. Growing applications of hyperspectral and multispectral imaging. In: Amigo JM, editor. *Data Handling in Science and Technology: Hyperspectral Imaging*. Amsterdam: Elsevier; 2019:605-629. doi.org/10.1016/b978-0-444-63977-6.00024-9
22. Chang CI. *Hyperspectral Imaging: Techniques for Spectral Detection and Classification*. New York: Kluwer; 2003:386. doi.org/10.1007/978-1-4419-9170-6
23. Lu B, Dao PD, Liu J, et al. Recent Advances of Hyperspectral Imaging Technology and Applications in Agriculture. *Remote Sensing*. 2020;12(16):2659. doi.org/10.3390/rs12162659
24. Li X, et al. Hyperspectral Imaging and Their Applications in the Nondestructive Quality Assessment of Fruits and Vegetables. In: *Hyperspectral Imaging in Agriculture, Food and Environment*. InTech; 2018:27-63. doi.org/10.5772/intechopen.72250

25. Mahlein AK, Rumpf T, Welke P, et al. Development of spectral indices for detecting and identifying plant diseases. *Remote Sensing of Environment*. 2013;128:21-30. doi.org/10.1016/j.rse.2012.09.019
26. Mirik M. Hyperspectral Spectrometry as a Means to Differentiate Uninfested and Infested Winter Wheat by Greenbug (Hemiptera: Aphididae). *Journal of Economic Entomology*. 2006;99(5):1682-1690. doi.org/10.1093/jee/99.5.1682
27. Palmquist J. Detecting Defects on Cheese using Hyperspectral Image Analysis [Master's thesis]. Umeå: Umeå University; 2020. 44. http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:umu:diva-172695
28. Sarić R, Nguyen VD, Burge T, et al. Applications of hyperspectral imaging in plant phenotyping. *Trends in Plant Science*. 2022;27(3):301-315. doi.org/10.1016/j.tplants.2021.12.003
29. Soni A, Dixit Y, Reis MM, et al. Hyperspectral imaging and machine learning in food microbiology: Developments and challenges in detection of bacterial, fungal, and viral contaminants. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2022;21(5):3717-3745. doi.org/10.1111/1541-4337.12983
30. Saran S, Hiremath S, Chakraborty S, et al. Remote Sensing and Automated Monitoring Systems for Insect Pest Detection and Surveillance. *Uttar Pradesh Journal of Zoology*. 2025;46(2):155-171. doi.org/10.56557/upjoz/2025/v46i24771
31. Tamin O, Mounq EG, Dargham JA, et al. A review of hyperspectral imaging-based plastic waste detection state-of-the-arts. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*. 2023;13(3):3407-3419. doi.org/10.11591/ijece.v13i3.pp3407-3419
32. Thomas S, Wahabzada M, Kuska MT, et al. Observation of plant-pathogen interaction by simultaneous hyperspectral imaging reflection and transmission measurements. *Functional Plant Biology*. 2017;44(1):23-34. doi.org/10.1071/FP16127
33. Vignati S, Tugnolo A, Giovenzana V, et al. Hyperspectral imaging for fresh-cut fruit and vegetable quality assessment: Basic concepts and applications. *Applied Sciences*. 2023;13(17):9740. doi.org/10.3390/app13179740
34. Wang X, Zhang M, Zhu J, Geng S. Spectral prediction of *Phytophthora infestans* infection on tomatoes using artificial neural network (ANN). *International Journal of Remote Sensing*. 2008;29(6):1693-1706. doi.org/10.1080/01431160701281007

Гиперспектралды деректерді пайдалану арқылы жаздық бидай зиянкестерінің спектрлік сипаттамалары: диагностикасы және түсінің бейімделу ерекшеліктері

Р.М. Уалиева*¹, А.В. Осипова¹, М.М. Каверина¹, А.А. Фаурат¹, С.Б. Жангазин²

¹*Торайғыров университеті, Павлодар, Қазақстан*

²*Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан*

Аңдатпа. Гиперспектралды түсіруді пайдалана отырып, солтүстік-шығыс Қазақстанда жаздық бидаймен байланысты алты зиянкес түрінің (*Chorosoma schillingii*, *Loxostege sticticalis*, *Tettigonia viridissima*, *Chaetocnema aridula*, *Calliptamus italicus* және *Laodelphax striatella*) спектрлік сипаттамалары алғаш рет зерттелді. Бұл зерттеу осы тақырып бойынша бар болғаны бірнеше ғылыми еңбектерді толықтырады. Спектрлерді талдау жәндіктердің жарықты қалай шағылыстыратынын, беретінін және сіңіретінін көрсетті, бұл осы деректерді егістіктердегі зиянкестерді айырып тану тапсырмаларында одан әрі қолдануға мүмкіндік береді. Зерттелген

түрлердің спектрі 500-780 нм аралығында болады. Жоғары шағылысу жәндіктер денесінің жеңіл және тегіс аймақтарына тән, ал қараңғы, біркелкі емес және кедір-бұдырлы бөліктер жарықты шашыратып, жалпы шағылыстыруды төмендетеді. Зерттелген үлгілердің ішінде ең жоғары шағылысу қабілеті *Chorosoma schillingii* түрінің үлгісінде тегіс құрылым мен жабындардың ашық түсінің үйлесуіне байланысты байқалады. Бұл сондай-ақ жақын инфрақызыл спектріндегі қарқынды шағылысумен байланысты. Ең төменгі шағылысу коэффициенті *Chaetocnema aridula* түрінде тіркелген, бұл оның қара пигментімен жарықты сіңірумен түсіндіріледі. Көптеген басқа түрлердің ашық түсті экзоскелетіне қарамастан, олардың шағылысу коэффициенті жабындардың күңгірт құрылымына байланысты төмен болып қалады. Жәндіктердің түсі тек өсімдік фонында жасыруға көмектесіп қана қоймай, сонымен қатар қоршаған орта жағдайларына бейімделу болуы мүмкін. Ашық түстер күн сәулесін шағылыстыруға көмектесіп, артық қызып кетуден қорғайды, ал қара түстер ультракүлгін сәулесінен қорғаныс ролін атқаруы мүмкін. Жәндіктердің дене бөліктерінің әр түрлі түстері болуы мүмкін, бұл экологиялық жағдайларға функционалды бейімделумен байланысты.

Түйін сөздер: гиперспектралды визуализация, спектрлік сипаттамалар, энтомофауна, бидай агроценозы, зиянкестер

Спектральные характеристики вредителей яровой пшеницы с использованием гиперспектральных данных: диагностика и адаптационные особенности окраса

Р.М. Уалиева*¹, А.В. Осипова¹, М.М. Каверина¹, А.А. Фаурат¹, С.Б. Жангазин²

¹Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан

²Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Аннотация. С использованием гиперспектральной съемки впервые были исследованы спектральные характеристики шести видов вредителей (*Chorosoma schillingii*, *Loxostege sticticalis*, *Tettigonia viridissima*, *Chaetocnema aridula*, *Calliptamus italicus* и *Laodelphax striatella*), связанных с яровой пшеницей в северо-восточном Казахстане, что дополняет немногочисленные существующие исследования по данной теме. Анализ спектров показал, как насекомые отражают, передают и поглощают свет, что открывает возможности для дальнейшего применения этих данных в задачах распознавания вредителей на полях. Исследованные виды имеют диапазон спектра в пределах 500-780 нм. Высокий коэффициент отражения характерен для светлых и гладких участков тела насекомых, в то время как темные, неровные и шероховатые части рассеивают свет, снижая общую отражательную способность. Среди исследованных образцов наиболее высокая отражательная способность наблюдается у экземпляра вида *Chorosoma schillingii* благодаря сочетанию гладкой структуры и светлого окраса покровов. Это также связано с интенсивным отражением в ближнем инфракрасном спектре. Наименьший коэффициент отражения зафиксирован у *Chaetocnema aridula*, что объясняется поглощением света темным пигментом. Несмотря на светлый экзоскелет у большинства других видов, их коэффициент отражения остается низким из-за матовой текстуры покровов. Цветовое окрашивание насекомых не только способствует маскировке на растительном фоне, но также может быть адаптацией к условиям окружающей среды. Светлая окраска способствует отражению солнечного

света и предотвращает перегрев, в то время как темная окраска может служить защитой от ультрафиолетового излучения. Разные части тела насекомых могут иметь различные окраски, что связано с функциональными адаптациями к экологическим условиям.

Ключевые слова: гиперспектральная визуализация, спектральные характеристики, энтомофауна, агроценоз пшеницы, вредители

Сведения об авторах:

Уалиева Римма Мейрамовна – автор-корреспондент, PhD, профессор кафедры «Биология и экология», НАО «Торайгыров университет», ул. Ломова 64, 140008, Павлодар, Казахстан.

Осипова Анастасия Вячеславовна – студент бакалавриата, кафедра «Биология и экология», НАО «Торайгыров университет», ул. Ломова 64, 140008, Павлодар, Казахстан.

Каверина Мария Михайловна – докторант кафедры «Биология и экология», НАО «Торайгыров университет», ул. Ломова 64, 140008, Павлодар, Казахстан.

Фаурат Алина Александровна – PhD, ассоциированный профессор кафедры «География и туризм», НАО «Торайгыров университет», ул. Ломова 64, 140008, Павлодар, Казахстан.

Жангазин Саян Берикович – PhD, ассоциированный профессор, заместитель декана по научной работе факультета естественных наук, НАО «Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева», Казымукан 13, 010000, Астана, Казахстан.

Авторлар туралы мәліметтер:

Уалиева Римма Мейрамовна – хат-хабар авторы, PhD, «биология және экология» кафедрасының профессоры, «Торайгыров университеті» КеАҚ, Ломов көшесі, 64, 140008, Павлодар, Қазақстан.

Осипова Анастасия Вячеславовна – бакалавриат студенті, «биология және экология» кафедрасы, «Торайгыров университеті» КеАҚ, Ломов көшесі, 64, 140008, Павлодар, Қазақстан.

Каверина Мария Михайловна – «биология және экология» кафедрасының докторанты, «Торайгыров университеті» КеАҚ, Ломов көшесі, 64, 140008, Павлодар, Қазақстан.

Фаурат Алина Александровна – PhD, «география және туризм» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Торайгыров университеті» КеАҚ, Ломов көшесі, 64, 140008, Павлодар, Қазақстан.

Жангазин Саян Берикович – PhD, қауымдастырылған профессор, жаратылыстану ғылымдары факультеті деканының ғылыми жұмыс жөніндегі орынбасары, «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» КеАҚ, Қажымұқан 13, 010000, Астана, Қазақстан.

Authors' information:

Ualiyeva Rimma Meyramovna – Corresponding author, PhD, Professor, Department of Biology and Ecology, Toraighyrov University, 64 Lomov St., 140008, Pavlodar, Kazakhstan.

Osipova Anastasiya Vyacheslavovna – Bachelor's degree student, Department of Biology and Ecology, Toraighyrov University, 64 Lomov St., 140008, Pavlodar, Kazakhstan.

Kaverina Mariya Mikhailovna – PhD student, Department of Biology and Ecology, Toraighyrov University, 64 Lomov St., 140008, Pavlodar, Kazakhstan.

Faurat Alina Aleksandrovna – PhD, Associate Professor, Department of Geography and Tourism, Toraighyrov University, 64 Lomov St., 140008, Pavlodar, Kazakhstan.

Zhangazin Sayan Berikovich – PhD, Associate Professor, Deputy Dean for Research of the Faculty of Natural Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Khadzhimukan 13, 010000, Astana, Kazakhstan.



IRSTI 34.29.35
Research article

<https://doi.org/10.32523/2616-7034-2025-151-2-169-183>

Phytochemical and elemental composition of the *Linaria cretacea* Fisch ex Spreng (*Plantaginaceae*)

M.S. Bakytzhanova*¹, K.H. Makhmudova¹, A.U. Tuyakbayeva², N.A. Utarbayeva³,
A.A. Bitkeyeva⁴, T. Atici⁵

¹Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

²L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

³K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Kazakhstan

⁴Toraigyrov University, Pavlodar, Kazakhstan

⁵Gazi University, Ankara, Turkey

*Corresponding author: maral.bakytzhanova@mail.ru

Abstract. The article presents the results of a phytochemical study of a rare species of the Republic of Kazakhstan *Linaria cretacea* Fisch ex Spreng. Specific biologically active compounds contained in the inflorescences, roots, and leaves of plants have demonstrated their pharmacological properties and biological activity, confirming that various phytochemical groups and individual compounds have beneficial effects. Of the total number of organic compounds detected in ethanol extracts, falcarinol (with a relative content of 16,51%) and thymol (with a relative content of 0,57%) in *L. cretacea* were identified with a high degree of confidence (65-90%). These compounds are valuable biologically active substances used in medicine. Being unsaturated compounds, they can be classified as natural antioxidants. For example, falcarinol is found in the roots of American ginseng. Thymol, which is part of the structural elements of cell membranes, is also a phenolic antiseptic with pronounced antimicrobial and antifungal activity against various microorganisms. The results obtained are promising and can be further used to develop a technology for obtaining valuable biologically active substances from *Linaria cretacea* Fisch ex Spreng biomass.

Keywords: *Linaria cretacea* Fisch. ex Spreng., endemic, structural components, calcefit compound, phytochemical analysis

Introduction

Flora of the Aktobe region the large-scale, predominantly shallow-soil-low- high-altitude vegetation of Kazakhstan is characterized by a variety of successive communities, which differ both in their composition and structure. Endemic plant species are mainly found on rocks with various lithological compositions, including granites, sandstones, shales, limestones and effusions [1-3].

Received: 29.05.2025. Accepted: 24.06.2025. Available online: 04.07.2025.

The book " Plant Resources of the USSR" provides instructions for the chemical composition and use of 10 species belonging to the genus *Linaria*, including *L. vulgaris* Mill. is known in Kazakhstan as medicinal plants. *Linaria vulgaris* has a long history of use in folk medicine [4]. It is effective in the treatment of dropsy, constipation, jaundice and scrofula, and is also used as a laxative, diuretic, diaphoretic, anthelmintic and choleretic. This plant helps to improve the functioning of the stomach and especially the intestines, helps to cope with flatulence and reduces inflammatory processes, contributing to the reduction and resorption of infiltrates [5,6].

Representatives of the *Linaria* genus have a rich composition, including natural alkaloids, essential oils, phenolic and flavonoid compounds. Species containing biologically active ingredients are used to improve digestion, to relieve spasmodic pain in the gastrointestinal tract, as an anti-inflammatory, soothing agent for cleaning injuries and wounds, and as an antiseptic, for sun-damaged skin, for the treatment of cystitis diseases. In Europe, medical extracts and teas are prepared from raw materials obtained from related species [7,8].

Materials and research methods

To study the composition of the extract prepared from the vegetative part of *Linaria cretacea*, samples were treated with 96% ethyl alcohol. 1 g of dry samples were analyzed using Agilent 6890n/5973n gas chromatography by gas chromatography-mass spectrometry method. Analysis conditions 1 µL of the sample was divided at a temperature of 270°C 10: 1. The separation was carried out using a DB-WAX chromatographic capillary column, 30 m long, 0.25 mm in diameter and 0.25 microns thick, at a constant gas flow rate (helium) of 1 ml/min. The chromatography temperature was programmed to range from 40 °C to 300 °C for 5 minutes with a heating rate of 5 °C/min. The Agilent MSD ChemStation version 1701EA software was used to register the results and process the data obtained by gas chromatography. A mass spectrometric detector using the Wiley 7 and NIST'02 libraries was used to analyze spectral information and distinguish the obtained mass spectra results [9,10].

For sample preparation, 20 g of ground plant material was sieved through a sieve with 1 mm hole diameter and placed in a 100 ml volumetric flask. To the obtained material 50 ml of ethanol was added as extractant. The extraction was carried out using ultrasonication for 60 minutes. After completion of the process, the extract was filtered and then a 2 ml aliquot was taken for subsequent chromatographic analysis (Figure 1).

Statistical processing was performed using MS EXCEL 2010 programme and Statistica 5.0 statistical software package.

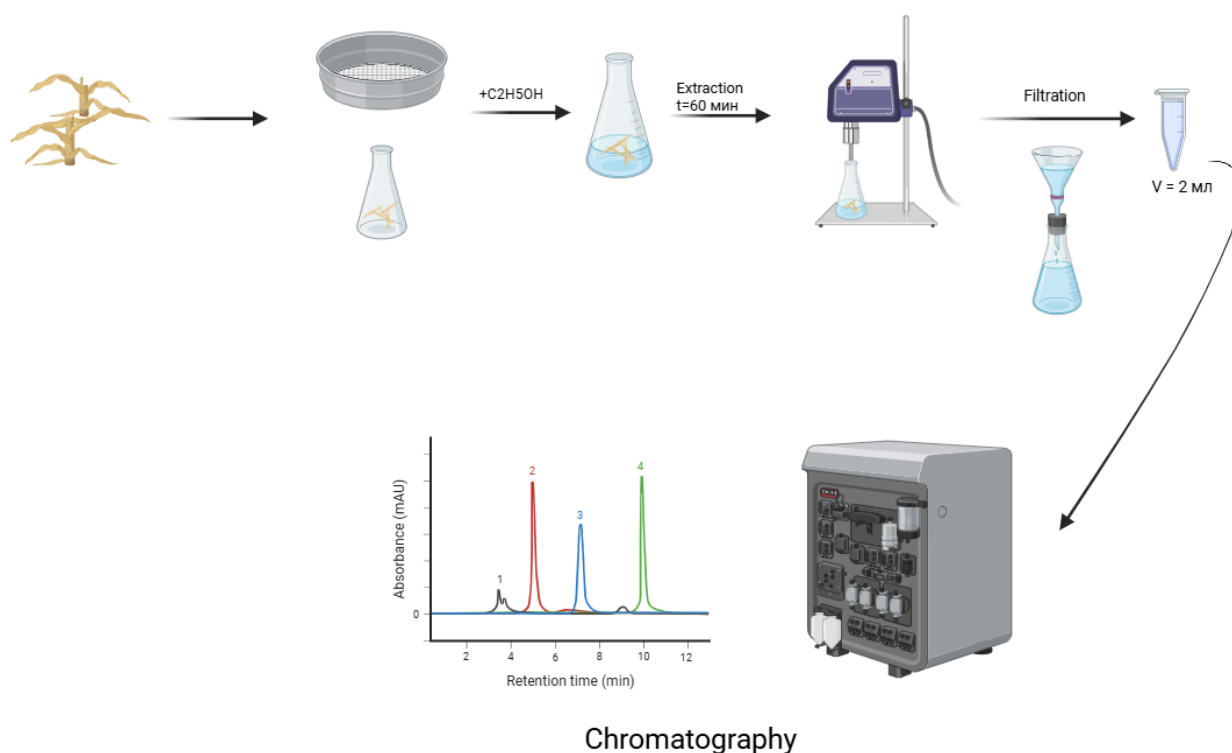


Figure 1. The analysis scheme

Results

Well, *L. cretacea* to date, the healing properties and chemical composition of the species have not been scientifically described. Therefore, of interest is the composition of biologically active compounds in *L. cretacea* and in which organ the substances accumulate. For use as a source of active substances, an extract from the roots, leaves and flowers of the species was prepared and the composition (Table 1) was studied in order to know exactly the amount of useful compounds in the composition and therapeutic and prophylactic properties.

Table 1

Bioactive compounds of vegetative organs of the plant extract *L. cretacea*

№	Retention time, min	Connections	Probability of identification, %	Percentage content, %
1	10,32	Propanoic acid, 2-oxo-, methyl ester	87	1,57
2	11,54	3-Furaldehyde	88	0,38
3	12,55	2-Propanone, 1-(acetyloxy)-	69	0,16
4	12,85	Hexanoic acid	80	0,82

5	13,12	α -Phellandrene	85	1,01
6	13,74	4-Cyclopentene-1,3-dione	80	0,54
7	14,41	2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-	88	1,38
8	15,23	Phenol	82	0,49
9	15,56	Benzaldehyde	80	0,32
10	15,74	2-Furancarboxaldehyde, 5-methyl-	72	0,58
11	16,29	2(5H)-Furanone	79	0,47
12	18,14	1,3-Dioxol-2-one,4,5-dimethyl-	70	1,04
13	18,64	2-Hydroxy-gamma-butyrolactone	75	1,18
14	19,41	Phenol, 2-methoxy-	70	0,60
15	20,46	Carvenone	80	0,74
16	20,97	Ethanol, 2-(2-butoxyethoxy)-	67	0,68
17	21,46	Bicyclo[3.1.0]hexan-3-ol, 4-methylene-1-(1-methylethyl)-, (1 α ,3 α ,5 α)-	80	0,84
18	21,57	Benzenemethanol, α , α ,4-trimethyl-	87	0,81
19	22,08	Cyclopropyl carbinol	74	1,03
20	22,32	2-Undecanone	84	0,96
21	24,06	2,6-Octadienoic acid, 3,7-dimethyl-, methyl ester	80	0,52
22	24,68	Thymol	65	0,57
23	25,57	4-Octen-3-one, 6-ethyl-7-hydroxy-	71	2,90
24	26,19	2-Methoxy-4-vinylphenol	87	1,23
25	27,07	Hexadecane	85	0,52
26	27,38	Cetene	82	0,51
27	27,44	2-Tridecanone	83	0,89
28	28,50	3-Cyclohexene-1-methanol, α , α ,4-trimethyl-, propanoate	77	0,51
29	30,15	Tetradecanal	78	0,49
30	31,42	(-)-Spathulenol	86	1,01
31	32,13	Sucrose	73	6,43
32	33,09	3,7,11,15-Tetramethyl-2-hexadecen-1-ol	88	2,03
33	33,64	2-(3,4-Dimethoxyphenyl)-6-methyl-3,4-chromanediol	73	1,80
34	34,63	2-Pentadecanone, 6,10,14-trimethyl-	79	0,46
35	37,66	Hexadecanoic acid	86	1,38
36	39,15	4H-Indeno(2,1-d)thiazol-2-amine	67	0,56
37	39,84	7,9-Di-tert-butyl-1-oxaspiro(4,5)deca-6,9-diene-2,8-dione	70	0,94
38	41,07	Dibutyl phthalate	96	2,66
39	41,69	Falcarinol	90	16,51

40	44,61	2-Nonadecanone	71	6,66
41	44,80	Drometrizole	76	0,96
42	45,81	Hexanedioic acid, bis(2-ethylhexyl) ester	94	15,61
43	45,89	4,8,12,16-Tetramethylheptadecan-4-olide	68	2,36
44	46,84	2-Nonadecanone	69	1,14
45	47,95	2H-1-Benzopyran-2-one, 7-methoxy-6-(3-methyl-2-butenyl)-	87	8,67
46	51,54	1,3-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-ethylhexyl) ester	68	0,44
47	51,83	Supraene	83	1,24
48	53,72	4-(3-Methyl-2-oxobutoxy)-7H-furo[3,2-g][1]benzopyran-7-one	72	1,30
49	55,22	7H-Furo(3,2-g)(1)benzopyran-7-one, 4-(2,3-epoxy-3-methylbutoxy)-, (S)-(-)-	78	4,11

On GC /MS analysis revealed qualitative and quantitative indicators of the main biologically active substances (surfactants) as part of the vegetative organs of the plant. As a result of phytochemical analysis of the *L. cretaceae* extract contains 49 known components. The percentage of Falcarinol is 16,51%, Hexanedioic acid, bis(2-ethylhexyl) ester 15,61% and LUP-20 (29)-En-3-ol, acetate, (3b) 2H-1-Benzopyran-2-one, 7-methoxy-6-(3-methyl-2-butenyl)-8,67% compounds (Table 1).

Most of the substances identified by the vegetative organs extract are essential oils, alcohols, and ketones. The minimum concentrations (< 10%) of many of the compounds listed in Figure 2 were determined.

The results of the study show that the vegetative organs of the *L. cretaceae* plant are rich in biologically active compounds in the form of essential oils, alcohols, alkaloids, steroids, terpenoids, flavonoids, aldehydes, ketones, carbohydrates and phenols. The percentage of chemical compounds in surface and underground organs is different (Figure 2).

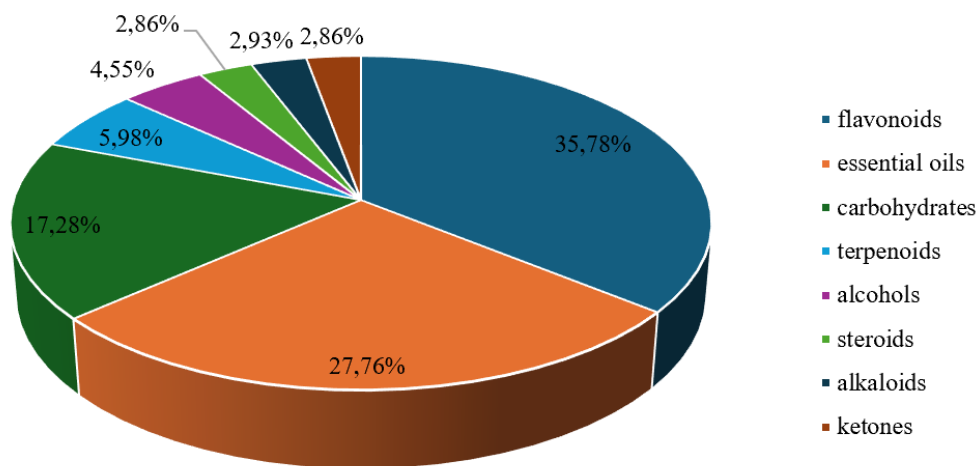


Figure 2. Biologically active compounds in *L. cretaceae* extract

While the *L.cretaceae* vegetative organs extract consists of 35.78% flavonoids and 27.76% essential oils of various amounts of chemical compounds. In addition to 17.28% carbohydrates and 5.98% terpenoids, alcohols are 4.55%, alkaloids are 2.93%, steroids are 2.86% and ketones are 2.86% below five percent (Figure 2,3).

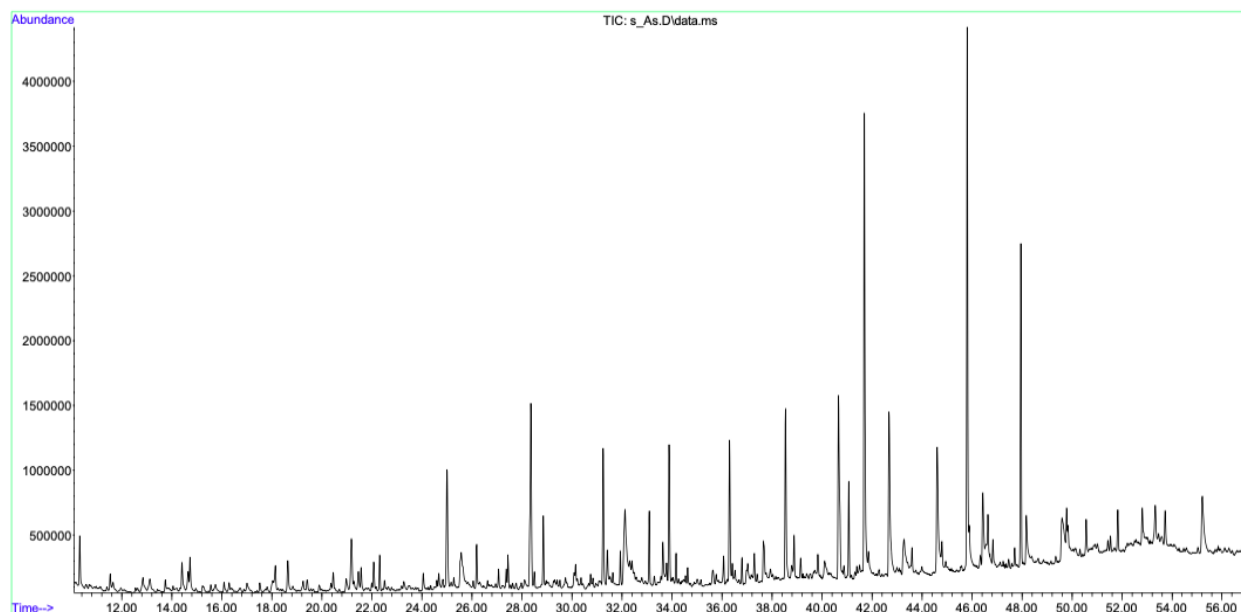


Figure 3. Chromatogram of the extract

The results show that the qualitative composition of the identified elements in the leaves, stems and roots of the plant is almost identical, while the quantitative content has minor differences depending on the population. By qualitative composition and quantitative composition of dry extracts of *L. cretaceae* leaves, stems and roots correspond to the raw material reserves.

Obtained from all three populations of 9 elements were identified in the chemical composition of the *L.cretaceae* plant (Figure 4). Various concentrations of carbon (C), oxygen (O), sodium (Na), magnesium (Mg), silicon (Si), sulfur (S), chlorine (Cl), potassium (K) and calcium (Ca) in the vegetative organs of plants perform certain physiological functions. These elements are presented in organs in varying amounts. Carbon and oxygen, which are the main macronutrients, are found in significant quantities in plant organs [11-15].

Chemical elements are characterized by a homogeneous qualitative composition, however, there is a difference in the quantitative content of individual components (Figure 4). Carbon ranks first in terms of the content of chemical elements in plant organs, its share is about 51.9-58.6% in roots, 61.0-63.9% in stems, and 55.47-78.9% in leaves. Oxygen is in second place, approximately 32.7-35.8% at the root, 28.5-35.1% at the stem and 23.6-35.8% for the sheet. Calcium is in third place, approximately 3.1-8.6% at the root, 1.4-3.8% at the stem, and 1.5-5% at the leaf. It can be seen that the elements Na, Mg, Si, S, Cl, and K are found in smaller amounts (0.1-4.2%). Nutritional elements are indicators of the soil and climatic conditions of the region. Collected from natural habitats of the Aktobe region *L. cretaceae*, the following conclusions can be drawn about the chemical composition and therapeutic properties of the plant [16-19].

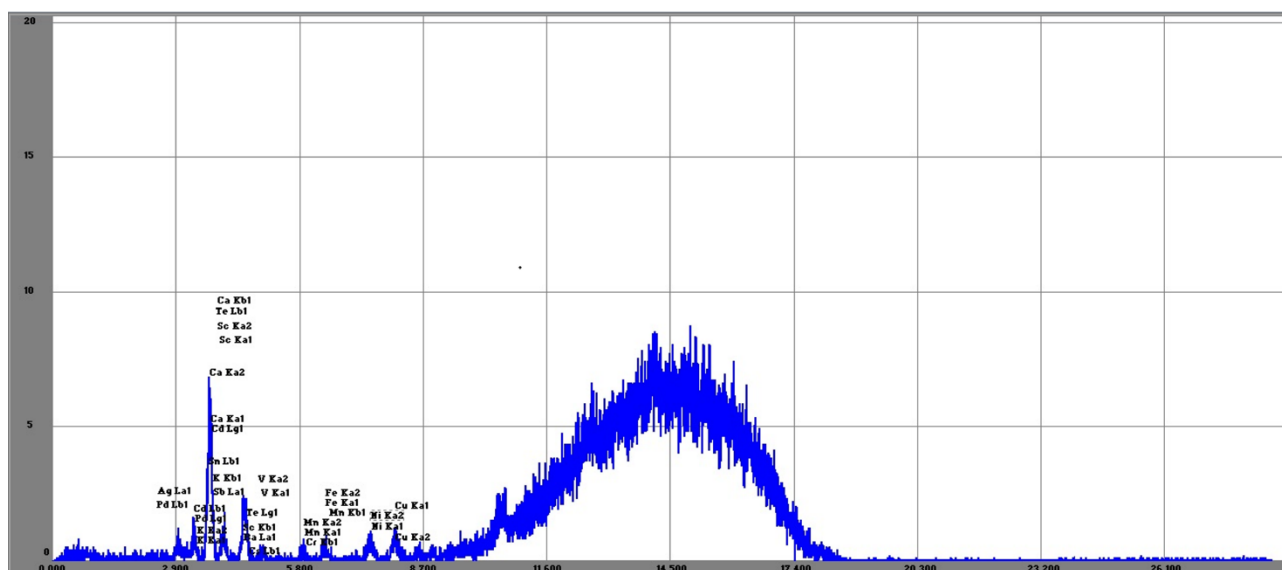


Figure 4. Element content in *L. cretacea*, Ishkaragtau, mg/kg

Discussion

It was found that individual parts of the *L. cretacea* species consist of different biologically active compounds in each. 49 specific biologically active compounds were found in the inflorescences, roots, and leaves of plants, which confirmed their pharmacological properties and demonstrated biological activity. These results indicate that various phytochemical groups and certain compounds have valuable beneficial properties (Table 1).

The analysis of literature information proves the medicinal properties and curative properties of bioactive compounds contained in the plant. Among the various compounds found in the inflorescence extract are anti-inflammatory, analgesic, antipyretic(1,6-Dioxaspiro[4.4]non-3-ene, 2-(2,4-hexadiynylidene, 9,12,15-Octadecatrienoic acid,2,3-dihydroxypropyl ester, (Z, Z, Z) and antimicrobial properties (Hexacosane, Lup-20 (29) - En-3-ol, acetate, (3b)) connections are present. In plant roots, 4H-Pyran-4-one, 2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl, 1, 6-Dioxaspiro [4.4]non-3-ene, 2-(2,4-hexadiynylidene), Bis (2-ethylhexyl) phthalate components exhibit antimicrobial, anti-inflammatory, and antioxidant properties, and their antibacterial properties are associated with the presence of caryophyllene oxide and squalene. Sucrose is used in the treatment of type 2 diabetes mellitus, as well as ethyl 9. cis., 11. trans. - octadecadienoate is used antitumor [20-24].

Along with antimicrobial antioxidant properties, as a local anesthetic, it has an analgesic effect, anti-inflammatory, antitumor, cytoprotective effect of gastric juice, Caryophyllene has platelet inhibition properties [25-27].

The element content reaches 3.1-8.6% at the root, 1.4-3.8% at the stem, and 1.5-5% at the leaf. It is noted that the number of other elements (Na, Mg, Si, S, Cl) and K (0.1-4.2%) is small. According to the available data, some chemical elements are absent in insignificant concentrations in most of the studied terrestrial and underground organs. For example, chlorine was not detected in the

roots of plants collected in the Akshatau region, while silicon was not detected in stems and leaves. In addition, magnesium and silicon were completely absent in the stems and leaves of plants of the planet species collected from the Ishkaragtau population. In contrast, all the elements were found in all the studied vegetative organs of the Virginian individuals collected in the Bestau area. The data presented in the tables of the study of the virgin state of plants show that the leaves, roots and stems contain the elements C, O, Na, Mg, Si, Cl, S, K, Ca.

Conclusion

Phytochemical analysis of the terrestrial and underground organs of *L. cretaceae* revealed the presence of various classes of biologically active compounds, including carbohydrates, essential oils, alkaloids, steroids, terpenoids, alcohols, flavonoids, aldehydes, phenolic compounds and ketones. Most of the identified basic and auxiliary chemical compounds determine the pharmacological action of the plant.

The reserves of 49 active substances found in the leaves of the plant compared to the roots and inflorescences confirm in medicine useful medicinal properties in the treatment of flu and cough symptoms, against expectoration, inflammatory diseases and microbes. The predominance of natural compounds of camphor, 1,8-cineol, camphene, borneol in the composition of essential oil can serve as a basis for use as a medicine. It has been shown that extracts obtained on the basis of leaves, roots, and stems of plants are a promising source of macro- and microelements. The use of only leaves without damage to roots and inflorescences in the isolation of natural compounds in the composition of plant organs for folk and medical care allows not only to rationally use an endangered species, but also to preserve a rare species. Further research is needed to fully describe the period of life and time of year when biologically active compounds and elements are preserved in the plant's composition in different parts of the species.

Among the organic compounds detected in ethanol extracts, falcarinol (with a relative content of 90%) and thymol (with a relative content of 65%) were identified with the highest reliability (up to 90%). These substances are valuable biologically active components used in medicine. As unsaturated compounds, they can be classified as natural antioxidants. For example, falcarinol is found in the roots of American ginseng. Thymol, which is part of the structural components of cell membranes, also acts as a phenolic antiseptic with pronounced antimicrobial and antifungal activity against a number of microorganisms.

In biological samples obtained from an endemic species *Linaria cretacea*, endogenous organic substances were found, among which valuable compounds are present, including falcarinol and thymol.

The obtained data represent a promising result and can be used in the future to develop technologies for obtaining valuable biologically active substances of *Linaria cretacea* Fisch ex Spreng biomass.

Author Contributions

M.K., A.T. – concept and supervision of the work; **M.B.** – conducting the experiments; **T.A.** – discussion of the research results; **M.B.** – writing the text; **A.B.** and **N.U.** – editing the text of the article.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflicts of interest.

Compliance with ethical standards

This article does not contain a description of studies performed by the authors involving people or using animals as objects.

References

- 1 Айпеисова СА. Конспект флоры Актюбинского флористического округа. Актобе; 2012.
- 2 Popov SV, Akhmetiev MA, Bugrova EM, et al. Biogeography of the Northern Peri-Tethys from the Late Eocene to the Early Miocene. 1. Early Eocene. J Paleontol. 2001; 35(1): 1-68.
- 3 Aipeisova S, Utarbayeva N, Maui A, et al. Fabaceae Lindl. Species in the Floristic composition of the Aktobe Floristic District. Int J Env Stud. 2023; 80(4): 1076–87. doi.org/ 10.1080/00207233.2022.2136851
- 4 Соколов ПД. Растительные ресурсы СССР. Спб.: «Наука»; 1991.
- 5 Aipeisova S, Utarbayeva N, Kazkeev E, et al. Species diversity and structure of the saxicolous floral complex in the Aktobe floristic district. Sabrao J Breed & Genet. 2023; 55 (5): 1486-95. doi.org/ 10.54910/sabrao2023.55.5.4
- 6 Aipeisova S, Utarbayeva N, Kazkeyev Y, et al. Species diversity of the Chenopodiaceae Vent. family in the flora of the Aktobe floristic district (Kazakhstan). Pak J Bot. 2025; 57(2): 661–65. doi.org/ 10.30848/PJB2025-2(35)
- 7 Ercil D, Sakar MK. Chemical constituents of Linaria aucheri. Turk J Chem. 2004; 28: 133–39. doi.org/journals.tubitak.gov.tr/chem/vol28/iss1/15
- 8 Kuptsova LP, Ban'kovskii AI. A new flavonoid from some species of toadflax. Chem Nat Compd. 1970; 6: 121–22. doi.org/10.1007/BF00564177
- 9 Westoby M., Falster D.S., Moles A.T., et al. Plant ecology strategies: some leading dimensions of variation between species. Ann Rev Ecol & Syst. 2002; 33(1): 125-59. doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.33.010802.150452
- 10 Schnabel A, Krutovskii KV. Conservation genetics and evolutionary history of Gleditsia caspica: inferences from allozyme diversity in populations from Azerbaijan. Conser Genet. 2004; 5(2): 195–204. doi.org/10.1023/B:-COGE.0000030003.77703.c0
- 11 Idrissova GZ, Sergeeva IV, Shevchenko EN, et al. Bioecological Characteristics of the Flora of the Territories Adjacent to the Springs of Western Kazakhstan. Pov Ekol Zh. 2019; 4: 419-31. doi.org/10.35885/1684-7318-2019-4-419-431
- 12 Mukhambetov B, Nasiyev B, Abdinov R, et al. Influence of soil and climatic conditions on the chemical composition and nutritional value of Kochia prostrata feed in the arid zone of Western Kazakhstan. Casp J Env Sci. 2023; 21 (4): 853-63. doi.org/ 10.22124/CJES.2023.7134
- 13 Kamp J, Koshkin MA, Bragina TM, et al. Persistent and novel threats to the biodiversity of Kazakhstan's steppes and semi-deserts. Biodiv. & Conserv. 2016; 25(12): 2521-41. doi.org/10.1007/s10531-016-1083-0
- 14 Matveeva TV, Otten L. Widespread occurrence of natural genetic transformation of plants by Agrobacterium. Plant Mol. Biol. 2019; 101(4–5): 415–37. doi.org/10.1007/s11103-019-00913-y

- 15 Matveeva T. New naturally transgenic plants: 2020 update/ T. Matveeva // Bio. Comm. -2021.- Vol. 66(1).-P. 36–46. doi.org/10.21638/spbu03.2021.105
- 16 Widhalm JR, Rhodes D. Biosynthesis and molecular actions of specialized 1,4 naphthoquinone natural products produced by horticultural plants. Hort Res. 2016; 3: 160-46. doi.org /10.1038/hortres.2016.46
- 17 Myrzagaliyeva A, Seilkhan A, Takirova M, et al. Morphological variability of the rare species *Linaria cretacea* in the conditions of the chalk hills in North-Western Kazakhstan. Casp J Env Sci. 2023; 21: 1273-78. doi.org/10.22124/cjes.2023.7429
- 18 Sergaliev NK, Sarsenova BB, Idrisova GZ, et al. Assessment of the Vegetation Condition of Lakes and Springs of the West Kazakhstan Region. Inl Wat Biol. 2023; 16:229–236. doi.org/10.1134/S1995082923020190
- 19 Shoman N, Solomonova E, Akimov A. Application of structural, functional, fluorescent, and cytometric indicators for assessing physiological state of marine diatoms under different light growth conditions. Turk J Bot. 2021; 45:511–521. doi.org/10.3906/bot-2102-39
- 20 Shustov MV, Mamontov AK, Zueva MA, et al. Plants of the calcifilic flora exposition of the NV Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences listed in Red Data Books of Central Russia. WOS Conf: EDP Sci. 2023; 411: 20-52. doi.org/10.1051/e3sconf/202341102052
- 21 Shustov MV, Shvetsov AN, Mamontov AK, et al. Preserving Rare and Endangered Calcific Steppe-Dwelling East-European Species ex situ. IOP Conf Ser: Earth &Env Sci. 2021; 817: 12-21. doi.org/10.1088/1755-1315/817/1/012100
- 22 Karimova OA, Abramova LM, Golovanov YM. Analysis of the current status of populations of rare plant species of nature monument Troicki chalk mountains (Orenburg region). Arid Ecosys. 2017; 7:41–48. doi.org/ 10.1134/S2079096117010073
- 23 Golovanov YM, Abramova LM. Chalky highlands in Orenburg Oblast, a unique habitat for rare plant species and plant communities. Arid Ecosys. 2019; 9:89–96. doi.org/10.1134/S2079096119020069
- 24 Matveeva TV, Kosachev PA. Sequences homologous to *Agrobacterium rhizogenes* rolC in the genome of *Linaria acutiloba*. Int.conf. front. of env., en. &biosci. (ICFEEB 2013). Lancaster: DES tech Publications Inc., 2013.
- 25 El-Naggar LJ, Beal JL. Iridoids. An updated review. Part I. J Nat Prod. 1980; 43: 649–57. doi.org/10.1021/np50012a001
- 26 Boros CA, Stermitz FR. Iridoids. An updated review. Part II. J Nat Prod. 1990; 53: 1055–47. doi.org/1021/np50077a001
- 27 White FF. Sequence homologous to *Agrobacterium rhizogenes* T-DNA in the genomes of uninfected plants. Nat. 1983; 301: 348–50. doi.org/10.1038/301348a0
- 28 Izbastina KS, Kurmanbayeva MS, Bazargaliyeva AA, et al. Floristic composition of plant communities with the populations of a rare species *Anthemis trozskiana* Claus in the Aktobe region. Exp Biol. 2018; 74(1):4–19. doi.org/10.26577/EB-2018-1-1311
- 29 Darbaeva TI. Ecological and historical assemblages of the flora of the Cretaceous Uplands of Northwestern Kazakhstan. Bot J. 2023; 9: 66-80.
- 30 Bakytzhanova M, Aipeisova S, Kazkeev E, et al. Distribution and morphometric indicators of cenopulations of the rare species *Linaria cretacea* Fisch. ex Spreng. under the conditions of Aktobe Region, Kazakhstan. Casp J Env Sci. 2024; 22 (3):785-90. doi.org/10.22124/CJES.2024.7920

***Linaria cretacea* Fisch ex Spreng. (Plantaginaceae) фитохимиялық және элементтік құрамы**

**М.С. Бакытжанова^{1*}, К.Х. Махмудова¹, А.У. Тұяқбаева²,
Н.А. Утарбаева³, А.А. Биткеева⁴, Т. Атичи⁵**

¹Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

²Л.Н. Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

³Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан

⁴Торайғыров университеті, Павлодар, Қазақстан

⁵Гази университеті, Анкара, Түркия

Аңдатпа. Мақалада Қазақстан Республикасының сирек кездесетін *Linaria cretacea* Fisch ex Spreng түрін фитохимиялық зерттеу нәтижелері келтірілген. Өсімдіктердің гүлшоғырларында, тамырларында және жапырақтарында болатын ерекше биоактивті қосылыстар биоактивтілікке ие фармакологиялық қасиеттерді растады және көптеген фитохимиялық топтар мен арнайы қосылыстардың пайдалы қасиеттері бар екенін көрсетті. *L. cretacea* құрамында этанол сығындыларында кездесетін органикалық қосылыстардың жалпы санының ішінде фалкаринол (салыстырмалы құрамы 90%) және тимол (салыстырмалы құрамы 65%) ең жоғары сенімділік дәрежесімен (90% дейін) анықталды. Бұл медицинада қолданылатын құнды биологиялық белсенді заттар. Қанықпаған қосылыстар болғандықтан, оларды табиғи антиоксиданттар қатарына жатқызуға болады. Мысалы, фалькаринол американдық женьшеньдің тамырында кездеседі. Жасуша мембраналарының құрылымдық компоненттерінің құрамына кіретін тимол сонымен қатар бірқатар микроорганизмдерге қарсы айқын микробқа қарсы және саңырауқұлаққа қарсы белсенділігі бар фенолды антисептик болып табылады. Алынған нәтижелер перспективалы болып табылады және одан әрі *Linaria cretacea* Fisch ex Spreng биомассасынан құнды биологиялық белсенді заттарды алу технологиясын жасау үшін пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: *Linaria cretacea* Fisch.ex Spreng., эндемик, құрылымдық компоненттер, кальцефиттер қауымдастығы, фитохимиялық талдау

Фитохимический и элементный состав *Linaria cretacea* Fisch ex Spreng (Plantaginaceae)

**М.С. Бакытжанова^{1*}, К.Х. Махмудова¹, А.У. Туякбаева²,
Н.А. Утарбаева³, А.А. Биткеева⁴, Т. Атичи⁵**

¹Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан

²Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

³Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова, Актобе, Казахстан

⁴Торайғыров университет, Павлодар, Казахстан

⁵Университет Гази, Анкара, Турция

Аннотация. В статье представлены результаты фитохимического исследования редкого для Республики Казахстан вида *Linaria cretacea* Fisch ex Spreng. Специфические биологически активные соединения, содержащиеся в соцветиях, корнях и листьях растений, подтвердили

фармакологические свойства, обладающие биологической активностью, и показали, что многочисленные фитохимические группы и специальные соединения обладают полезными свойствами. Из общего числа органических соединений, обнаруженных в этанольных экстрактах, фалькаринол (относительное содержание 90%) и тимол (относительное содержание 65%) были идентифицированы с наибольшей степенью достоверности (до 90%) в составе *L. cretacea*. Это ценные биологически активные вещества, которые используются в медицине. Являясь ненасыщенными соединениями, они могут быть отнесены к категории природных антиоксидантов. Например, фалькаринол содержится в корнях американского женьшеня. Тимол, входящий в состав структурных компонентов клеточных мембран, также является фенольным антисептиком с выраженной антимикробной и противогрибковой активностью в отношении ряда микроорганизмов. Полученные результаты являются многообещающими и могут быть в дальнейшем использованы для разработки технологии получения ценных биологически активных веществ из биомассы *Linaria cretacea* Fisch ex Spreng.

Ключевые слова: *Linaria cretacea* Fisch.ex Spreng., эндемик, структурные компоненты, сообщество кальцефитов, фитохимический анализ

References

1. Aipeisova SA. Konspekt flory Aktjubinskogo floristicheskogo okruga [Summary of the flora of the Aktobe floral district]. Aktobe; 2012. [in Russian]
2. Popov SV, Akhmetiev MA, Bugrova EM, et al. Biogeography of the Northern Peri-Tethys from the Late Eocene to the Early Miocene. 1. Early Eocene. J Paleontol. 2001; 35(1): 1-68.
3. Aipeisova S, Utarbayeva N, Maui A, et al. Fabaceae Lindl. Species in the Floristic composition of the Aktobe Floristic District. Int J Env Stud. 2023; 80(4):1076–87. doi.org/10.1080/00207233.2022.2136851
4. Sokolov PD. Rastitel'nye resursy SSSR [Plant resources of the USSR]. St. Petersburg: Science; 1991. [in Russian]
5. Aipeisova S, Utarbayeva N, Kazkeev E, et al. Species diversity and structure of the saxicolous floral complex in the Aktobe floristic district. Sabrao J Breed & Genet. 2023; 55 (5):1486-95. doi.org/10.54910/sabrao2023.55.5.4
6. Aipeisova S, Utarbayeva N, Kazkeyev Y, et al. Species diversity of the Chenopodiaceae Vent. family in the flora of the Aktobe floristic district (Kazakhstan). Pak J Bot. 2025; 57(2): 661–65. doi.org/10.30848/PJB2025-2(35)
7. Ercil D, Sakar MK. Chemical constituents of *Linaria aucheri*. Turk J Chem. 2004; 28: 133–39. doi.org/journals.tubitak.gov.tr/chem/vol28/iss1/15
8. Kuptsova LP, Ban'kovskii AI. A new flavonoid from some species of toadflax. Chem Nat Compd. 1970; 6:121–22. doi.org/10.1007/BF00564177
9. Westoby M., Falster D.S., Moles A.T., et al. Plant ecology strategies: some leading dimensions of variation between species. Ann Rev Ecol & Syst. 2002; 33(1):125-59. dx.doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.33.010802.150452
10. Schnabel A, Krutovskii KV. Conservation genetics and evolutionary history of *Gleditsia caspica*: inferences from allozyme diversity in populations from Azerbaijan. Conser Genet. 2004; 5(2): 195–204. doi.org/10.1023/B:-COGE.0000030003.77703.c0

11. Idrissova GZ, Sergeeva IV, Shevchenko EN, et al. Bioecological Characteristics of the Flora of the Territories Adjacent to the Springs of Western Kazakhstan. *Pov Ekol Zh.* 2019; 4: 419-31. doi.org/10.35885/1684-7318-2019-4-419-431
12. Mukhambetov B, Nasiyev B, Abdinov R, et al. Influence of soil and climatic conditions on the chemical composition and nutritional value of *Kochia prostrata* feed in the arid zone of Western Kazakhstan. *Casp J Env Sci.* 2023; 21 (4): 853-63. doi.org/10.22124/CJES.2023.7134
13. Kamp J, Koshkin MA, Bragina TM, et al. Persistent and novel threats to the biodiversity of Kazakhstan's steppes and semi-deserts. *Biodiv. & Conserv.* 2016; 25(12):2521-41. doi.org/10.1007/s10531-016-1083-0
14. Matveeva TV, Otten L. Widespread occurrence of natural genetic transformation of plants by *Agrobacterium*. *Plant Mol. Biol.* 2019; 101(4-5): 415-37. doi.org/10.1007/s11103-019-00913-y
15. Matveeva T. New naturally transgenic plants: 2020 update/ T. Matveeva // *Bio. Comm.* -2021.- Vol. 66(1).-P. 36-46. doi.org/10.21638/spbu03.2021.105
16. Widhalm JR, Rhodes D. Biosynthesis and molecular actions of specialized 1,4 naphthoquinone natural products produced by horticultural plants. *Hort Res.* 2016; 3: 160-46. doi.org /10.1038/hortres.2016.46
17. Myrzagaliyeva A, Seilkhan A, Takirova M, et al. Morphological variability of the rare species *Linaria cretacea* in the conditions of the chalk hills in North-Western Kazakhstan. *Casp J Env Sci.* 2023; 21: 1273-78. doi.org/ 10.22124/cjes.2023.7429
18. Sergaliev NK, Sarsenova BB, Idrissova GZ, et al. Assessment of the Vegetation Condition of Lakes and Springs of the West Kazakhstan Region. *Int Wat Biol.* 2023; 16:229-236. doi.org/10.1134/S1995082923020190
19. Shoman N, Solomonova E, Akimov A. Application of structural, functional, fluorescent, and cytometric indicators for assessing physiological state of marine diatoms under different light growth conditions. *Turk J Bot.* 2021; 45:511-521. doi.org/10.3906/bot-2102-39
20. Shustov MV, Mamontov AK, Zueva MA, et al. Plants of the calcifilic flora exposition of the NV Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences listed in Red Data Books of Central Russia. *WOS Conf: EDP Sci.* 2023; 411: 20-52. doi.org/10.1051/e3sconf/202341102052
21. Shustov MV, Shvetsov AN, Mamontov AK, et al. Preserving Rare and Endangered Calcific Steppe-Dwelling East-European Species ex situ. *IOP Conf Ser: Earth &Env Sci.* 2021; 817: 12-21. doi.org/10.1088/1755-1315/817/1/012100
22. Karimova OA, Abramova LM, Golovanov YM. Analysis of the current status of populations of rare plant species of nature monument Troicki chalk mountains (Orenburg region). *Arid Ecosys.* 2017; 7:41-48. doi.org/ 10.1134/S2079096117010073
23. Golovanov YM, Abramova LM. Chalky highlands in Orenburg Oblast, a unique habitat for rare plant species and plant communities. *Arid Ecosys.* 2019; 9:89-96. doi.org/10.1134/S2079096119020069
24. Matveeva TV, Kosachev PA. Sequences homologous to *Agrobacterium rhizogenes* rolC in the genome of *Linaria acutiloba*. *Int.conf. front. of env., en. &biosci. (ICFEEB 2013).* Lancaster: DES tech Publications Inc., 2013.
25. El-Naggar LJ, Beal JL. Iridoids. An updated review. Part I. *J Nat Prod.* 1980; 43: 649-57. doi.org/10.1021/np50012a001
26. Boros CA, Stermitz FR. Iridoids. An updated review. Part II. *J Nat Prod.* 1990; 53: 1055-47. doi.org/1021/np50077a001

27. White FF. Sequence homologous to Agrobacterium rhizogenes T-DNA in the genomes of uninfected plants. Nat. 1983; 301: 348–50. doi.org/10.1038/301348a0
28. Izbastina KS, Kurmanbayeva MS, Bazargaliyeva AA, et al. Floristic composition of plant communities with the populations of a rare species Anthemis trotzkiana Claus in the Aktobe region. Exp Biol. 2018; 74(1):4–19. doi.org/10.26577/EB-2018-1-1311
29. Darbaeva TI. Ecological and historical assemblages of the flora of the Cretaceous Uplands of Northwestern Kazakhstan. Bot J. 2023; 9: 66-80.
30. Bakytzhanova M, Aipeisova S, Kazkeev E, et al. Distribution and morphometric indicators of cenopopulations of the rare species Linaria cretacea Fisch. ex Spreng. under the conditions of Aktobe Region, Kazakhstan. Casp J Env Sci. 2024; 22 (3):785-90. doi.org/10.22124/CJES.2024.7920

Сведения об авторах:

Бакытжанова Марал Сағындыковна – автор-корреспондент, докторант, Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Достык 13, 050010, Алматы, Казахстан.

Махмудова Карина Хамидовна – кандидат биологических наук, старший преподаватель, Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Достык 13, 050010, Алматы, Казахстан.

Туякбаева Акмарал Усерхановна – кандидат биологических наук, и.о. доцента, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Сатпаева 2, 010008, Астана, Казахстан.

Утарбаева Нурлыгуль Асылбековна – к.б.н., доцент, НАО «Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова», Алия Молдагулова 34, 030000, Актобе, Казахстан

Биткеева Алия Айтжановна – PhD, ассоциированный профессор, Торайгыров университет, Ломова 64, 140008, Павлодар, Казахстан.

Тахир Атичи – доктор биологических наук, профессор, Университет Гази, факультет биологического образования. Текникокуллар, 06500, Анкара, Турция.

Авторлар туралы мәліметтер:

Бакытжанова Марал Сағындықызы – хат-хабар авторы, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университетінің докторанты, Достық 13, 050010, Алматы, Қазақстан.

Махмудова Карина Хамидовна – биология ғылымдарының кандидаты, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университетінің аға оқытушысы, Достық 13, 050010, Алматы, Қазақстан.

Туяқбаева Ақмарал Усерханқызы – биология ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті доцентінің м.а., Сәтбаев 2, 010008, Астана, Қазақстан.

Утарбаева Нурлыгуль Асылбековна – PhD докторы, доцент, «Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті» КЕАҚ, Әлия Молдагулова 34, 030000, Ақтөбе, Қазақстан

Биткеева Алия Айтжанқызы – PhD, Торайгыров университетінің қауымдастырылған профессоры, Ломов көшесі 64, 140008, Павлодар, Қазақстан.

Тахир Атичи – доктор, Гази университетінің профессоры, Биологиялық Білім Бөлімі. Текникокуллар, 06500, Анкара, Түркия.

Authors' information:

Bakytzhanova Maral – Corresponding author, doctoral student, Kazakh National Pedagogical University named after Abai, Dostyk 13, 050010, Almaty, Kazakhstan.

Makhmudova Karina – Candidate of Biological Sciences, Senior lecturer, Kazakh National Pedagogical University named after Abai, Dostyk 13, 050010, Almaty, Kazakhstan.

Tuyakbayeva Akmaral – Candidate of Biological Sciences, Acting Associate Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev st., 010008, Astana, Kazakhstan.

Utarbayeva Nurlygul Asylbekovna – PhD, associate professor, NJSC "K. Zhubanov Aktobe Regional University", Aliya Moldagulova 34, 030000, Aktobe, Kazakhstan,

Bitkeeva Aliya – PhD, Associate Professor, Toraigyrovo University, 64 Lomov st., 140008, Pavlodar, Kazakhstan.

Tahir Atici – Dr. Professor, Gazi University, Department of Biology Education. Teknikokullar, 06500, Ankara, Turkey.



IRSTI 68.03.03

<https://doi.org/10.32523/2616-7034-2025-151-2-184-206>

Review article

Prospects for the use of plant-derived extracts as inducers of productivity and sustainability of agricultural crops

M. Kadyrbaev^{1,2*} , E.D. Danilova¹ , E.V. Boyko¹ 

¹Tomsk State University, Tomsk, Russia

²Siberian State Medical University, Tomsk, Russia

*Corresponding author: kadyrbaev.maks@mail.ru

Abstract. Nowadays, modern agriculture, faced with declining economic output and deteriorating environmental conditions, requires sustainable productivity growth. One promising direction is to find alternatives to traditional agrochemicals. Plant extracts are a promising solution offering multifunctional benefits due to the diversity of secondary metabolites. This review discusses the chemistry of extracts and production methods, including traditional maceration/percolation and more rapid methods for heat-sensitive compounds. Particular attention is paid to the phytostimulatory and biostimulatory effects of extracts, such as stimulation of cell division, modulation of stress-related genes, improvement of mineral nutrition by stimulating rhizosphere microbiota, increasing photosynthetic efficiency, and activation of salicylic and jasmonic acid pathways. Antimicrobial and allelopathic properties are also discussed. Key challenges such as biochemical instability, dosing issues, and lack of standardized protocols are highlighted. Solutions are proposed, including the development of formulated products, the use of omics analysis, and the creation of databases. Ultimately, it is emphasized that extracts are versatile tools for sustainable farming systems that require further standardization and integration with digital technologies to unlock their full potential.

Keywords: Plant extracts, biostimulants, phytopstimulants, allelopathic effects, sustainable agriculture, secondary metabolites

Introduction

Modern agriculture faces significant challenges, such as the need to increase the productivity of agricultural crops while meeting rising demands for environmental safety, addressing climate change, and reducing the chemical load on agroecosystems [1–3]. Traditional methods of plant protection and growth stimulation based on synthetic pesticides and fertilizers often lead to

Received: 01.06.2025. Accepted: 01.07.2025. Available online: 04.07.2025.

negative consequences, such as pollution of soils and water bodies, development of resistance in pathogens and pests, and reduction of biodiversity [4–7]. This situation dictates an urgent need to develop and implement innovative, sustainable solutions that could ensure high yields without harming the environment and human health.

In this context, plant extracts represent an extremely promising, but still underutilized alternative [4,6]. Plant extracts contain a rich spectrum of secondary metabolites, natural biologically active compounds with polyfunctional effects, from growth stimulation and increased plant resistance to stress to direct antimicrobial and insecticidal effects [8–10]. However, despite their obvious advantages, the widespread practical use of plant extracts in agricultural systems is constrained by a number of key problems. These include biochemical instability of active components, difficulties with precise dosing due to nonlinear effects, and a lack of scientifically sound protocols for their use in the field [11,12].

This article aims to systematize modern knowledge about the chemical composition and methods of obtaining plant extracts, to summarize their functional, antimicrobial, and allelopathic effects on plants. Particular attention will be paid to the physiological and biochemical changes occurring in plants under the influence of extracts, as well as to the current problems of standardization and variability of their action. The article will propose specific ways to solve these problems, including the development of new formulations and the introduction of modern analytical approaches, which will reveal the full potential of plant extracts as a key element of sustainable agroecological strategies.

Chemical composition of extracts and methods of their production

The composition of plant extracts varies depending on the botanical species, the part of the plant used (leaves, roots, fruits, flowers), growing conditions, time of collection, and extraction technology. [13–16]. The most common groups of compounds are polyphenols, alkaloids, saponins, terpenoids, and essential oils [10,17]. These secondary metabolites have different effects depending on their chemical nature (Figure 1).

Polyphenols and their representatives, such as flavonoids, tannins, and phenolic acids, have antioxidant and antimicrobial activity against gram-positive bacteria [18]. While alkaloids are neurotoxic to pests and can modulate the hormonal balance of plants, which shows their double-positive effect [19–21]. Saponins, as another type of secondary metabolite, affect the permeability of cell membranes, play a role in protecting against pathogens [22]. Terpenoids and essential oils regulate growth, have phytohormonal activity, and can suppress the development of phytopathogens, which is similar to the effect of saponins [23]. The extraction technology must be of primary importance for obtaining certain effects.

In general, with the development of science and technology, extraction methods have also developed. Extraction methods vary depending on the nature of the compounds and their physical and chemical properties; that is, there is no universal method for obtaining all compounds, which is logical [24–26]. We can divide them into classical methods and accelerated extraction methods, with the allocation of a separate group for the extraction of volatile compounds.

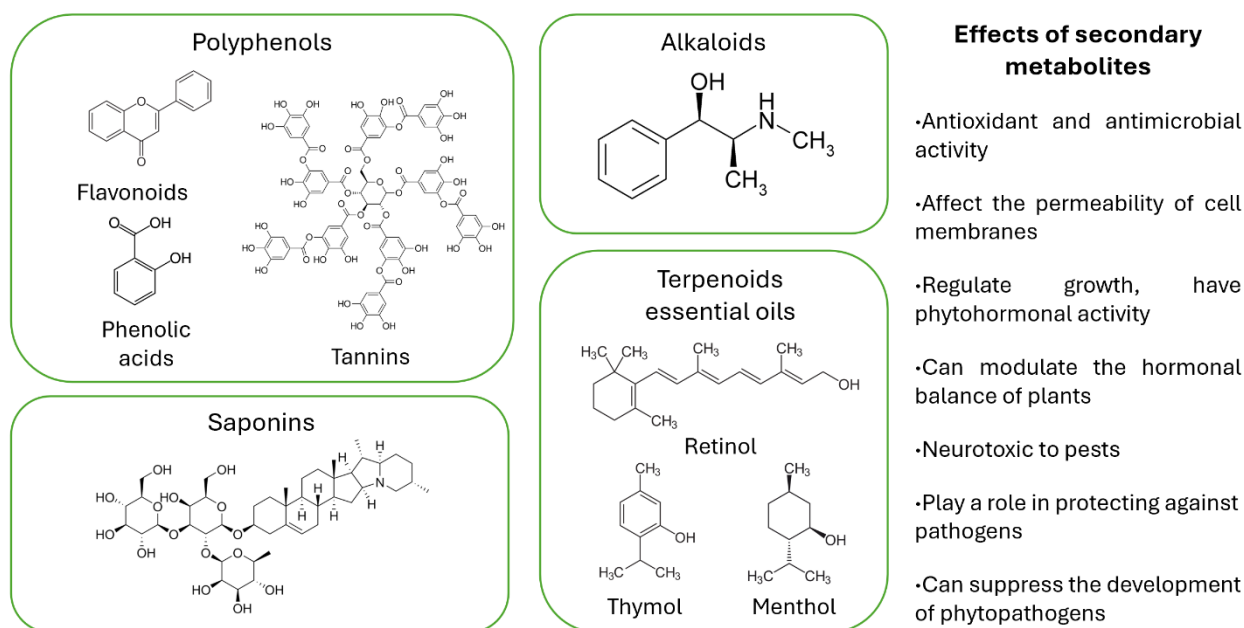


Figure 1. Secondary metabolites and their effects [13-23]

Classic extraction methods include maceration and percolation, which can be performed using a variety of solvents [26–28]. Maceration is the process of steeping plant material in a solvent for a period of time to extract the active substances [29]. Percolation, on the other hand, involves passing a solvent through a layer of plant material, ensuring a continuous renewal of the extracting agent [30]. Solvents often used include aqueous solutions, alcohol solutions of varying concentrations, and acetone solutions, the choice of which depends on the polarity and solubility of the target components [31].

The second group of extraction methods, used for heat-sensitive components, often employs accelerated extraction methods such as microwave-assisted extraction (MAE), ultrasonic extraction (UAE), and supercritical fluid extraction (SFE), which minimize thermal exposure [32–34]. MAE uses microwave radiation to rapidly and uniformly heat the solvent and matrix, which reduces extraction time and reduces the degradation of heat-sensitive compounds [35]. UAE is based on the cavitation effect created by ultrasound waves, which promotes the destruction of cell walls and improves mass transfer, which also allows extraction to be carried out at lower temperatures [36,37]. SFE uses supercritical fluids, most often carbon dioxide, as a solvent; this method is especially valuable for heat-sensitive substances, since extraction occurs at moderate temperatures and upon completion of the process, the solvent is easily separated without residue, preventing thermal degradation [38–40].

Hydrodistillation is a classic method for extracting volatile compounds such as essential oils from plant material. In this process, plant material is placed directly into water, which is then heated to the boiling point [41,42]. The resulting steam, passing through the plant material, carries with it volatile aromatic components, which are then condensed and collected as a mixture of water and essential oil, easily separated due to the different densities of the components [42–44].

Importantly, all secondary metabolite extraction stages are processes that undergo standardization of extracts and are a key step to ensure their consistent quality and efficacy. In particular, standardization can be achieved by spectrophotometric and chromatographic determination of the content of specific biomarkers [45]. Spectrophotometry allows for the quantitative assessment of the concentration of substances that absorb light in a certain wavelength range, based on the dependence of the absorption intensity on concentration [46,47]. Chromatographic methods, such as high-performance liquid chromatography-mass spectrometry (HPLC-MS) and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), provide accurate separation of extract components, allowing for the identification and quantification of individual biomarkers, including chlorogenic acid, quercetin, and eugenol, which is critical for confirming the authenticity and standardization of herbal preparations [45,47,48]. The resulting extracts can then be used as biostimulants and phytostimulants.

Biostimulating and phytostimulating effects of extracts

Biostimulants and phytostimulants based on plant extracts have a complex systemic effect on plant growth and development (Figure 2), starting with the activation of cell division and elongation, which leads to enhanced growth and the formation of a more powerful root system and aboveground mass [49–51]. One of the key mechanisms of their action is the modulation of the expression of stress-induced genes, increasing plant resistance to adverse environmental factors such as drought or salt stress [52–54]. In addition, biostimulants and phytostimulants significantly improve the mineral nutrition of plants, promoting more efficient absorption and assimilation of nutrients, which in turn leads to increased photosynthetic efficiency and increased biomass [55–57]. It is important to note that the extracts activate the metabolic pathways of salicylic and jasmonic acids, key signaling molecules that regulate immune responses and plant adaptation to abiotic and biotic stresses [58–60].

Enhanced growth and formation of a more powerful root system and aboveground mass by biostimulants/phytostimulants from plant extracts occurs due to activation of division and expansion of plant cells [60]. This process occurs due to increased synthesis of two key phytohormones: gibberellins and cytokinins [50,61]. Gibberellins stimulate cell expansion, promoting stem elongation, leaf growth, and fruit development by weakening cell walls [62,63]. Cytokinins actively participate in cell division, stimulating their proliferation and formation of new shoots, which leads to increased branching and total plant biomass [64,65]. Thus, the combined action of these hormones provides a comprehensive approach to growth stimulation, covering both an increase in the number of cells and their subsequent expansion, which ultimately contributes to the overall development of the plant.

Modulation of stress-induced gene expression by biostimulants and phytostimulants may occur through activation of genes such as Dehydration-responsive element-binding (DREB), NAC, and WRKY, which play a central role in stress adaptation [52,64,65]. For example, genes of the DREB family are activated in response to drought and low temperatures, triggering cascades of reactions that help cells cope with dehydration and drought stress [66–68]. NAC and WRKY genes are large families of transcription factors involved in the regulation of various stress responses, including protection against osmotic and oxidative stress [69–71]. Enhanced

expression of these genes allows plants to more efficiently synthesize protective proteins and antioxidants, minimizing damage and maintaining metabolic activity under stressful conditions.

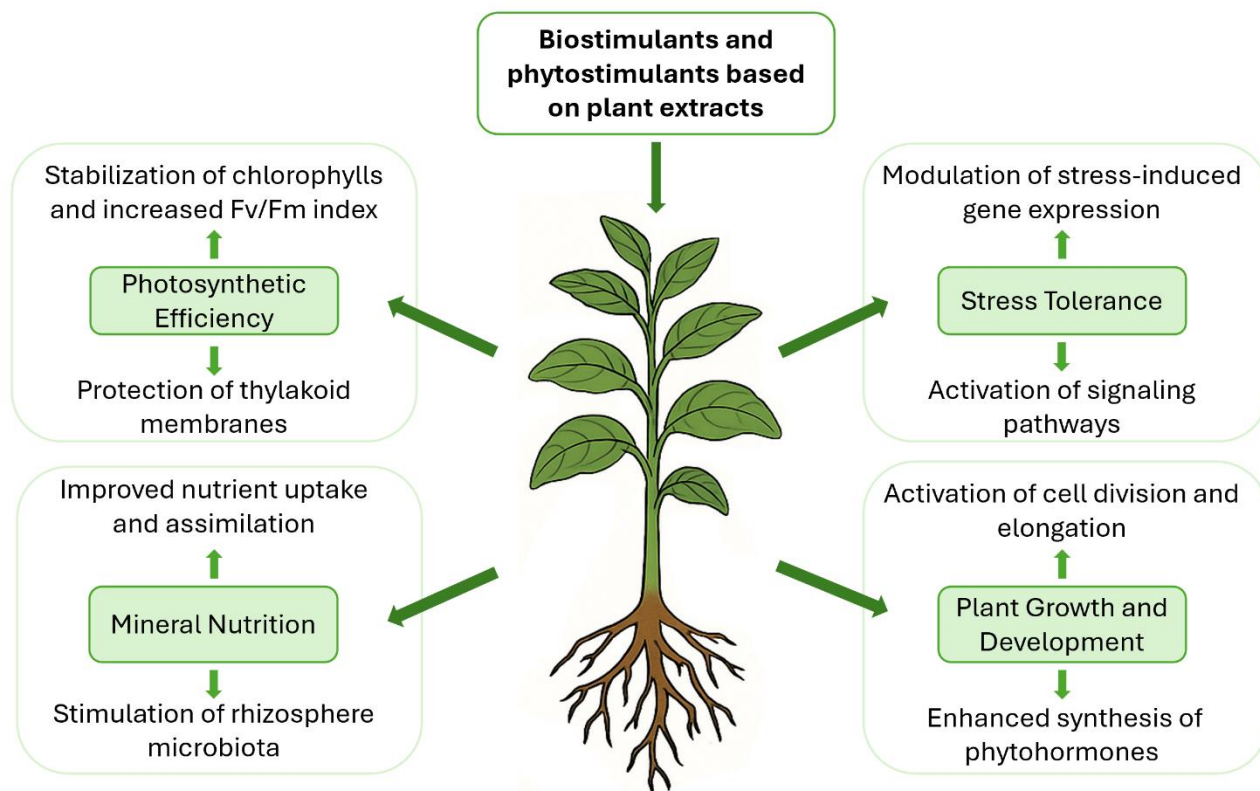


Figure 2. Biostimulating and phytostimulating effects of plant-derived extracts on agricultural plants

The use of plant extracts significantly improves the mineral nutrition of plants, which is most likely due to the stimulation of the rhizosphere microbiota [72–75]. This is especially noticeable when using extracts with a high content of organic acids and polysaccharides [76]. These compounds serve as a source of nutrition for the soil microbiome, activating the vital activity of microorganisms in the rhizosphere, promoting the dissolution of hard-to-reach nutrients and their more efficient absorption by plants [76–78].

The effects of using plant extracts on increasing the efficiency of plant photosynthesis have also been noted due to several key mechanisms [79,80]. Firstly, stabilizing the state of chlorophylls, the main pigments responsible for light absorption, prevents their premature destruction and thus maintains a high capacity for photosynthetic activity [79]. Secondly, the extracts lead to an increase in the Fv/Fm index, which is a measure of the maximum quantum efficiency of photosystem II, indicating an improvement in the use of light energy [80]. Finally, the plant extracts may preserve the thylakoids' membrane structure under the action of phenolic antioxidants contained in the extracts, protect the photosynthetic apparatus from oxidative damage, and ensure its optimal functioning even under stressful conditions [81–85].

Antimicrobial and fungicidal action

Plant extracts show significant effectiveness in combating various pathogens and can serve as a sustainable replacement for traditional plant protection products [86–88]. The effects of the extracts are varied and aimed at different ways of suppressing pathogenic organisms. Essential oils derived from plants such as thyme, oregano, and basil play a special role [89–93]. They are known for their strong fungicidal activity, capable of inhibiting the growth of fungi that cause common and destructive diseases such as root and leaf rot [89–93]. This makes them a valuable tool for the prevention and control of fungal infections.

Another striking example is neem leaf extract (*Azadirachta indica*) [94–97]. Its components not only inhibit pathogens but also disrupt the fungal division cycle, preventing their reproduction. In addition, they cause the degradation of sporangia - the structures responsible for the formation and release of spores, thereby effectively limiting the spread of infection [94–97]. This indicates a profound effect on the life cycle of the pathogen.

Antibacterial activity is also an important property of plant extracts. Extracts from plants such as garlic, ginger, and chili peppers exhibit a strong bactericidal effect, which is due to the presence of specific bioactive compounds [98–100]. In garlic, these are allicin compounds, in chili peppers - capsaicin, and in all of the above plants - various phenolic acids [101–105]. These substances can destroy the cell walls of bacteria and inhibit their metabolism, preventing the development of bacterial diseases [106–108].

The conducted phytopathological studies convincingly prove the effectiveness of these approaches. Regular use of plant extracts can reduce plant disease incidence by ~40-90%, with the specific indicator depending on the type of crop and the specific pathogen [109–111]. It is important to note that the effectiveness is enhanced by integrating extracts with biopreparations from *Bacillus* and *Trichoderma* [112–116]. Such complex use creates a synergistic effect, providing more reliable and comprehensive protection of plants from diseases.

Allelopathic effects and growth regulation

Plant extracts have unique allelopathic effects that allow them to influence the growth and development of crops, horticultural plants, and weeds (Figure 3) [117,118]. These effects are due to the presence of allelochemicals, biologically active compounds secreted by plants [117]. Allelochemicals can act as natural herbicides, suppressing the growth of weeds [118]. This opens up prospects for the development of environmentally friendly weed control strategies, reducing dependence on synthetic pesticides. Suppression mechanisms may include inhibition of weed seed germination, slowing down their growth, or disrupting their physiological processes [119].

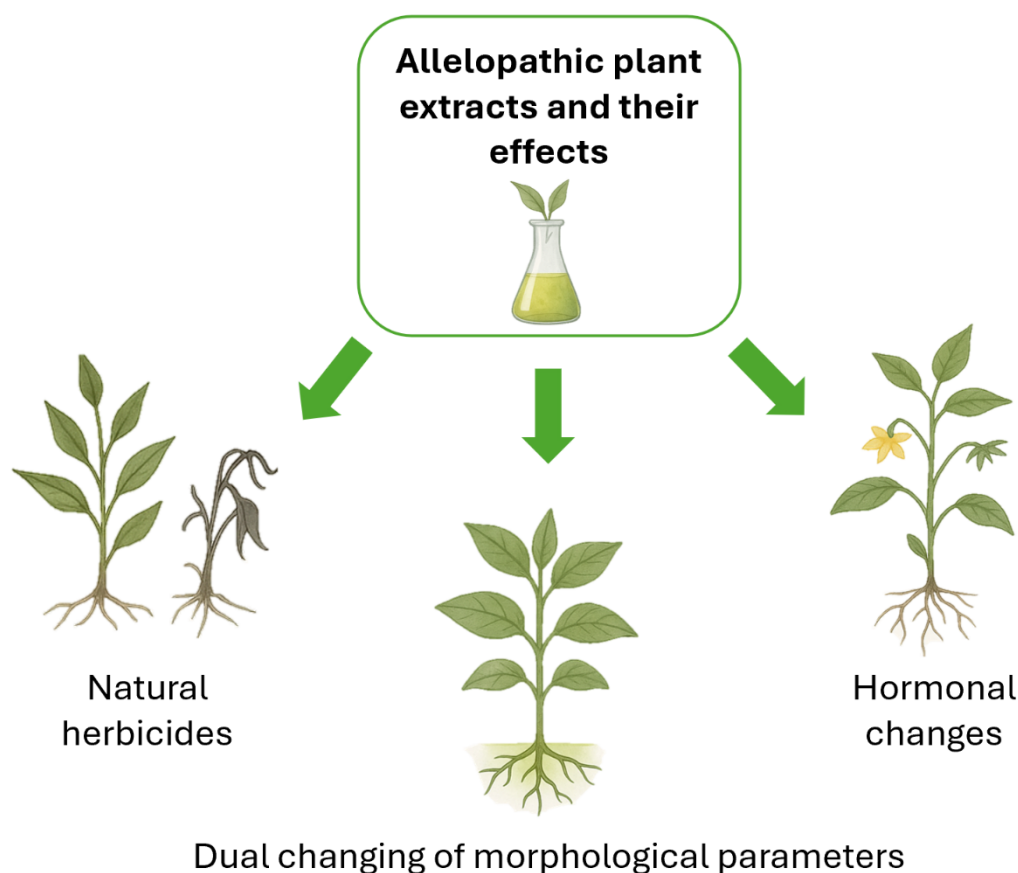


Figure 3. Allelopathic and growth-regulatory effects of plant extracts

In addition to the above-described effects on weeds, allelochemicals can cause morphological changes in the root systems of plants. These changes can be either positive (e.g., stimulation of lateral root growth for better nutrient uptake) or negative, depending on the concentration of the extract and the sensitivity of the crop [118,120,121]. Thus, these compounds can finely modulate the architecture of the root system, which is critical for plant adaptation to environmental conditions.

Moreover, allelochemicals can inhibit or stimulate the synthesis of endogenous hormones in plants. A striking example of such effects is black walnut (*Juglans nigra*) extracts, which contain a compound called juglone [122]. Juglone is known for its ability to inhibit root cell mitosis, which leads to slower root growth and generally suppressed plant development, especially in sensitive species [122]. Another example is aqueous extracts of wormwood, which, as studies show, can cause a decrease in endogenous auxins in tomato [123]. Auxins are key hormones regulating shoot and root growth, so a decrease in their levels can affect plant development [123,124].

It is worth noting that allelopathic properties should be carefully considered when selecting concentrations and methods of application of extracts to the agrosystem. Incorrect application may lead to undesirable effects on crop plants. A precise understanding of dosage and interaction with specific crops will allow the allelopathic properties of extracts to be used to optimize plant growth and effectively manage weeds in sustainable agriculture.

Extracts as elements of sustainable agriculture

Plant extracts are a key element of agroecological strategies, offering sustainable and effective solutions for modern agriculture [88,125,126]. They are compatible with organic farming and are certified in the European Union, confirming their safety and compliance with strict environmental standards [127]. Extracts can be combined with microbiological preparations, creating a synergistic effect for more comprehensive protection and stimulation of plant growth [117,118]. Their effectiveness against a wide range of pathogens without the development of resistance is a critical quality, as they act on multiple targets, reducing the likelihood of the emergence of resistant strains [86–88].

Field trials have convincingly demonstrated the practical value of plant extracts, which leads to a ~17-40% increase in crop yields [128–130]. As mentioned, the use of extracts also reduces the need for fungicides, reducing the chemical load on the agroecosystem and reducing production costs [109–111]. Additionally, an increase in soil bioactivity is observed, indicated by the growth of beneficial fungi and bacteria populations, which helps improve soil structure and nutrient cycling [72–76,78]. Prospective areas in this area include extracting from non-food residues, such as oilseed cakes or weeds [131–133]. Using these resources not only reduces waste but is also fully consistent with the principles of the circular economy, turning what was previously considered waste into valuable bioactive products for agriculture.

Problems of standardization and variability of action

The use of plant extracts in agriculture, despite their significant potential, faces several key problems that need to be addressed for their widespread and effective application. One of the main issues is the biochemical instability of extracts [134,135]. Many bioactive compounds contained in plant materials, such as polyphenols, flavonoids, terpenes, or alkaloids, are sensitive to light, heat, oxygen, and humidity [134–137]. This leads to their degradation during storage, significantly reducing the effectiveness and shortening the shelf life of the products. For example, allicin from garlic, known for its antimicrobial properties, quickly oxidizes in air and loses activity [100,101,138]. Similarly, some terpenoids from essential oils, such as linalool or geraniol, easily volatilize or decompose under the influence of light, reducing the biopesticide potential of the extract [139–141]. This instability makes it difficult to produce products with predictable quality and expiration dates.

The second problem is the difficulty of dosing. The action of plant extracts is often dose-dependent and non-linear [80,142]. This means that a small change in concentration can lead to a completely different effect: from optimal stimulation to no effect at all or even inhibition of growth. For example, low concentrations of seaweed extract can stimulate seed germination and root growth, while higher concentrations can inhibit this growth [143–145]. Without precise data on the required dosages specific to each crop and environmental conditions, it is extremely difficult for farmers to apply these products effectively and safely, risking either wasting the product or even damaging the crop.

Finally, there is a lack of clinically validated application protocols in agrosystems. Unlike synthetic pesticides and fertilizers, which have clear and proven application guidelines, most

plant extracts do not have standardized recommendations based on large-scale, long-term field trials [146,147]. This makes it difficult to standardize and predict their performance across different climates, soil types, and crops, making their use empirical rather than scientifically based.

To overcome these challenges, a number of strategic solutions are proposed. First, this is the development of controlled-release formulations. These can be microencapsulated forms, nanoemulsions, liposomes, or hydrogels that stabilize the active components, protecting them from degradation [148]. For example, encapsulation of essential oils in polymer or cyclodextrin shells can significantly prolong their activity, reduce volatility, and ensure gradual release in the soil or on the leaf surface [149,150]. Such formulations allow for a prolonged and more effective supply of active substances to the plant, increasing their bioavailability and reducing the frequency of treatments.

Secondly, it is necessary to implement omics analysis methods, such as metabolomics and proteomics, for an in-depth study of extracts. Metabolomics allows for a comprehensive analysis of the entire set of metabolites in the extract and in the plant object, helping to understand which compounds are responsible for biological activity and how they change under the influence of external factors [151]. For example, it is possible to identify which secondary metabolites in buckwheat extract are responsible for its ability to suppress weed growth, or how the composition of the extract changes with changing storage conditions [151–154]. Proteomics studies the proteins involved in plant responses to the extract, providing an understanding of the molecular mechanisms of its action [155]. These methods allow for in-depth monitoring of the action of extracts at the molecular level, identifying specific biomarkers and accurately understanding the mechanisms of their action, which is critical for optimizing the composition and effectiveness of drugs.

In addition, it is essential to create extensive databases of extracted bioactivity by donor plant species, target pathogens, and crops. These databases should contain information on the chemical composition of extracts, their effectiveness against specific diseases and pests, optimal dosages, and application conditions for different crops. Such centralized resources will greatly facilitate the selection of the most effective solutions for specific agricultural problems, make the use of extracts more predictable and scientifically substantiated, and facilitate their widespread adoption.

Conclusion

In conclusion, plant extracts are a versatile and multifunctional tool with great potential to regulate, protect, and stimulate, thereby enhancing crop sustainability and productivity. They could significantly transform crop production methods, especially within sustainable agrisystems, providing environmentally friendly and effective solutions amidst the rising demand for safe products. However, to fully realize and utilize the potential of plant extracts, further standardization of production and application methods, comprehensive interdisciplinary research to understand their mechanisms of action, and integration with digital precision farming technologies are essential. Only through this holistic approach can we shift from

empirical use to scientifically grounded and highly effective application, securing food supply and supporting sustainable agricultural development for the future.

Author Contributions

M.K. – concept and supervision of the work, writing the text; **E.D.** – selection of sources and writing the text; **E.B.** – writing and editing the article text.

Funding

This research was supported by Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, project No FSWM-2024-0009.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflicts of interest.

Compliance with ethical standards

This article does not contain a description of studies performed by the authors involving people or using animals as objects.

References

1. Agrimonti C, Lauro M, Visioli G. Smart agriculture for food quality: facing climate change in the 21st century. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2021;61(6): 971–981. doi.org/10.1080/10408398.2020.1749555.
2. Jung J, Maeda M, Chang A, et al. The potential of remote sensing and artificial intelligence as tools to improve the resilience of agriculture production systems. *Current Opinion in Biotechnology*. 2021;70: 15–22. doi.org/10.1016/j.copbio.2020.09.003.
3. Nurbekova Z, Satkanov M, Beisekova M, et al. Strategies for Achieving High and Sustainable Plant Productivity in Saline Soil Conditions. *Horticulturae*. 2024;10(8). doi.org/10.3390/horticulturae10080878.
4. Bano A, Waqar A, Khan A, et al. Phytostimulants in sustainable agriculture. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2022;6. doi.org/10.3389/fsufs.2022.801788.
5. Rad SM, Ray AK, Barghi S. Water Pollution and Agriculture Pesticide. *Clean Technologies*. 2022;4(4): 1088–1102. doi.org/10.3390/cleantechnol4040066.
6. Rouphael Y, Colla G. Editorial: Biostimulants in Agriculture. *Frontiers in Plant Science*. 2020;11. doi.org/10.3389/fpls.2020.00040.
7. Aitlessov K, Zhumabekova B, Sagyndykov U, et al. Foliar Fertilization with Molybdate and Nitrate Up-Regulated Activity of Nitrate Reductase in Lemon Balm Leaves. *Horticulturae*. 2023;9(12). doi.org/10.3390/horticulturae9121325.
8. Kisiriko M, Anastasiadi M, Terry LA, et al. Phenolics from Medicinal and Aromatic Plants: Characterisation and Potential as Biostimulants and Bioprotectants. *Molecules*. 2021;26(21). doi.org/10.3390/molecules26216343.
9. Al-Khayri JM, Rashmi R, Toppo V, et al. Plant Secondary Metabolites: The Weapons for Biotic Stress Management. *Metabolites*. 2023;13(6). doi.org/10.3390/metabo13060716.

10. Elshafie HS, Camele I, Mohamed AA. A Comprehensive Review on the Biological, Agricultural and Pharmaceutical Properties of Secondary Metabolites Based-Plant Origin. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023;24(4). doi.org/10.3390/ijms24043266.
11. Souto AL, Sylvestre M, Tölke ED, et al. Plant-Derived Pesticides as an Alternative to Pest Management and Sustainable Agricultural Production: Prospects, Applications and Challenges. *Molecules*. 2021;26(16). doi.org/10.3390/molecules26164835.
12. Vega-Vásquez P, Mosier NS, Irudayaraj J. Nanoscale Drug Delivery Systems: From Medicine to Agriculture. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2020;8. doi.org/10.3389/fbioe.2020.00079.
13. Heinrich M, Jalil B, Abdel-Tawab M, et al. Best Practice in the chemical characterisation of extracts used in pharmacological and toxicological research—The ConPhyMP—Guidelines12. *Frontiers in Pharmacology*. 2022;13. doi.org/10.3389/fphar.2022.953205.
14. Ak G, Zengin G, Sinan KI, et al. A Comparative Bio-Evaluation and Chemical Profiles of *Calendula officinalis* L. Extracts Prepared via Different Extraction Techniques. *Applied Sciences*. 2020;10(17). doi.org/10.3390/app10175920.
15. Alirezalu K, Pateiro M, Yaghoubi M, et al. Phytochemical constituents, advanced extraction technologies and techno-functional properties of selected Mediterranean plants for use in meat products. A comprehensive review. *Trends in Food Science & Technology*. 2020;100: 292–306. doi.org/10.1016/j.tifs.2020.04.010.
16. Jalloul A ben, Chaar H, Tounsi MS, et al. Variations in phenolic composition and antioxidant activities of *Scabiosa maritima* (*Scabiosa atropurpurea* sub. *maritima* L.) crude extracts and fractions according to growth stage and plant part. *South African Journal of Botany*. 2022;146: 703–714. doi.org/10.1016/j.sajb.2021.12.004.
17. Yesli K, Crayn D, Ritmejerytė E, et al. Plant Secondary Metabolites Produced in Response to Abiotic Stresses Has Potential Application in Pharmaceutical Product Development. *Molecules*. 2022;27(1). doi.org/10.3390/molecules27010313.
18. Francisco Javier Álvarez-Martínez, Enrique Barrajon-Catalán, José Antonio Encinar, et al. Antimicrobial Capacity of Plant Polyphenols against Gram-positive Bacteria: A Comprehensive Review. *Current Medicinal Chemistry*. 2020;27(15): 2576–2606. doi.org/10.2174/0929867325666181008115650.
19. Adamski Z, Blythe LL, Milella L, et al. Biological Activities of Alkaloids: From Toxicology to Pharmacology. *Toxins*. 2020;12(4). doi.org/10.3390/toxins12040210.
20. Tlak Gajger I, Dar SA. Plant Allelochemicals as Sources of Insecticides. *Insects*. 2021;12(3). doi.org/10.3390/insects12030189.
21. Raza A, Salehi H, Rahman MA, et al. Plant hormones and neurotransmitter interactions mediate antioxidant defenses under induced oxidative stress in plants. *Frontiers in Plant Science*. 2022;13. doi.org/10.3389/fpls.2022.961872.
22. Shakeel A, Noor JJ, Jan U, et al. Saponins, the Unexplored Secondary Metabolites in Plant Defense: Opportunities in Integrated Pest Management. *Plants*. 2025;14(6). doi.org/10.3390/plants14060861.
23. Siddiqui T, Khan MU, Sharma V, et al. Terpenoids in essential oils: Chemistry, classification, and potential impact on human health and industry. *Phytomedicine Plus*. 2024;4(2): 100549. doi.org/10.1016/j.phyplu.2024.100549.
24. Tzanova M, Atanasov V, Yaneva Z, et al. Selectivity of Current Extraction Techniques for Flavonoids from Plant Materials. *Processes*. 2020;8(10). doi.org/10.3390/pr8101222.

25. Luksta I, Spalvins K. Methods for extraction of bioactive compounds from products: a review. *Rigas Tehniskas Universitates Zinatniskie Raksti*. 2023;27(1): 422–437. doi.org/10.2478/rtuct-2023-0031.
26. Uwineza PA, Waśkiewicz A. Recent Advances in Supercritical Fluid Extraction of Natural Bioactive Compounds from Natural Plant Materials. *Molecules*. 2020;25(17). doi.org/10.3390/molecules25173847.
27. Cao S, Liang J, Chen M, et al. Comparative analysis of extraction technologies for plant extracts and absolutes. *Frontiers in Chemistry*. 2025;13. doi.org/10.3389/fchem.2025.1536590.
28. Chuo SC, Nasir ,Hasmda Mohd, Mohd-Setapar ,Siti Hamidah, et al. A Glimpse into the Extraction Methods of Active Compounds from Plants. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*. 2022;52(4): 667–696. doi.org/10.1080/10408347.2020.1820851.
29. Lezoul NE, Belkadi M, Habibi F, et al. Extraction Processes with Several Solvents on Total Bioactive Compounds in Different Organs of Three Medicinal Plants. *Molecules*. 2020;25(20). doi.org/10.3390/molecules25204672.
30. Adeeyo AO, Oyetade JA, Alabi MA, et al. Tuning water chemistry for the recovery of greener products: pragmatic and sustainable approaches. *RSC Advances*. 2023;13(10): 6808–6826. doi.org/10.1039/D2RA06596G.
31. Gnanasekaran G, Stolp ,Lucas, Chen, Yi-ru, et al. The extraction of biofuel components from aqueous solution into various solvents using liquid-liquid extraction (LLE). *Biofuels*. 2025;16(2): 167–174. doi.org/10.1080/17597269.2024.2396748.
32. Osorio-Tobón JF. Recent advances and comparisons of conventional and alternative extraction techniques of phenolic compounds. *Journal of Food Science and Technology*. 2020;57(12): 4299–4315. doi.org/10.1007/s13197-020-04433-2.
33. Câmara JS, Perestrelo R, Berenguer CV, et al. Green Extraction Techniques as Advanced Sample Preparation Approaches in Biological, Food, and Environmental Matrices: A Review. *Molecules*. 2022;27(9). doi.org/10.3390/molecules27092953.
34. Zia S, Khan ,Moazzam Rafiq, Shabbir ,Muhammad Asim, et al. An Inclusive Overview of Advanced Thermal and Nonthermal Extraction Techniques for Bioactive Compounds in Food and Food-related Matrices. *Food Reviews International*. 2022;38(6): 1166–1196. doi.org/10.1080/87559129.2020.1772283.
35. López-Salazar H, Camacho-Díaz BH, Ocampo MA, et al. Microwave-assisted extraction of functional compounds from plants: A Review. *Bioresources*. 2023;18(3): 6614–6638. doi.org/10.15376/biores.18.3.Lopez-Salazar.
36. Li J, Wang W, Xu W, et al. Biomimetic hybrid porous microspheres with plant membrane-wall structure for evaluating multiscale mechanisms of ultrasound-assisted mass transfer. *Chemical Engineering Journal*. 2024;486: 149936. doi.org/10.1016/j.cej.2024.149936.
37. Tabib M, Tao Y, Ginies C, et al. A One-Pot Ultrasound-Assisted Almond Skin Separation/Polyphenols Extraction and its Effects on Structure, Polyphenols, Lipids, and Proteins Quality. *Applied Sciences*. 2020;10(10). doi.org/10.3390/app10103628.
38. Herzyk F, Piłakowska-Pietras D, Korzeniowska M. Supercritical Extraction Techniques for Obtaining Biologically Active Substances from a Variety of Plant Byproducts. *Foods*. 2024;13(11). doi.org/10.3390/foods13111713.
39. Li L, Chen M, Zeng Y, et al. Application and Perspectives of Supercritical Fluid Technology in the Nutraceutical Industry. *Advanced Sustainable Systems*. 2022;6(7): 2200055. doi.org/10.1002/adsu.202200055.

40. Arumugham T, K R, Hasan SW, et al. Supercritical carbon dioxide extraction of plant phytochemicals for biological and environmental applications – A review. *Chemosphere*. 2021;271: 129525. doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129525.
41. Katekar VP, Rao AB, Sardeshpande VR. A hydrodistillation-based essential oils extraction: A quest for the most effective and cleaner technology. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*. 2023;36: 101270. doi.org/10.1016/j.scp.2023.101270.
42. Olascuaga-Castillo KA, Castillo-Medina O, Villacorta-Zavaleta M, et al. Extraction of essential oils by hydrodistillation of four aromatic species: Conditioning, extraction conditions, yield and chemical composition. *Scientia Agropecuaria*. 2024;15(3): 385–408. doi.org/10.17268/sci.agropecu.2024.029.
43. Jensch C, Strube J. Proposal of a New Green Process for Waste Valorization and Cascade Utilization of Essential Oil Plants. *Sustainability*. 2022;14(6). doi.org/10.3390/su14063227.
44. Pheko-Ofithile T, and Makhzoum A. Impact of hydrodistillation and steam distillation on the yield and chemical composition of essential oils and their comparison with modern isolation techniques. *Journal of Essential Oil Research*. 2024;36(2): 105–115. doi.org/10.1080/10412905.2024.2320350.
45. Barthwal R, Mahar R. Exploring the Significance, Extraction, and Characterization of Plant-Derived Secondary Metabolites in Complex Mixtures. *Metabolites*. 2024;14(2). doi.org/10.3390/metabo14020119.
46. Guemari F, Laouini SE, Rebiai A, et al. UV-Visible Spectroscopic Technique-Data Mining Tool as a Reliable, Fast, and Cost-Effective Method for the Prediction of Total Polyphenol Contents: Validation in a Bunch of Medicinal Plant Extracts. *Applied Sciences*. 2022;12(19). doi.org/10.3390/app12199430.
47. Sharma B, Yadav DK. Chromatography and hyphenated techniques in quality-based standardization of medicinal plants: Current scenario and future perspectives. *South African Journal of Botany*. 2023;157: 467–483. doi.org/10.1016/j.sajb.2023.04.005.
48. Patyra A, Kołtun-Jasion M, Jakubiak O, et al. Extraction Techniques and Analytical Methods for Isolation and Characterization of Lignans. *Plants*. 2022;11(17). doi.org/10.3390/plants11172323.
49. Akram NA, Saleem MH, Shafiq S, et al. Phytoextracts as Crop Biostimulants and Natural Protective Agents – A Critical Review. *Sustainability*. 2022;14(21). doi.org/10.3390/su142114498.
50. Baltazar M, Correia S, Guinan KJ, et al. Recent Advances in the Molecular Effects of Biostimulants in Plants: An Overview. *Biomolecules*. 2021;11(8). doi.org/10.3390/biom11081096.
51. González-Morales S, Solís-Gaona S, Valdés-Caballero MV, et al. Transcriptomics of Biostimulation of Plants Under Abiotic Stress. *Frontiers in Genetics*. 2021;12. doi.org/10.3389/fgene.2021.583888.
52. Mandal S, Anand U, López-Bucio J, et al. Biostimulants and environmental stress mitigation in crops: A novel and emerging approach for agricultural sustainability under climate change. *Environmental Research*. 2023;233: 116357. doi.org/10.1016/j.envres.2023.116357.
53. Cocetta G, Landoni M, Pili R, et al. Priming Treatments with Biostimulants to Cope the Short-Term Heat Stress Response: A Transcriptomic Profile Evaluation. *Plants*. 2022;11(9). doi.org/10.3390/plants11091130.
54. Bhupenchandra I, Chongtham SK, Devi EL, et al. Role of biostimulants in mitigating the effects of climate change on crop performance. *Frontiers in Plant Science*. 2022;13. doi.org/10.3389/fpls.2022.967665.
55. Atero-Calvo S, Izquierdo-Ramos MJ, García-Huertas C, et al. An Evaluation of the Effectivity of the Green Leaves Biostimulant on Lettuce Growth, Nutritional Quality, and Mineral Element Efficiencies under Optimal Growth Conditions. *Plants*. 2024;13(7). doi.org/10.3390/plants13070917.

56. Carillo P, De Micco V, Ciriello M, et al. Morpho-Anatomical, Physiological, and Mineral Composition Responses Induced by a Vegetal-Based Biostimulant at Three Rates of Foliar Application in Greenhouse Lettuce. *Plants*. 2022;11(15). doi.org/10.3390/plants11152030.
57. Navarro-León E, López-Moreno FJ, Borda E, et al. Effect of l-amino acid-based biostimulants on nitrogen use efficiency (NUE) in lettuce plants. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2022;102(15): 7098–7106. doi.org/10.1002/jsfa.12071.
58. Zhang P, Jackson E, Li X, et al. Salicylic acid and jasmonic acid in plant immunity. *Horticulture Research*. 2025;12(7): uhaf082. doi.org/10.1093/hr/uhaf082.
59. Shiade SRG, Zand-Silakhoor A, Fathi A, et al. Plant metabolites and signaling pathways in response to biotic and abiotic stresses: Exploring bio stimulant applications. *Plant Stress*. 2024;12: 100454. doi.org/10.1016/j.stress.2024.100454.
60. Shahrajabian MH, Chaski C, Polyzos N, et al. Biostimulants Application: A Low Input Cropping Management Tool for Sustainable Farming of Vegetables. *Biomolecules*. 2021;11(5). doi.org/10.3390/biom11050698.
61. Martínez-Lorente SE, Martí-Guillén JM, Pedreño MÁ, et al. Higher Plant-Derived Biostimulants: Mechanisms of Action and Their Role in Mitigating Plant Abiotic Stress. *Antioxidants*. 2024;13(3). doi.org/10.3390/antiox13030318.
62. Ritonga FN, Zhou D, Zhang Y, et al. The Roles of Gibberellins in Regulating Leaf Development. *Plants*. 2023;12(6). doi.org/10.3390/plants12061243.
63. Gao S, Chu C. Gibberellin Metabolism and Signaling: Targets for Improving Agronomic Performance of Crops. *Plant and Cell Physiology*. 2020;61(11): 1902–1911. doi.org/10.1093/pcp/pcaa104.
64. Gedeon S, Ioannou A, Balestrini R, et al. Application of Biostimulants in Tomato Plants (*Solanum lycopersicum*) to Enhance Plant Growth and Salt Stress Tolerance. *Plants*. 2022;11(22). doi.org/10.3390/plants11223082.
65. Franzoni G, Cocetta G, Prinsi B, et al. Biostimulants on Crops: Their Impact under Abiotic Stress Conditions. *Horticulturae*. 2022;8(3). doi.org/10.3390/horticulturae8030189.
66. Qian C, Li L, Guo H, et al. Genome-Wide Analysis of DREB Family Genes and Characterization of Cold Stress Responses in the Woody Plant *Prunus nana*. *Genes*. 2023;14(4). doi.org/10.3390/genes14040811.
67. Zhou Y, Zhou W, Liu H, et al. Genome-wide analysis of the soybean DREB gene family: Identification, genomic organization and expression profiles in response to drought stress. *Plant Breeding*. 2020;139(6): 1158–1167. doi.org/10.1111/pbr.12867.
68. Su J, Song S, Wang Y, et al. Genome-wide identification and expression analysis of DREB family genes in cotton. *BMC Plant Biology*. 2023;23(1): 169. doi.org/10.1186/s12870-023-04180-4.
69. Li W, Pang S, Lu Z, et al. Function and Mechanism of WRKY Transcription Factors in Abiotic Stress Responses of Plants. *Plants*. 2020;9(11). doi.org/10.3390/plants9111515.
70. Meraj TA, Fu J, Raza MA, et al. Transcriptional Factors Regulate Plant Stress Responses Through Mediating Secondary Metabolism. *Genes*. 2020;11(4). doi.org/10.3390/genes11040346.
71. Kumar R, Das S, Mishra M, et al. Emerging roles of NAC transcription factor in medicinal plants: progress and prospects. *3 Biotech*. 2021;11(10): 425. doi.org/10.1007/s13205-021-02970-x.
72. Jacobs-Hoffman I, Hills PN. Effects of the commercial biostimulant BC204 on the rhizosphere microbial community of *Solanum lycopersicum* L. *South African Journal of Botany*. 2021;143: 52–60. doi.org/10.1016/j.sajb.2021.08.011.

73. Thepbandit W, Athinuwat D. Rhizosphere Microorganisms Supply Availability of Soil Nutrients and Induce Plant Defense. *Microorganisms*. 2024;12(3). doi.org/10.3390/microorganisms12030558.
74. Jamil F, Mukhtar H, Fouillaud M, et al. Rhizosphere Signaling: Insights into Plant–Rhizomicrobiome Interactions for Sustainable Agronomy. *Microorganisms*. 2022;10(5). doi.org/10.3390/microorganisms10050899.
75. Pantigoso HA, Newberger D, Vivanco JM. The rhizosphere microbiome: Plant–microbial interactions for resource acquisition. *Journal of Applied Microbiology*. 2022;133(5): 2864–2876. doi.org/10.1111/jam.15686.
76. Macias-Benitez S, Garcia-Martinez AM, Caballero Jimenez P, et al. Rhizospheric Organic Acids as Biostimulants: Monitoring Feedbacks on Soil Microorganisms and Biochemical Properties. *Frontiers in Plant Science*. 2020;11. doi.org/10.3389/fpls.2020.00633.
77. Panchal P, Miller AJ, Giri J. Organic acids: versatile stress-response roles in plants. *Journal of Experimental Botany*. 2021;72(11): 4038–4052. doi.org/10.1093/jxb/erab019.
78. Vassilev N, Vassileva M, Martos V, et al. Formulation of Microbial Inoculants by Encapsulation in Natural Polysaccharides: Focus on Beneficial Properties of Carrier Additives and Derivatives. *Frontiers in Plant Science*. 2020;11. doi.org/10.3389/fpls.2020.00270.
79. Mkindi AG, Tembo YLB, Mbega ER, et al. Extracts of Common Pesticidal Plants Increase Plant Growth and Yield in Common Bean Plants. *Plants*. 2020;9(2). doi.org/10.3390/plants9020149.
80. Ahmad A, Blasco B, Martos V. Combating Salinity Through Natural Plant Extracts Based Biostimulants: A Review. *Frontiers in Plant Science*. 2022;13. doi.org/10.3389/fpls.2022.862034.
81. Samson G, Cerovic ZG, El Rouby WMA, et al. Oxidation of polyphenols and inhibition of photosystem II under acute photooxidative stress. *Planta*. 2019;251(1): 16. doi.org/10.1007/s00425-019-03316-x.
82. Arikan B, Yildiztugay E, Ozfidan-Konakci C. Protective role of quercetin and kaempferol against oxidative damage and photosynthesis inhibition in wheat chloroplasts under arsenic stress. *Physiologia Plantarum*. 2023;175(4): e13964. doi.org/10.1111/ppl.13964.
83. Sharma A, Shahzad B, Rehman A, et al. Response of Phenylpropanoid Pathway and the Role of Polyphenols in Plants under Abiotic Stress. *Molecules*. 2019;24(13). doi.org/10.3390/molecules24132452.
84. Dai J, Mumper RJ. Plant Phenolics: Extraction, Analysis and Their Antioxidant and Anticancer Properties. *Molecules*. 2010;15(10): 7313–7352. doi.org/10.3390/molecules15107313.
85. Hundal T, Forsmark-Andrée P, Ernster L, et al. Antioxidant Activity of Reduced Plastoquinone in Chloroplast Thylakoid Membranes. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 1995;324(1): 117–122. doi.org/10.1006/abbi.1995.9920.
86. Thuerig B, Ramseyer J, Hamburger M, et al. Efficacy of a *Juncus effusus* extract on grapevine and apple plants against *Plasmopara viticola* and *Venturia inaequalis*, and identification of the major active constituent. *Pest Management Science*. 2016;72(9): 1718–1726. doi.org/10.1002/ps.4199.
87. Upadhyay A, Upadhyaya I, Kollanoor-Johny A, et al. Combating Pathogenic Microorganisms Using Plant-Derived Antimicrobials: A Minireview of the Mechanistic Basis. *BioMed Research International*. 2014;2014(1): 761741. doi.org/10.1155/2014/761741.
88. Sánchez-Gómez T, Santamaría Ó, Martín-García J, et al. Seed extracts as an effective strategy in the control of plant pathogens: Scalable industry bioactive compounds for sustainable agriculture. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2024;60: 103332. doi.org/10.1016/j.bcab.2024.103332.

89. Paster N, Menasherov M, Ravid U, et al. Antifungal Activity of Oregano and Thyme Essential Oils Applied as Fumigants Against Fungi Attacking Stored Grain. *Journal of Food Protection*. 1995;58(1): 81–90. doi.org/10.4315/0362-028X-58.1.81.
90. Martins GA, Bicas JL. Antifungal activity of essential oils of tea tree, oregano, thyme, and cinnamon, and their components. *Brazilian Journal of Food Technology*. 2024;27: e2023071. doi.org/10.1590/1981-6723.07123.
91. Parikh L, Agindotan BO, Burrows ME. Antifungal Activity of Plant-Derived Essential Oils on Pathogens of Pulse Crops. *Plant Disease*. 2021;105(6): 1692–1701. doi.org/10.1094/PDIS-06-20-1401-RE.
92. Sakkas H, Papadopoulou C. Antimicrobial activity of basil, oregano, and thyme essential oils. *Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2017;27(3): 429–438. doi.org/10.4014/jmb.1608.08024.
93. Nazzaro F, Fratianni F, Coppola R, et al. Essential Oils and Antifungal Activity. *Pharmaceuticals*. 2017;10(4). doi.org/10.3390/ph10040086.
94. de Rezende Ramos A, Lüdke Falcão L, Salviano Barbosa G, et al. Neem (*Azadirachta indica* a. Juss) components: Candidates for the control of *Crinipellis pernicios*a and *Phytophthora* ssp. *Microbiological Research*. 2007;162(3): 238–243. doi.org/10.1016/j.micres.2006.06.004.
95. Mossini SAG, Arrotéia CC, Kimmelmeier C. Effect of Neem Leaf Extract and Neem Oil on *Penicillium* Growth, Sporulation, Morphology and Ochratoxin A Production. *Toxins*. 2009;1(1): 3–13. doi.org/10.3390/toxins1010003.
96. Paul PK, Sharma PD. *Azadirachta indica* leaf extract induces resistance in barley against leaf stripe disease. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 2002;61(1): 3–13. doi.org/10.1006/pmpp.2002.0412.
97. Kumari P, Kumar S, Deo AD, et al. Antiparasitic potentiality of ethanol and methanol extracts of *Azadirachta indica* leaf for eggs and copepodid stage of *Argulus japonicus*: in vitro study. *Journal of Parasitic Diseases*. 2021;45(3): 769–777. doi.org/10.1007/s12639-021-01355-4.
98. Wong YY, Chow YL. Exploring the potential of spice-derived phytochemicals as alternative antimicrobial agents. *eFood*. 2024;5(1): e126. doi.org/10.1002/efd2.126.
99. Oyinlola KA, Ogunleye GE, Balogun AI, et al. Comparative study: Garlic, ginger and turmeric as natural antimicrobials and bioactives. *South African Journal of Science*. 2024;120(1/2). doi.org/10.17159/sajs.2024/14170.
100. Bhatwalkar SB, Mondal R, Krishna SBN, et al. Antibacterial Properties of Organosulfur Compounds of Garlic (*Allium sativum*). *Frontiers in Microbiology*. 2021;12. doi.org/10.3389/fmicb.2021.613077.
101. Borlinghaus J, Foerster (née Reiter) J, Kappler U, et al. Allicin, the Odor of Freshly Crushed Garlic: A Review of Recent Progress in Understanding Allicin's Effects on Cells. *Molecules*. 2021;26(6). doi.org/10.3390/molecules26061505.
102. Mondal A, Banerjee S, Terang W, et al. Capsaicin: A chili pepper bioactive phytochemical with a potential role in suppressing cancer development and progression. *Phytotherapy Research*. 2024;38(3): 1191–1223. doi.org/10.1002/ptr.8107.
103. Yang D, Dunshea FR, Suleria HAR. LC-ESI-QTOF/MS characterization of Australian herb and spices (garlic, ginger, and onion) and potential antioxidant activity. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2020;44(7): e14497. doi.org/10.1111/jfpp.14497.
104. Akullo JO, Kiage-Mokua BN, Nakimbugwe D, et al. Phytochemical profile and antioxidant activity of various solvent extracts of two varieties of ginger and garlic. *Heliyon*. 2023;9(8): e18806. doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18806.

105. Kefale B, Delele MA, Fanta SW, et al. Nutritional, Physicochemical, Functional, and Textural Properties of Red Pepper (*Capsicum annum* L.), Red Onion (*Allium cepa*), Ginger (*Zingiber officinale*), and Garlic (*Allium sativum*): Main Ingredients for the Preparation of Spicy Foods in Ethiopia. *Journal of Food Quality*. 2023;2023(1): 3916692. doi.org/10.1155/2023/3916692.
106. Ashmawy NA, Behiry SI, Al-Huqail AA, et al. Bioactivity of Selected Phenolic Acids and Hexane Extracts from *Bougainvillea spectabilis* and *Citharexylum spinosum* on the Growth of *Pectobacterium carotovorum* and *Dickeya solani* Bacteria: An Opportunity to Save the Environment. *Processes*. 2020;8(4). doi.org/10.3390/pr8040482.
107. Efenberger-Szmechtyk M, Nowak, Agnieszka, and Czyzowska A. Plant extracts rich in polyphenols: antibacterial agents and natural preservatives for meat and meat products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2021;61(1): 149–178. doi.org/10.1080/10408398.2020.1722060.
108. Davidova S, Galabov AS, Satchanska G. Antibacterial, Antifungal, Antiviral Activity, and Mechanisms of Action of Plant Polyphenols. *Microorganisms*. 2024;12(12). doi.org/10.3390/microorganisms12122502.
109. Hassan M.A.E., Bereika M.F.F., Abo-Elnaga H.I.G., et al. Direct Antimicrobial Activity and Induction of Systemic Resistance in Potato Plants Against Bacterial Wilt Disease by Plant Extracts. *The Plant Pathology Journal*. 2009;25(4): 352–360. doi.org/10.5423/PPJ.2009.25.4.352.
110. Bowers JH, Locke JC. Effect of Formulated Plant Extracts and Oils on Population Density of *Phytophthora nicotianae* in Soil and Control of *Phytophthora* Blight in the Greenhouse. *Plant Disease*. 2004;88(1): 11–16. doi.org/10.1094/PDIS.2004.88.1.11.
111. Nashwa MAS, Abo-Elyousr AMK. Evaluation of various plant extracts against the early blight disease of tomato plants under greenhouse and field conditions. *Plant Protection Science*. 2012;48(2): 74–79.
112. Jayakumar V, Bhaskaran R, Tsushima S. Potential of plant extracts in combination with bacterial antagonist treatment as biocontrol agent of red rot of sugarcane. *Canadian Journal of Microbiology*. 2007;53(2): 196–206. doi.org/10.1139/W06-126.
113. Su H. Regalia® bioprotectant in plant disease management. *Outlooks on Pest Management*. 2012;23(1): 30–34. doi.org/10.1564/23feb09.
114. Hernandez Castillo FD, Castillo F, Tucuch Pérez MA, et al. Biological Efficacy of *Trichoderma* spp. and *Bacillus* spp. in the Management of Plant Diseases. In: Das SK (ed.) *Organic Agriculture*. Rijeka: IntechOpen; 2020. doi.org/10.5772/intechopen.91043.
115. Iqbal RJ, Jatoi GH, Ahmad A, et al. Integrated management of tomato gray mold disease using selective plant extracts and rhizobacteria. *Plant Protection*. 2024;8(4): 781–787. doi.org/10.33804/pp.008.04.5528.
116. Harman GE. Overview of Mechanisms and Uses of *Trichoderma* spp. *Phytopathology*®. 2006;96(2): 190–194. doi.org/10.1094/PHYTO-96-0190.
117. Chon SU, Kim YM. Herbicidal Potential and Quantification of Suspected Allelochemicals from Four Grass Crop Extracts. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2004;190(2): 145–150. doi.org/10.1111/j.1439-037X.2004.00088.x.
118. Hussain WS, Abbas MM. Application of Allelopathy in Crop Production. In: Asaduzzaman M, Afroz M (eds.) *Agricultural Development in Asia - Potential Use of Nano-Materials and Nano-Technology*. Rijeka: IntechOpen; 2021. doi.org/10.5772/intechopen.101436.

119. Radhakrishnan R, Alqarawi AA, Abd_Allah EF. Bioherbicides: Current knowledge on weed control mechanism. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2018;158: 131–138. doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.04.018.
120. Cheng F, Cheng Z. Research Progress on the use of Plant Allelopathy in Agriculture and the Physiological and Ecological Mechanisms of Allelopathy. *Frontiers in Plant Science*. 2015;6. doi.org/10.3389/fpls.2015.01020.
121. Chon SU, Nelson CJ. Allelopathy in Compositae plants. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2010;30(2): 349–358. doi.org/10.1051/agro/2009027.
122. Liu S, Cheng S, Jia J, et al. Resource efficiency and environmental impact of juglone in Pericarpium Juglandis: A review. *Frontiers in Environmental Science*. 2022;10. doi.org/10.3389/fenvs.2022.999059.
123. Erhatic R, Horvat D, Zoric Z, et al. Aqueous Extracts of Four Medicinal Plants and Their Allelopathic Effects on Germination and Seedlings: Their Morphometric Characteristics of Three Horticultural Plant Species. *Applied Sciences*. 2023;13(4). doi.org/10.3390/app13042258.
124. Kadyrbaev M, Golovatskaya I, Satkanov MZh. Features of regenerants morphogenesis and metabolism in vitro, obtained from different fragments of potato shoots. *Tomsk State University Journal of Biology*. 2021;(55): 114–134. doi.org/10.17223/19988591/55/7.
125. Shahbaz MU, Arshad M, Mukhtar K, et al. Natural Plant Extracts: An Update about Novel Spraying as an Alternative of Chemical Pesticides to Extend the Postharvest Shelf Life of Fruits and Vegetables. *Molecules*. 2022;27(16). doi.org/10.3390/molecules27165152.
126. Zakeri A, Bahmani E, Aghdam ASR. Plant extracts as sustainable and green corrosion inhibitors for protection of ferrous metals in corrosive media: A mini review. *Corrosion Communications*. 2022;5: 25–38. doi.org/10.1016/j.corcom.2022.03.002.
127. European Commission. Regulation (EU) 2018/848 of the European Parliament and of the Council on organic production and labelling of organic products and repealing Council Regulation (EC) No 834/2007. *Official Journal of the European Union*, 32018R0848 (834/2007) 2018. [cited 30th April 2025]. Available from: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2018/848/oj>
128. Herrmann MN, Wang Y, Hartung J, et al. A Global Network Meta-Analysis of the Promotion of Crop Growth, Yield, and Quality by Bioeffectors. *Frontiers in Plant Science*. 2022;13. doi.org/10.3389/fpls.2022.816438.
129. Li J, Van Gerrewey T, Geelen D. A Meta-Analysis of Biostimulant Yield Effectiveness in Field Trials. *Frontiers in Plant Science*. 2022;13. doi.org/10.3389/fpls.2022.836702.
130. Hegedűs G, Kutasy B, Kiniczky M, et al. Liposomal Formulation of Botanical Extracts may Enhance Yield Triggering PR Genes and Phenylpropanoid Pathway in Barley (*Hordeum vulgare*). *Plants*. 2022;11(21). doi.org/10.3390/plants11212969.
131. Švarc-Gajić J, Morais S, Delerue-Matos C, et al. Valorization Potential of Oilseed Cakes by Subcritical Water Extraction. *Applied Sciences*. 2020;10(24). doi.org/10.3390/app10248815.
132. Rithiga R, Natarajan SK, Rathika S, et al. Allelopathy prospective of oil seed crops for sustainable weed management- A review. *Plant Science Today*. 2024;11(sp4). doi.org/10.14719/pst.5336.
133. Bolouri P, Salami R, Kouhi S, et al. Applications of Essential Oils and Plant Extracts in Different Industries. *Molecules*. 2022;27(24). doi.org/10.3390/molecules27248999.
134. Stefan Gafner, Chantal Bergeron. The Challenges of Chemical Stability Testing of Herbal Extracts in Finished Products Using State-of-the-Art Analytical Methodologies. *Current Pharmaceutical Analysis*. 2005;1(2): 203–215. doi.org/10.2174/1573412054022734.

135. Pannequin A, Laurini E, Giordano L, et al. Caution: Chemical Instability of Natural Biomolecules During Routine Analysis. *Molecules*. 2020;25(14). doi.org/10.3390/molecules25143292.
136. Peixoto FB, Raimundini Aranha AC, Nardino DA, et al. Extraction and encapsulation of bioactive compounds: A review. *Journal of Food Process Engineering*. 2022;45(12): e14167. doi.org/10.1111/jfpe.14167.
137. ElGamal R, Song C, Rayan AM, et al. Thermal Degradation of Bioactive Compounds during Drying Process of Horticultural and Agronomic Products: A Comprehensive Overview. *Agronomy*. 2023;13(6). doi.org/10.3390/agronomy13061580.
138. Fujisawa H, Suma K, Origuchi K, et al. Biological and Chemical Stability of Garlic-Derived Allicin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008;56(11): 4229–4235. doi.org/10.1021/jf8000907.
139. Popescu IE, Gostin IN, Blidar CF. An Overview of the Mechanisms of Action and Administration Technologies of the Essential Oils Used as Green Insecticides. *AgriEngineering*. 2024;6(2): 1195–1217. doi.org/10.3390/agriengineering6020068.
140. de Matos SP, Teixeira HF, de Lima ÁAN, et al. Essential Oils and Isolated Terpenes in Nanosystems Designed for Topical Administration: A Review. *Biomolecules*. 2019;9(4). doi.org/10.3390/biom9040138.
141. Masyita A, Mustika Sari R, Dwi Astuti A, et al. Terpenes and terpenoids as main bioactive compounds of essential oils, their roles in human health and potential application as natural food preservatives. *Food Chemistry: X*. 2022;13: 100217. doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100217.
142. Belz RG, Hurle K, Duke SO. Dose-Response—A Challenge for Allelopathy? Nonlinearity in Biology, Toxicology, Medicine. 2005;3(2). doi.org/10.2201/nonlin.003.02.002.
143. Hamouda MM, Saad-Allah KM, Gad D. Potential of Seaweed Extract on Growth, Physiological, Cytological and Biochemical Parameters of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Seedlings. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2022;22(2): 1818–1831. doi.org/10.1007/s42729-022-00774-3.
144. Santos PLF dos, Zabotto AR, Jordão HWC, et al. Use of seaweed-based biostimulant (*Ascophyllum nodosum*) on ornamental sunflower seed germination and seedling growth. *Ornamental Horticulture*. 2019;25(3): 231–237. doi.org/10.1590/2447-536X.v25i3.2044.
145. Ghaderiardakani F, Collas E, Damiano DK, et al. Effects of green seaweed extract on Arabidopsis early development suggest roles for hormone signalling in plant responses to algal fertilisers. *Scientific Reports*. 2019;9(1): 1983. doi.org/10.1038/s41598-018-38093-2.
146. Negi PS. Plant extracts for the control of bacterial growth: Efficacy, stability and safety issues for food application. *International Journal of Food Microbiology*. 2012;156(1): 7–17. doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.03.006.
147. Albuquerque KRS, Pacheco NM, del Rosario Loyo Casao T, et al. Applicability of Plant Extracts in Preclinical Studies of Melanoma: A Systematic Review. *Mediators of Inflammation*. 2018;2018(1): 6797924. doi.org/10.1155/2018/6797924.
148. Almoshari Y. Novel Hydrogels for Topical Applications: An Updated Comprehensive Review Based on Source. *Gels*. 2022;8(3). doi.org/10.3390/gels8030174.
149. Maes C, Bouquillon S, Fauconnier ML. Encapsulation of Essential Oils for the Development of Biosourced Pesticides with Controlled Release: A Review. *Molecules*. 2019;24(14). doi.org/10.3390/molecules24142539.
150. Kfoury M, Auezova L, Greige-Gerges H, et al. Promising applications of cyclodextrins in food: Improvement of essential oils retention, controlled release and antiradical activity. *Carbohydrate Polymers*. 2015;131: 264–272. doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.06.014.

151. Salem MA, Perez de Souza L, Serag A, et al. Metabolomics in the Context of Plant Natural Products Research: From Sample Preparation to Metabolite Analysis. *Metabolites*. 2020;10(1). doi.org/10.3390/metabo10010037.
152. Tugizimana F, Piater L, Dubery I. Plant metabolomics: A new frontier in phytochemical analysis. *South African Journal of Science*. 2013;109(5/6): 11. doi.org/10.1590/sajs.2013/20120005.
153. Jean-Luc Wolfender, Serge Rudaz, Young Hae Choi, et al. Plant Metabolomics: From Holistic Data to Relevant Biomarkers. *Current Medicinal Chemistry*. 2013;20(8): 1056–1090. doi.org/10.2174/0929867311320080009.
154. Manickam S, Rajagopalan VR, Kambale R, et al. Plant Metabolomics: Current Initiatives and Future Prospects. *Current Issues in Molecular Biology*. 2023;45(11): 8894–8906. doi.org/10.3390/cimb45110558.
155. Zhou M, Zhu S, Mo X, et al. Proteomic Analysis Dissects Molecular Mechanisms Underlying Plant Responses to Phosphorus Deficiency. *Cells*. 2022;11(4). doi.org/10.3390/cells11040651.

Ауыл шаруашылығы дақылдарының өнімділігі мен тұрақтылығының индукторлары ретінде өсімдік тектес сығындыларды пайдалану перспективалары

М. Кадырбаев^{1,2,*}, Е.Д. Данилова¹, Е.В. Бойко¹

¹*Томск мемлекеттік университеті, Томск, Ресей*

²*Сібір мемлекеттік медицина университеті, Томск, Ресей*

Аңдатпа. Қазіргі уақытта заманауи ауыл шаруашылығы экономикалық өнім көлемінің төмендеуі және экологиялық жағдайдың нашарлауы аясында өнімділіктің тұрақты өсуін талап етеді. Перспективті бағыттардың бірі – дәстүрлі агрохимиялық препараттарға балама табу. Өсімдік сығындылары – екіншілік метаболиттердің әртүрлілігіне байланысты көп функционалды артықшылықтарды ұсынатын перспективалы шешім. Бұл шолуда сығындылардың химиялық құрамы мен өндіру әдістері, соның ішінде дәстүрлі мацерация/перколяция және ыстыққа сезімтал қосылыстар үшін жылдамырақ әдістер талқыланады. Жасушалардың бөлінуін ынталандыру, стресске байланысты гендерді модуляциялау, ризосфера микробиотасын ынталандыру арқылы минералды қоректенуді жақсарту, фотосинтетикалық тиімділікті арттыру, фитогормондарға әсері сияқты сығындылардың фитостимуляциялық және биостимуляциялық әсерлеріне ерекше назар аударылады. Микробқа қарсы және аллелопатикалық қасиеттері де талқыланады. Биохимиялық тұрақсыздық, мөлшерлеу мәселелері және стандартталған хаттамалардың жоқтығы сияқты негізгі мәселелер атап өтілген. Шешімдер ұсынылған, оның ішінде тұжырымдалған өнімдерді әзірлеу, омикалық талдауды пайдалану және деректер қорын құру. Сондай-ақ сығындылардың толық әлеуетін ашу үшін одан әрі стандарттауды және цифрлық технологиялармен интеграцияны қажет ететін тұрақты ауылшаруашылық жүйелеріне арналған жан-жақты құрал екендігі атап өтіледі.

Түйін сөздер: Өсімдік сығындылары, биостимуляторлар, фитостимуляторлар, аллелопатикалық эффект, тұрақты ауыл шаруашылығы, екіншілік метаболиттер

Перспективы использования растительных экстрактов в качестве стимуляторов продуктивности и устойчивости сельскохозяйственных культур

М. Кадырбаев^{1,2,*}, Е.Д. Данилова¹, Е.В. Бойко¹

¹Томский государственный университет, Томск, Россия

²Сибирский государственный медицинский университет, Томск, Россия

Аннотация. В настоящее время современное сельское хозяйство на фоне снижения экономического производства и ухудшения условий окружающей среды, нуждается в устойчивом росте производительности. Одним из перспективных направлений является поиск альтернатив традиционным агрохимикатам. Растительные экстракты перспективным многообещающим решением, предлагающим многофункциональные преимущества благодаря разнообразию вторичных метаболитов. В данном обзоре обсуждается химический состав экстрактов и методы производства, включая традиционную мацерацию/перколяцию и более быстрые методы для термочувствительных соединений. Особое внимание уделяется фитостимулирующим и биостимулирующим эффектам экстрактов, таким как стимулирование деления клеток, модуляция генов, связанных со стрессом, улучшение минерального питания путем стимуляции микробиоты ризосферы, повышение эффективности фотосинтеза и влияние на фитогормоны. Также рассматриваются антимикробные и аллелопатические свойства. Освещены основные проблемы, такие как биохимическая нестабильность, проблемы дозирования и отсутствие стандартизированных протоколов. Предлагаются решения, включая разработку формулированных продуктов, использование омикс анализов и создание баз данных. В заключение подчеркивается, что экстракты являются универсальными инструментами для систем устойчивого земледелия, требующими дальнейшей стандартизации и интеграции с цифровыми технологиями для раскрытия их полного потенциала.

Ключевые слова: Растительные экстракты, биостимуляторы, фитостимуляторы, аллелопатические эффекты, устойчивое сельское хозяйство, вторичные метаболиты

Сведения об авторах:

Кадырбаев Максат – автор-корреспондент, преподаватель-исследователь в области физиологии и биохимии растений, инженер и преподаватель в научно-образовательном центре «Передовая инженерная школа "Агробиотек"»; младший научным сотрудником лаборатории исследования и применения сверхкритических флюидных технологий в агропищевых биотехнологиях Высшей инженерной школы агробиотехнологий Томского государственного университета, пр. Ленина 36, 634050, Томск, Россия; младший научным сотрудником лаборатории клеточных и микрофлюидных технологий Сибирского государственного медицинского университета, Московский тракт 2, 634050, Томск, Россия.

Данилова Елена Дмитриевна – кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии растений, биотехнологии и биоинформатики; старший научный сотрудник лаборатории биохимии и молекулярной биологии Института биологии, экологии, почвоведения, сельского и лесного хозяйства (Биологический институт); старший научным сотрудником лаборатории исследования и применения сверхкритических флюидных технологий в агропищевых

биотехнологиях Высшей инженерной школы агробиотехнологий Томского государственного университета, пр. Ленина 36, 634050, Томск, Россия.

Бойко Екатерина Владимировна – кандидат биологических наук, директор образовательного центра Высшей инженерной школы агробиотехнологий; доцент кафедры физиологии растений, биотехнологии и биоинформатики; младший научный сотрудник лаборатории биохимии и молекулярной биологии Института биологии, экологии, почвоведения, сельского и лесного хозяйства (Биологический институт); старший научный сотрудник лаборатории исследования и применения сверхкритических флюидных технологий в агропищевых биотехнологиях Высшей инженерной школы агробиотехнологий Томского государственного университета, пр. Ленина 36, 634050, Томск, Россия.

Авторлар туралы мәліметтер:

Кадырбаев Максат – хат-хабар авторы, өсімдіктер физиологиясы және биохимиясы саласындағы ғылыми оқытушы, «"Агробиотек" тереңдетілген инженерлік мектебі» ғылыми-білім беру орталығының инженері және оқытушысы; Агробиотехнологиялар жоғары инженерлік мектебі жанындағы агроазық-түлік биотехнологиясында суперкритикалық сұйықтық технологияларын зерттеу және қолдану зертханасының кіші ғылыми қызметкері, Томск мемлекеттік университеті, Ленин даңғылы 36, 634050, Томск, Ресей; Сібір мемлекеттік медицина университетінің жасушалық және микрофлюидтік технологиялар зертханасының кіші ғылыми қызметкері, Московский трактісі 2, 634050, Томск, Ресей.

Данилова Елена Дмитриевна – биология ғылымдарының кандидаты, Өсімдіктер физиологиясы, биотехнологиясы және биоинформатика кафедрасының доценті; Биология, экология, топырақтану, ауыл шаруашылығы және орман шаруашылығы институты (Биологиялық институт) биохимия және молекулалық биология зертханасының аға ғылыми қызметкері; Агробиотехнологиялар жоғары инженерлік мектебінің агроазық-түлік биотехнологиясында суперкритикалық сұйықтық технологияларын зерттеу және қолдану зертханасының аға ғылыми қызметкері, Томск мемлекеттік университеті, Ленин даңғылы 36, 634050, Томск, Ресей.

Бойко Екатерина Владимировна – биология ғылымдарының кандидаты, Агробиотехнологиялар жоғары инженерлік мектебінің оқу орталығының директоры; Өсімдіктер физиологиясы, биотехнологиясы және биоинформатика кафедрасының доценті; Томск мемлекеттік университетінің Биология, экология, топырақтану, ауыл шаруашылығы және орман шаруашылығы институтының (Биологиялық институт) биохимия және молекулалық биология зертханасының кіші ғылыми қызметкері; Агробиотехнологиялар жоғары инженерлік мектебінің агроазық-түлік биотехнологиясында суперкритикалық сұйықтық технологияларын зерттеу және қолдану зертханасының аға ғылыми қызметкері, Томск мемлекеттік университеті, Ленин даңғылы 36, 634050, Томск, Ресей.

Authors' information:

Kadyrbaev Maksat – Corresponding author, research-teacher in the field of plant physiology and biochemistry, engineer and teacher in the scientific and educational center Advanced Engineering School "Agrobiotek"; junior research fellow in the laboratory of research and application of supercritical

fluid technologies in Agro-Food Biotechnologies of the Higher Engineering School of Agrobiotechnology of Tomsk State University, Lenin Ave. 36, 634050, Tomsk, Russia; junior research in the laboratory of cellular and microfluidic technologies of the Siberian State Medical University, Moskovsky Tract 2, 634050, Tomsk, Russia.

Danilova Elena Dmitrievna – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Plant Physiology, Biotechnology and Bioinformatics; Senior Researcher, Laboratory of Biochemistry and Molecular Biology, Institute of Biology, Ecology, Soil Science, Agriculture and Forestry (Biological Institute); Senior Researcher, Laboratory of Research and Application of Supercritical Fluid Technologies in Agro-Food Biotechnologies, Higher Engineering School of Agrobiotechnology, Tomsk State University, Lenin Ave. 36, 634050, Tomsk, Russia.

Boyko Ekaterina Vladimirovna – Candidate of Biological Sciences, Director of the Educational Center, Higher Engineering School of Agrobiotechnology; Associate Professor, Department of Plant Physiology, Biotechnology and Bioinformatics; Junior Researcher, Laboratory of Biochemistry and Molecular Biology, Institute of Biology, Ecology, Soil Science, Agriculture and Forestry (Biological Institute); Senior Researcher, Laboratory of Research and Application of Supercritical Fluid Technologies in Agro-Food Biotechnology, Higher Engineering School of Agrobiotechnology, Tomsk State University, Lenin Ave. 36, 634050, Tomsk, Russia.

Редакторы: Р.І. Берсімбай

Авторларға арналған нұсқаулықтар,
жарияланым этикасы журнал сайтында енгізілген: <http://bulbio.enu.kz/>

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Хабаршысы.

Биологиялық ғылымдар сериясы.

– 2(151)/2025 – Астана: ЕҰУ. – 207 б.

Шартты б.т. 12,9 . Таралымы – сұраныс бойынша

Ашық қолданыстағы электронды нұсқа: <http://bulbio.enu.kz>

Мазмұнына типография жауап бермейді

Редакция мекен-жайы: 010008, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Сәтбаев көшесі, 2.

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің типографиясында басылды