

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

№4 (149)/ 2024

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, 2024

Astana, 2024

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)
Тарлықов 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: eurjournal@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)
Kolomic 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

Уалиева Р.М., Жақсыбек М.Ә. Павлодар облысы жағдайында егіс технологиясын оңтайландыру факторы ретінде жаздық бидай тұқымының фитоэкспертизасы.....	
Ualiyeva R.M., Zhaksybek M.A. Phytoexamination of spring wheat seeds as a factor of optimization of sowing process in the conditions of the Pavlodar region.....	
Уалиева Р.М., Жақсыбек М.Ә. Фитоэкспертиза семян яровой пшеницы как фактор оптимизации технологии посева в условиях Павлодарской области.....	7
Аралбаев А.Н., Сейдахметова З.Ж., Аралбаева А.Н., Аралбай Н.К. Кочи қатыраны және Шығыс майракебісі тамырларынан алынған крахмалдың қасиеттерін зерттеу.....	
Aralbaev A.N., Seydakhmetova Z.Zh., Aralbaeva A.N., Aralbay N.K. Study of starch properties from <i>Crambe kotchiana</i> and <i>Bunias orientalis</i> roots.....	
Аралбаев А.Н., Сейдахметова З.Ж., Аралбаева А.Н., Аралбай Н.К. Исследование свойств крахмала из корней катрана Кочи и Свербиги восточной.....	18
Үсен С., Веселова П.В., Кудабаяева Г.М., Осмонали Б.Б., Избастина К.С., Абдилданов Д.Ш. Қазақстанның шөлді өңірлерінің <i>Suaeda</i> Forssk. ex J. F. Gmel. тұқымдас түрлерінің салыстырмалы анатомиялық құрылысын зерттеу нәтижелері.....	
Ussen S., Vesselova P.V., Kudabayeva G.M., Osmonali B.B., Izbastina K.S., Abdildanov D.Sh. Results of comparative anatomical studies species of the genus <i>Suaeda</i> Forssk. ex J.F.Gmel. of arid regions of Kazakhstan.....	
Үсен С., Веселова П.В., Кудабаяева Г.М., Осмонали Б.Б., Избастина К.С., Абдилданов Д.Ш. Результаты сравнительных анатомических исследований видов рода <i>Suaeda</i> Forssk. ex J.F.Gmel. аридных регионов Казахстана.....	36
Самат А., Жанасова К., Солтабаева Ә., Сыздық К., Акбасова А., Жангазин С., Бектурова А., Бейсекова М., Ермухамбетова Р., Нурбекова Ж., Масалимов Ж., Курманбаева А. Кіші РНК-ның өсімдіктерде абиотикалық стресс жағдайындағы рөлі...	
Samat A., Zhanassova K., Soltabayeva A., Syzdyk K., Akbassova A., Zhangazin S., Bekturova A., Beisekova M., Yermukhambetova R., Nurbekova Zh., Masalimov Zh., Kurmanbayeva A. The role of small RNAs under abiotic stress in plants.....	
Самат А., Жанасова К., Солтабаева Ә., Сыздық К., Акбасова А., Жангазин С., Бектурова А., Бейсекова М., Ермухамбетова Р., Нурбекова Ж., Масалимов Ж., Курманбаева А. Роль малых РНК при абиотическом стрессе у растений.....	50
Габрильянц Э.А., Алибеков Р.С. Түйе сүтінен ірімшік өндіру процесінің бірқатар аспектілеріне сүт қышылды бактерияларының әсері.....	
Gabrilyants E.A., Alibekov R.S. The influence of lactic acid bacteria on a number of aspects of the process of producing cheese from camel milk.....	
Габрильянц Э.А., Алибеков Р.С. Влияние молочнокислых бактерий на ряд аспектов процесса получения сыра из верблюжьего молока.....	63

Саякова З.З., Асылбек А.М., Есжанов А.Б. <i>Ертіс өзені жайылмасының иксодты кенелері (Acari, Ixodidae).....</i>	
Sayakova Z.Z., Asylbek A.M., Yeszhanov A.B. <i>Ixodid ticks (Acari, Ixodidae) of the Irtysh River floodplain.....</i>	
Саякова З.З., Асылбек А.М., Есжанов А.Б. <i>Иксодовые клещи (Acari, Ixodidae) поймы реки Иртыш.....</i>	75
Құрманғали Д.Е., Байқоныс Б.Т., Абилхадиров А.С., Бекшин Ж.М., Абиғаева Г.К. <i>Жаңа пробиотиктерді жасау үшін Lactobacillus штамдарының микробқа қарсы белсенділігі мен стресс факторларына төзімділігін зерттеу.....</i>	
Kurmangali D.E., Baykonys B.T., Abilkhadirov A.S., Bekshin J.M., Abitaeva G.K. <i>Study of antimicrobial activity and tolerance to stress factors of Lactobacillus strains for the development of new probiotics.....</i>	
Құрманғали Д.Е., Байқоныс Б.Т., Абилхадиров А.С., Бекшин Ж.М., Абиғаева Г.К. <i>Изучение антимикробной активности и толерантности к стресс-факторам штаммов Lactobacillus для разработки нового пробиотика.....</i>	93
Хан И., Куровский А., Бабенко А., Корниевская Е. <i>Органикалық қалдықтарды вермикомпосттаудың микробиологиялық аспектілері.....</i>	
Khan I., Kurovsky A., Babenko A., Kornievskaya E. <i>The Microbiological Aspects of Vermicomposting Organic Waste.....</i>	
Хан И., Куровский А., Бабенко А., Корниевская Е. <i>Микробиологические аспекты вермикомпостирования органических отходов.....</i>	110



IRSTI 68.03.07
Research article

<https://doi.org/10.32523/2616-7034-2024-149-4-7-17>

Phytoexamination of spring wheat seeds as a factor of optimization of sowing process in the conditions of the Pavlodar region

R.M. Ualiyeva*^{}, M.A. Zhaksybek^{}

Toraighyrov University, Pavlodar, Kazakhstan

*Corresponding authors: ualiyeva.r@gmail.com

Abstract. Wheat seeds provide a favorable environment for pathogenic microflora, which leads to a decrease in seed viability and the release of various mycotoxins that seriously affect plant growth and development. The initial growth of spring wheat seeds and the phytopathogenic load were studied as indicators of phytosanitary status and sowing quality. The phytosanitary state of spring wheat seeds in the conditions of the Pavlodar region was determined. A total of 22 varieties of spring wheat were analyzed. The sowing characteristics of spring wheat seeds of different varieties were determined and varietal differences affecting the sowing qualities of seeds were revealed. Phytosanitary results of seeds of grain varieties are presented to determine the composition and level of contamination of seeds. The results of the study revealed a high level of infection of spring wheat seeds with root rot pathogens: *Bipolaris sorokiniana*, such fungi as *Alternaria spp.*, *Fusarium spp.* and the pathogens of spring wheat bacteriosis prevailed on the studied samples. The role of hydrothermal conditions in the invasion of seeds by plant pathogens was determined.

Keywords: phytoexamination, spring wheat, germination, sowing qualities, pathogen

Introduction

Increasing the productivity of crops and cultivating high-yield varieties resistant to stress situations and pests is a primary issue in agricultural production [1]. Seeds containing all the genetic information necessary for growth and development during the growing season are key to a successful harvest of any agricultural crop. Possible unexplained losses during the growing period require the necessary knowledge to understand the processes of initial plant growth. Annual significant crop losses, in which pathogens are the main source of infection, are inherent to any seed's infectious load. Wheat seeds provide a favorable environment for pathogenic microflora, which, when developing, decreases seed viability and their nutritional value for seedlings. Additionally, many microorganisms are noted for producing various mycotoxins that significantly affect plant growth and development [2-5]. The study aims to establish the phytosanitary condition and sowing qualities of seed material of spring wheat based on indicators of initial growth and phytopathogenic load of seeds.

Methodology

The research was conducted at the Biological Research Laboratory of Toraighyrov University in 2022. The object of research was seeds of 22 varieties of spring wheat harvested in 2021. Among the varieties are seeds of the Omsk selection (Omskaya 18, Omskaya 35, Omskaya 36, Omskaya 37, Omskaya 38), Boevchanka, Memory of Asiev, Likomero, Trizo, Grani, Konditerskaya, Favorite, Saratovskaya 74, Stepnaya Volna, Pobeda, Severyanka, Alabuga, Irene, Kuryer, Voyevoda, Novosibirskaya and Uralosibirskaya. Seed analysis was conducted according to State standard 12044-93: macroscopic and biological methods and the roll method [6, 7]. Mycological and phytopathological analyses of spring wheat grain were performed using the methodologies of Pidoplichko and Bilay [8, 9].

Results and Discussion

The period of filling and ripening of spring wheat occurred in August 2021. The humid conditions of 2021, with 45 mm of precipitation and an average temperature of 19.8°C, gave the spring wheat that matured in August a slight advantage, allowing it to expand its ecological niche. These results confirm data previously obtained in the Pavlodar region. It was established that the dependence of *Alternaria* spp. on hydrothermal conditions during the ripening and maturation of spring wheat was higher than that of *B. sorokiniana*. In addition to the embryonic plasma, seeds were infected with *Fusarium* and *Penicillium*.

The optimal soil moisture for the crops is 70-75% of the minimum moisture content. Spring wheat requires easily accessible nutrients in the soil due to its short vegetative period and the low nutrient absorption capacity of its root system. Wheat is suppressed by high soil acidity. The optimal reaction is slightly acidic or neutral (pH 6.0-7.5). Shortly after germination, soft wheat roots spread widely and penetrate deeply into the soil compared to durum wheat. The type of

soil affects root penetration depth. The root mass at maturity in sod-podzolic soil at a depth of 20 cm constitutes 68% of the total root mass, while in dark-clay soil it is 52%. In conditions of moisture deficit, root growth at shallower depths is halted.

Spring wheat is characterized by uneven and shaggy buds, which can be explained by increased soil acidity in northern regions and seed invasion by *Fusarium* spp fungi. Seeds of spring wheat germinate at temperatures of +1... +2°C; viable sprouts germinate at +4... +5°C for germination. However, at these temperatures, germination and emergence of seedlings occur very slowly. If the soil temperature at the depth where the seeds are placed is 5°C, the shoots will appear on the 20th day, on the 13th day at 8°C, on the 9th day at 10°C, and on the 7th day at 15°C. Sprouts can withstand short-term frosts up to -10°C. Spring wheat is most resistant to negative temperatures in the early stages of development. For example, it can withstand frosts from -6 to -13°C during seed germination and from -8 to -9°C during the vegetative period. During flowering and ripening, it can be damaged by frosts from -1 to -2°C.

At temperatures of 10-12°C, it tolerates wilting well. Low soil temperatures at this time contribute to the formation and development of nodal roots and increase yield. The optimal temperatures for grain formation during ear emergence and ripening are 16-23°C. Negative temperatures during ripening can damage the grain. Frozen grain has low technical quality and seed viability. Spring wheat is sensitive to high temperatures, 38...40°C, and paralysis from heat stress occurs within 10-17 hours. The negative impact of high temperatures is exacerbated by dry winds during hot seasons.

Varieties of spring wheat adapted to northeastern Kazakhstan are most resistant to high temperatures. Among early spring grain crops, wheat is the most resistant to high temperatures when well-watered. Water consumption at various stages of development is distributed as follows: during seedling emergence - 5-7% of total water consumption for the entire growing season; during tillering - 15-20%; during tube formation and ear emergence - 50-60%; during milking stage - 20-30%; during wax ripeness - 3-5%. From germination to milk ripeness, it accounts for 70-80%.

If the spring water reserve in a meter layer is less than 100 mm, a water deficit arises; if it is less than 60 mm, yield decreases sharply. Critical periods for water absorption are the tillering and ear emergence stages. A lack of moisture in the soil during this period leads to an increase in the number of barren spikelets, which is often observed in northeastern Kazakhstan. Subsequent precipitation (including heavy rain) cannot compensate for the lack of moisture at this time. Under such conditions, wheat quickly transitions from one stage to another, and yield decreases rapidly. In northern Kazakhstan, later sowing dates provide optimal conditions for growth and development.

Research results conducted under laboratory conditions show that among low-stature varieties, Omskaya 38 and Trizo have the shortest coleoptile lengths of 4.2 cm and 4.1 cm respectively. Other varieties can be classified as medium coleoptile based on Y.S. Larionov's grading [10]. In terms of sprout length, those exceeding 11 cm include Memory of Aziev, Likomero, Omskaya 35, Boevchanka, and Uralosibirskaya, as presented in Table 1.

Table 1

Sowing qualities of spring wheat seeds of the harvest 2021

Variety	Length, cm			Germination, %
	root	coleoptile	sprout	
Memory of Asiev	12.2	5.8	13.4	97
Likomero	10.8	4.8	11.9	96
Omskaya 18	10.5	6	12.2	77
Omskaya 35	14	5.3	17.1	96
Omskaya 36	11.4	5.2	18	95
Omskaya 37	13.2	5.5	14.7	91
Omskaya 38	11	4.2	5.7	97
Boevchanka	12	5.3	16.9	90
Trizo	6.3	4.1	8.2	91
Grani	13.4	4.7	7.4	98
Uralosibirskaya	12.3	5	18.7	87
Konditerskaya	8.5	6.5	11.9	93
Favorite	9.5	6	14.3	89
Saratovskaya 74	7.7	4.6	11.6	65
Stepnaya Volna	12.6	5.6	13.3	88
Pobeda	7.5	5	9.5	90
Severyanka	9.5	5.2	11.1	80
Alabuga	10.7	6	14.1	84
Irene	13.6	6.1	15.2	90
Kuryer	13.5	6.5	15.3	79
Voyevoda	12.3	6	12.8	86
Novosibirskaya	12.9	5.3	15.8	96
Average	11.3	5.8	13.5	84

All studied varieties samples had germination rates above 80%, except for the varieties Omskaya 18 (77%) and Kuryer (79%). The maximum possible germination rates of 97-98% were shown by the varieties Memory of Aziev, Omskaya 38, and Grani. Table 2 presents data on the ratio of healthy to infected seeds, the prevalence of root rot, and its pathogens in spring wheat seeds.

Table 2

Results of phytoexamination of spring wheat seeds of the harvest 2021, %

Variety	Healthy seeds	Seeds infected with pathogens:	Including				bacteriosis
			<i>B. sorokiniana</i>	<i>Alternaria spp.</i>	<i>Fusarium spp.</i>	<i>Penicillium spp.</i>	
Memory of Asiev	59	41	4	38	2	3	2
Likomero	64	36	5	12	7	5	3
Omskaya 18	60	40	4	37	2	6	41
Omskaya 35	38	62	3	7	12	7	4
Omskaya 36	28	72	0	4	0	8	16
Omskaya 37	42	58	4	21	28	2	34
Omskaya 38	49	51	10	44	13	0	4
Boevchanka	76	24	17	52	2	2	28
Trizo	62	38	12	31	3	1	14
Grani	37	63	0	37	20	4	22
Uralosibirskaya	27	73	2	46	9	0	10
Konditerskaya	31	69	0	44	7	0	30
Favorite	36	64	6	45	4	3	18
Saratovskaya 74	51	49	1	61	2	2	10
Stepnaya Volna	39	61	5	39	18	9	39
Pobeda	30	70	6	55	7	3	29
Severyanka	68	32	2	49	7	3	26
Alabuga	76	24	5	39	2	2	35
Irene	67	33	3	45	5	1	41
Kuryer	69	31	9	39	5	6	33
Voyevoda	24	76	4	25	49	2	48
Novosibirskaya	60	40	1	19	17	1	6
Average	51.5	48.5	3.9	44.9	15.6	2.0	34.1

The pathogens causing seed mold were mainly represented by *Penicillium spp.*

The composition and level of seed infection on spring wheat varieties are shown in Figure 1.

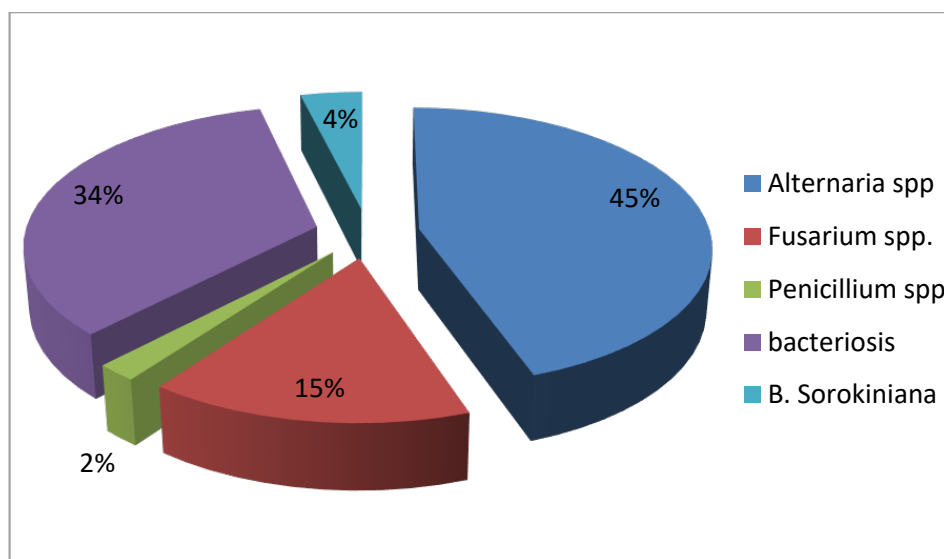


Figure 1. Composition and level of seed infection on spring wheat varieties in 2021, %

Moreover, it has been noted that even when seeds are heavily colonized by fungi causing root rot, they do not necessarily exhibit disease symptoms at the germination stage. Therefore, not all varieties with the highest degree of fungal invasion showed signs of root rot, except for Uralosibirskaya and Voyevoda varieties, which had the highest percentage of infected seeds and consequently more seedlings with signs of root rot.

Phytopathological examination of seeds is an integral part of modern production technology and has the potential to protect crop yields and grain quality, as it can predict the likelihood of plant disease. Only accurate disease diagnostics, knowledge of their causes, and specifics of development form the basis for successful preventive and protective measures [2, 6]. Quality seed treatment with fungicides should begin with mandatory phytopathological examination.

According to numerous studies, the main causative agent of root rot is *Fusarium spp* [11-13]. Infection of ears by fungi of the genus *Fusarium spp.* leads to a decrease in grain quantity, seed germination, and partial seedling death. *Fusarium spp.* infection can result in yield losses of up to 50%. Yield losses can exceed 10%, and seed germination may decrease by 40%. Fungi produce mycotoxins that are hazardous to humans and livestock.

Fungi of the genus *Alternaria spp.* colonize seeds during plant development in the field before harvest. Seeds affected by alternariosis have low germination energy and germination rates. The harmfulness directly depends on the climatic conditions under which the grain ripened and the conditions of its storage. *Alternaria spp.* has the ability to produce toxins that are dangerous not only to plants but also to humans and animals.

In addition to phytopathogenic fungi, saprotrophic mold fungi (species of the genus *Penicillium spp.*) can cause significant damage to seed material. In field conditions, these fungi develop in years with high humidity during grain ripening and harvesting. Seeds affected by saprotrophic fungi can become reinfected during storage [4].

Bacterial diseases cause decay at the root stem, hollow stem, and in the germination zone of seeds. The most dangerous of the aforementioned diseases is invasion in the seed germination zone. Sometimes up to 50% of spring wheat seeds have blackened embryos, leading to a 35% reduction in seed germination and a decrease in plant density, severe root rot, and a sharp decline in yield. Overall, complexes of seed infections reduce yield by 30-70% and germination by 35%.

As shown by the conducted phytosanitary examination, no seeds free from pathogenic microflora were found among the studied spring wheat varieties. The minimum infection load among all studied varieties was noted for Boevchanka and Alabuga varieties, with 76% healthy seeds. On average across all varieties, 51.5% of infected seeds were identified (ranging from 24% to 76%).

The most affected samples were Omskaya 38, Omskaya 35, Grani, Omskaya 36, Uralosibirskaya, and Voyevoda (with 51% to 73% infected seeds).

It should be noted that the most harmful root rot pathogens, such as *Bipolaris sorokiniana*, were not found as actively in the seeds from the 2021 harvest; the highest infection rate was observed for Boevchanka variety at 17% infection. The majority of pathogenic microflora in the seeds consisted of fungi from the genera *Alternaria spp.*, bacterial pathogens, and *Fusarium spp.*

If seeds that are heavily infected with plant pathogens are used for sowing, prolonged outbreaks of fusariosis and premature appearance of *Alternaria spp* may occur. Crop losses can reach 50%, while the quality of fiber and seeds decreases. In confirmed phytosanitary conditions, it is undesirable to use seeds infected with a higher number of plant pathogens than indicated; however, in cases of extreme necessity, forced thermal treatment (heating) and pre-sowing seed treatment should be carried out. To enhance plant resistance, it is also recommended to treat seeds with a complex of microelements and growth regulators, as well as to adhere to effective sowing conditions for spring wheat seeds.

Since antagonistic microorganisms are the most important natural factors suppressing parasitic activity and survival of root rot fungi, the toxicity threshold of root rot fungi varies by zones and soil types and depends on soil suppression.

Seed treatment should not be viewed as the sole method for improving seed quality; it should be used in conjunction with other technical measures that enhance plant resistance and chemical effectiveness. Heating, calibration, and exposure to pulsed low-frequency electric fields are very effective for improving sowing qualities of seeds and phytosanitary parameters. Grain crop seeds are heated at 20°C for 5 days in a stirred storage facility or in an open area. Seeds can be ripened in a dryer for 1.5-2 hours (maximum 5-8 hours) at a carrier temperature of 45-50°C and in a humid heap at 25-30°C for 15-20 hours. Calibration increases field germination by 10-12%, especially for grain harvested in cold, wet weather in autumn and seeds with physiologically immature embryonic plasma. Calibration removes small grains (less than 2.5-3 mm in diameter), and its effect on improving germination ranges from 5 to 20% depending on the batch and variety, while the biological effect against root rot and septic fungi is 30% or more.

Seed treatment should be conducted using preparations according to the "List of Pesticides and Agrochemicals," such as Vitavax 200FF (2 l/t), Raxil Ultra (0.2 l/t), Dividend Star (1.0 l/t), Tebu 60, ME (0.4–0.5 kg/t). These preparations are widely used in the Pavlodar region. Good results under favorable conditions are also provided by growth regulators like Biosil.

To enhance the physiological resistance of plants to harmful organisms when there is a deficiency of microelements in the soil, ammonium molybdate and zinc sulphate (2 kg/t), boric acid (1.5 kg/t), copper sulfate (1–2 kg/t), as well as plant growth regulators, are added to the treatments.

Conclusion

Thus, by checking seeds in phytosanitary conditions, it is possible to accurately determine their state, select fungicides with a specific spectrum of action, and carry out treatment in a differentiated manner (that is, with minimal impact on nature and maximum economic benefit for the enterprise). The results of this research can be used in breeding work to select varieties with specific resistance to seed infection and diseases during the growing season. Phytosanitary examination of cereal seeds allowed for the identification of the main phytopathogens transmitted through spring wheat seeds: *Bipolaris sorokiniana*, fungi of the genera *Alternaria* spp., and *Fusarium* spp.

As a result of the research, a high degree of contamination of seeds with root rot pathogens was identified. The studied samples were dominated by: alternariosis up to 44.9%, bacteriosis up to 34.1%, fusariosis up to 15.6%, *Bipolaris sorokiniana* up to 3.9%, and seed mold *Penicillium* spp. up to 2.0%. An exceedance of the economic threshold value (ETV) for *Alternaria* spp. on wheat was noted at 44.9%. Based on the results of the phytosanitary examination, the most effective seed treatments and growth regulators have been recommended.

Source of funding

This research is funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP09058450 “Development of an ecological system of phytosanitary control of destructive biota (phytophages and phytopathogens) of spring wheat in the North-East of Kazakhstan”).

Conflict of interest

There is no conflict of interest between the authors.

Authors' contribution

Ualiyeva R.M.: Contribution to the concept, execution of the claimed scientific research, creation of a scientific article.

Zhaksybek M.A.: interpretation of the claimed scientific research.

References

1. Lahlali R., Ghanem M. E. Wheat seed microbiome and its effect on seedling health and growth // Plant Pathology. – 2023. – Vol. 72, No. 5. – P. 1123-1135. <https://doi.org/10.1111/ppa.13460>
2. Verma R. K., Gupta R. Mycotoxin contamination in wheat seeds: Pathogenic fungi and potential control strategies // International Journal of Food Microbiology. 2022. – Vol. 357. – P. 109540. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109540>

3. Alotaibi A. M., Al-Qurainy F. Phytopathogenic load in wheat seeds and its impact on seedling growth // Crop Protection. – 2023. – Vol. 156. – P. 105163. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2022.105163>
4. Ghimire S. R., Shrestha K. Seed treatment technologies for controlling seedborne pathogens in wheat // Field Crops Research. – 2021. – Vol. 263. – P. 108474. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.108474>
5. Barros G., Garcia G. Fungal pathogens of wheat seeds and their control // Fungal Biology Reviews. – 2022. – Vol. 37, No. 3. – P. 67-83. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2021.11.003>
6. Marchenkova L.A., Davydova N.V., Chavdar R.F., Orlova T.G., Kazachenko A.O., Gracheva A.V., Shirokolava A.V. Assessment of Adaptability of Spring Wheat Varieties and Lines Against the Background of Artificially Simulated Stresses // Bulletin of the Altai State Agrarian University. – 2017. – № 5. – P. 9-15.
7. GOST 12044-93: Seeds of Agricultural Crops. Methods for Determining Infection with Diseases. – Minsk, 1993. – 57 p.
8. Pidoplichko N. M. Fungi–Parasites of Cultivated Plants. The Determinant. T. 2. Fungi are Imperfect. Kiev: Naukova Dumka, 1977. – 300 p.
9. Bilai V. I. Fusaria. – Kiev: Naukova Dumka, 1977. – 443 p.
10. Larionov Yu.S. Evaluation of Sowing and Yielding Properties of Seeds: Method. Instructions – Chelyabinsk, 2002. – 17 p.
11. Gorbatyuk, M. P., & Volodina, E. A. Pathogenicity of Fusarium species to wheat and the role of mycotoxins in crop loss // Plant Protection and Quarantine. 2021. – Vol. 5, No. 2. – P. 45-52. <https://doi.org/10.1016/j.ppq.2021.02.008>
12. Zhao, X., & Zhang, W. The impact of Fusarium species on wheat production: Mechanisms of infection and crop losses // Journal of Agricultural Science and Technology. – 2022. – Vol. 23, No. 4. – P. 33-41. <https://doi.org/10.1016/j.jagst.2022.03.012>
13. Saks, V. A., & Ivanov, A. S. Mycotoxins produced by Fusarium spp. and their effects on wheat seed viability // Mycology and Phytopathology. – 2020. – Vol. 48, No. 1. – P. 13-22. <https://doi.org/10.1016/j.mycol.2020.01.004>

Р.М. Уалиева, М.Ә. Жақсыбек

Торайғыров университеті, Павлодар, Қазақстан

Павлодар облысы жағдайында егіс технологиясын оңтайландыру факторы ретінде жаздық бидай тұқымының фитозерттисасы

Андатпа. Бидай тұқымдары патогендік микофлора үшін қолайлы орта болып табылады, бұл тұқымның өміршеңдігінің төмендеуіне және өсімдіктердің өсуі мен дамуына елеулі әсер ететін әртүрлі микотоксиндердің бөлінуіне әкеледі. Жаздық бидай тұқымының бастапқы өсу деңгейі және фитопатогендік жүктеме фитосанитарлық жағдай мен егістік сапасының көрсеткіштері ретінде зерттелді. Павлодар облысы жағдайында жаздық бидай тұқымының фитосанитарлық жағдайы анықталды. Барлығы жаздық бидайдың 22 түрі зерттелді. Жаздық бидай сорттарының тұқымдық сипаттамалары және тұқымның себу сапасына әсер ететін сорттық айырмашылықтар анықталды. Тұқымның құрамы мен зақымдану деңгейін анықтау үшін дәнді дақылдар сорттары

тұқымдарының фитосанитарлық нәтижелері ұсынылған. Зерттеу нәтижелері жаздық бидай тұқымдарының тамыршірік қоздырғыштарымен зақымдануының жоғары деңгейін анықтады: *Bipolaris sorokiniana*, *Alternaria* spp. және *Fusarium* spp. тұқымдасының саңырауқұлақтары және жаздық бидай бактериозының қоздырғыштары зерттелген үлгілерде басым болды. Гидротермиялық жағдайлардың өсімдік патогендерінің тұқым инвазиясындағы рөлі анықталды.

Түйін сөздер: фитоэкспертиза, жаздық бидай, өнгіштік, себу сапасы, патоген

Р.М. Уалиева, М.А. Жаксыбек

Торайғыров университет, Павлодар, Қазақстан

Фитоэкспертиза семян яровой пшеницы как фактор оптимизации технологии посева в условиях Павлодарской области

Аннотация. Семена пшеницы являются благоприятной средой для патогенной микрофлоры, которая вызывает снижение жизнеспособности семян и выделение различных микотоксинов, серьезно влияющих на рост и развитие растений. Были исследованы начальный рост семян яровой пшеницы и фитопатогенная нагрузка как показатели фитосанитарного состояния и посевных качеств. Установлено фитосанитарное состояние семян яровой пшеницы, в условиях Павлодарской области. В общей сложности было проанализировано 22 сорта яровой пшеницы. Определены посевные характеристики семян сортов яровой пшеницы и выявлены сортовые различия, влияющие на посевные качества семян. Представлены фитосанитарные результаты семян сортов зерновых культур для определения состава и уровня зараженности семян. Результаты исследования выявили высокий уровень зараженности семян яровой пшеницы возбудителями корневых гнилей: *Bipolaris sorokiniana*, грибами рода *Alternaria* spp., *Fusarium* spp. и возбудители бактериозов яровой пшеницы преобладали на исследуемых образцах. Была определена роль гидротермических условий в инвазии семян патогенами растений.

Ключевые слова: фитоэкспертиза, яровая пшеница, всхожесть, посевные качества, патоген

References

1. Lahlali R., Ghanem M. E. Wheat seed microbiome and its effect on seedling health and growth, *Plant Pathology*, 72, 5, 1123-1135 (2023). <https://doi.org/10.1111/ppa.13460>
2. Verma R. K., Gupta R. Mycotoxin contamination in wheat seeds: Pathogenic fungi and potential control strategies, *International Journal of Food Microbiology*, 357, 109540 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109540>
3. Alotaibi A. M., Al-Qurainy F. Phytopathogenic load in wheat seeds and its impact on seedling growth, *Crop Protection*, 156, 105163 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2022.105163>
4. Ghimire S. R., Shrestha K. Seed treatment technologies for controlling seedborne pathogens in wheat, *Field Crops Research*, 263, 108474 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.108474>
5. Barros G., Garcia G. Fungal pathogens of wheat seeds and their control, *Fungal Biology Reviews*, 37, 3, 67-83 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2021.11.003>

6. Marchenkova L.A., Davydova N.V., Chavdar R.F., Orlova T.G., Kazachenko A.O., Gracheva A.V., Shirokolava A.V. Ocenka adaptivnosti sortov i liniy jarovoj pshenicy na fone iskusstvenno modeliruemyh stressov [Assessment of Adaptability of Spring Wheat Varieties and Lines Against the Background of Artificially Simulated Stresses], Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Altai State Agrarian University], 5, 9-15 (2017). [in Russian]
7. GOST 12044-93: Semena sel'skhozjajstvennyh kul'tur. Metody opredelenija zarazhenija boleznyami [Seeds of Agricultural Crops. Methods for Determining Infection with Diseases] (Minsk, 1993, 57 p.). [in Russian]
8. Pidoplichko N. M. Griby-parazity kul'turnyh rastenij. Opredelitel'. T. 2. Griby nesovershenny [Fungi-Parasites of Cultivated Plants. The Determinant. T. 2. Fungi are Imperfect] (Kiev, Naukova Dumka, 1977. 300 p.). [in Russian]
9. Bilai V. I. Fuzarija [Fusaria] (Kiev, Naukova Dumka, 1977, 443 p.). [in Russian]
10. Larionov Yu.S. Ocenka posevnyh i urozhajnyh svojstv semjan: Metod. Instrukcii [Evaluation of Sowing and Yielding Properties of Seeds: Method. Instructions] (Chelyabinsk, 2002, 17 p.). [in Russian]
11. Gorbatyuk, M. P., & Volodina, E. A. Pathogenicity of Fusarium species to wheat and the role of mycotoxins in crop loss, Plant Protection and Quarantine, 5, 2, 45-52 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.ppq.2021.02.008>
12. Zhao, X., & Zhang, W. The impact of Fusarium species on wheat production: Mechanisms of infection and crop losses, Journal of Agricultural Science and Technology, 23, 4, 33-41 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.jagst.2022.03.012>
13. Saks, V. A., & Ivanov, A. S. Mycotoxins produced by Fusarium spp. and their effects on wheat seed viability, Mycology and Phytopathology, 48, 1, 13-22 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.mycol.2020.01.004>

Information about authors:

Ualiyeva R.M. – PhD, Associate Professor, Toraighyrov University, Lomov str., 64, Pavlodar, Kazakhstan.

Zhaksybek M.A. – Master in Natural Sciences, Toraighyrov University, Lomov str., 64, Pavlodar, Kazakhstan.

Информация об авторах:

Уалиева Р.М. – PhD, доцент, Университет Торайгырова, ул. Ломова, 64, г. Павлодар, Казахстан.

Жаксыбек М.А. – магистр естественных наук, Университет Торайгырова, ул. Ломова, 64, г. Павлодар, Казахстан.

Авторлар туралы мәліметтер:

Уалиева Р.М. – PhD, қауымдастырылған профессор (доцент), Торайгыров университеті, Ломов көшесі, 64, Павлодар, Қазақстан.

Жаксыбек М.Ә. – жаратылыстану ғылымдарының магистрі, Торайгыров университеті, Ломов көшесі, 64, Павлодар, Қазақстан.



МРНТИ 65.39.03

<https://doi.org/10.32523/2616-7034-2024-149-4-18-35>

Научная статья

Исследование свойств крахмала из корней Катрана Кочи и Свербиги восточной

А.Н. Аралбаев^{1*}, З.Ж. Сейдахметова^{1*}, А.Н. Аралбаева², Н.К. Аралбай³

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

²Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

³Международный Казахско-Турецкий университет имени Х.А. Яссауи

*Автор для корреспонденции: altai_an@mail.ru, s.zaure@bk.ru

Аннотация. Статья затрагивает актуальную по сей день проблему поиска и исследования нетрадиционных источников сырья для пищевой и перерабатывающей промышленности. Растения являются универсальным источником различных материалов, лекарственных средств и пищи для человека. Крахмал – один из наиболее широко распространенных растительных биополимеров, который представляет ценность как для пищевой и перерабатывающей промышленности, так и для производства упаковочного материала. Крахмал синтезируются практически всеми видами растений, однако среди них есть виды, накапливающие его в значительных количествах. Наиболее известными источниками крахмала представляются такие культуры, как картофель, зерновые, в тропиках маниок. Свойства крахмала, полученного из разных растений, могут несколько отличаться, поэтому сфера их применения также может быть различной. Семейство Капустные отличается большим разнообразием видовых форм и ареалом распространения. Некоторые виды данного семейства введены в культуру и широко применяются в качестве пищевого сырья, тогда как большинство видов обладает высоким потенциалом и до сих пор остаются малоисследованными на предмет питательной и биологической ценности. Данная статья посвящена исследованию свойств крахмала, выделенного из нетрадиционного растительного сырья – из корней растений *Катран Кочи* и *Свербига восточная*, которые являются представителями семейства *Капустные*. Как показали исследования, корни растений катран и свербига способны накапливать значительное количество крахмала в корнях и по содержанию их количество практически схоже с таковым в картофеле. В связи с тем, что органом аккумуляции крахмала у катрана и свербиги являются корни, технология переработки сырья может быть схожа с технологией получения крахмалов тапиокового крахмала. В ходе исследования выделенного крахмала из корней катрана и свербиги выявлено, что по технологическим, органолептическим характеристикам, а также по физико-химическим показателям данный вид не уступает картофельному крахмалу, что делает его пригодным для использования в пищевой промышленности.

Ключевые слова: нетрадиционное сырье, крахмал, вязкость, растворимость крахмала

Получено: 26.08.2023. Рецензирование: 01.11.2024 (1-й раунд), 11.12.2024 (2-й раунд). Принято: 11.12.2024. Доступно онлайн: 20.12.2024.

Введение

Крахмал – наиболее широко распространенный сложный биополимер растений и некоторых цианобактерий, являющийся основным запасным углеводом. В особенности большое его количество содержится в зерновых культурах и клубнях. По распространенности в растительном мире крахмал уступает лишь такому органическому соединению, как целлюлоза. Крахмал необходим для людей и животных в качестве источника питательных веществ и энергии.

Крахмал – это универсальное соединение, характеризующееся доступностью, отсутствием какой-либо токсичности, способностью к биодegradации в окружающей среде, а также широким спектром возможностей для практического применения. В пищевой промышленности он используется в приготовлении многочисленных молочных и хлебобулочных изделий, супов и соусов, мясных продуктов, а также для изготовления покрытий для готовых изделий. Кроме того, растет спрос со стороны непищевой промышленности на крахмал как на возобновляемый материал. Непищевые применения крахмала включают фармацевтику, текстиль, производство топлива на спиртовой основе, клея, красителей и мебели [1-3].

Крахмалы классифицируют по таким признакам, как сырьевой источник крахмала, размер гранул, назначение. На сегодняшний день существует более 100 различных сортов. Самыми распространенными видами крахмала являются картофельный, кукурузный, рисовый, ячменный, ржаной и пшеничный [4].

Различают природный (нативный) крахмал и рафинированный (очищенный). Он производится из крахмалосодержащих растений. Нативный крахмал в большинстве случаев не обладает достаточными функциональными свойствами, что затрудняет его применение в различных отраслях производства. В связи с этим крахмал модифицируют физически и/или химически, чтобы улучшить свойства или свести к минимуму дефекты [3].

Современная крахмалопаточная промышленность - важная отрасль народного хозяйства. Производство крахмала и крахмалопаточных продуктов занимает ведущие места в экономике стран, так как сфера использования как нативных, так и модифицированных видов крахмала расширяется из года в год. Это объясняется тем, что в отличие от синтетических полимеров из нефти и газа, изделия и продукция с использованием крахмала не наносят вреда окружающей среде, а также крахмал является возобновляемым полимером, который прост в получении.

Возрастающая потребность в крахмале в качестве продукта и сырья для различных отраслей производства дают обоснование для поиска способов повышения объемов производства, а также разработки новых видов крахмалоносного сырья [5].

В связи с тем, что крахмал является запасным полисахаридом растений, виды, накапливающие его в значительных количествах, могут рассматриваться как потенциальное сырье. Нетрадиционные культуры характеризуются высокой биологической пластичностью и адаптивностью, превосходно сочетают высокую продуктивность с высокой экологической устойчивостью, продуктивным долголетием, хорошими

кормовыми и пищевыми достоинствами, устойчивым семеноводством [6]. В последние десятилетия опубликовано множество работ, посвященных изучению свойств и применению крахмала, полученного из нетрадиционных растений. Основной тенденцией в получении данного биополимера является использование местных источников сырья [7-10].

При исследовании перспективности того или иного растения для получения крахмала, следует учитывать, что в формировании качества конечного продукта большую роль играют различные факторы, включая видовые особенности сырья, химические особенности крахмальных зерен и технология переработки сырья. В свою очередь, для разработки технологии получения крахмала из нетрадиционных источников необходимо провести предварительную оценку его технологических свойств [11].

В Казахстане произрастает около 13 тыс. видов растений, в том числе высших растений 6300. В составе природной флоры только Восточного Казахстана предварительно выявлено 189 видов дикорастущих пищепригодных растений. Одними из перспективных растений можно назвать различные виды рода *Катран (Crambe)* и *Свербига (Bunias)*, относящиеся к семейству *Капустные (Brassicaceae)*. Названные объекты не применяются в качестве пищевого сырья в Казахстане, немногочисленные исследования направлены на оценку их ценности как кормовой культуры. Согласно нашим исследованиям и данным зарубежных исследователей, разные виды катрана и свербиги способны накапливать значительные количества крахмала, особенно в корневой части [6, 12-13]. Целью настоящей научной работы явилось определение свойств нативного крахмала из корней Катрана Кочи и Свербиги восточной.

Материалы и методы исследование

Для достижения поставленной цели было проведено количественное определение крахмала в сырье. Проведена оценка содержания амилозной фракции, исследованы соотношение амилопектина и амилозы, физико-химические свойства как зольность, содержание белков, жиров, простых углеводов, вязкость крахмала, растворимость крахмала и водосвязывающая способность. В качестве контроля использовали картофельный крахмал, выделенный из картофеля столового сорта Коломбо.

Содержание крахмала в исследуемом сырье определяли по ГОСТ 10845-98 [14]. Для проведения исследований крахмал выделяли следующим образом: корни измельчали на лабораторной мельнице и смешивали с водой в соотношении 5:1, полученную суспензию со взвесью мелкодисперсных частиц отделяли от шрота фильтрованием через сито. Шрот промывали трехкратно, жидкость собирали в одну емкость. В связи с тем, что крахмал имеет большую массу по сравнению с молекулами белка, фильтрат центрифугировали в течение 10 минут со скоростью 3500 об/мин для осаждения крахмала. Полученный крахмал высушивали на поверхности с обеспечением свободной циркуляции воздуха при температуре 40 °С в сушильном шкафу.

В выделенном крахмале определяли массовую долю жира по ГОСТ 29033-91 [15], массовую долю белка согласно ГОСТ 10846-91 [16], массовую долю углеводов определяли перманганометрическим методом, массовую долю золы по ГОСТ 25555.4-91 [17].

Для определения содержания амилозы и массового соотношения фракций крахмала (АП/АМ) использовали спектрофотометрический метод при двух длинах волн, отвечающих максимумам абсорбции комплексов йода с АМ и АП (620 нм и 550 нм, соответственно) [18]. Растворы крахмала для исследования получали путем диспергирования в 1 М NaOH с последующей нейтрализацией. Концентрации фракций крахмала в растворе после добавления реактива (водный раствор, содержащий 0,2 % йода и 2% йодида калия) рассчитывали в соответствии с данной методикой. За массовое соотношение АП/АМ принимали отношение концентраций данных фракций в растворе [19].

Растворимость и водоудерживающая способность определялась по методу Шоха. К навеске полученного продукта 1 г приливали 50 мл дистиллированной воды. Выдерживали в избытке воды в течение 30 минут при температуре 25 °С, 40 °С, 60 °С, 70 °С, 80 °С, 90 °С, затем центрифугировали в течение 10 минут при скорости 2500 об/мин. Жидкую фазу отделяли и определяли в ней долю сухих веществ. Растворимость образцов рассчитывали как процентное отношение массы фильтрата и содержания сухих веществ. Количество связанной воды рассчитывали относительно начальной массы осадка. Влагосвязывающую способность рассчитывали как отношение количества связанной воды к массе навески [20].

Для определения вязкости растворов крахмала использовали вискозиметр Оствальда с диаметром капилляра 0,99 мм. В качестве растворителя использовали дистиллированную воду, в дальнейших расчетах использовали известные показатели воды как растворителя. Растворы крахмала готовили в концентрациях 0,1 г/л, 0,25 г/л; 0,5 г/л; 1 г/л; 2 г/л для дальнейшего построения графиков. Для этого навеску крахмала растворяли в 20 мл холодной воды, полученную суспензию вливали в 30 мл кипящей воды и, перемешивая, нагревали до кипения. Полученные растворы оставляли на сутки.

Относительную вязкость рассчитывали как отношение времени истечения раствора данной концентрации τ ко времени истечения растворителя τ_c :

$$\eta = \frac{\tau_p}{\tau_0}$$

Удельная вязкость определяется отношением разности между вязкостями раствора η и чистого растворителя η_0 к вязкости чистого растворителя:

$$\eta = \frac{\eta - \eta_0}{\eta_0}$$

Удельную вязкость, отнесенную к концентрации раствора c , называют приведенной вязкостью:

$$\eta_{\text{прив}} = \frac{\eta_{\text{уд}}}{c}$$

По рассчитанным значениям удельной вязкости различных концентраций, строили график зависимости приведенной вязкости от концентрации $\eta_{\text{прив}} = f(c)$. По графику определяли характеристическую вязкость (точка пересечения графика с осью ординат) [21].

Результаты исследования

Для выполнения поставленной цели нами было исследовано количественное содержание крахмала в растительном сырье. В ходе экспериментов выявлено, что в корнях свербиги содержалось 18,87 % крахмала, в катране 20,32 % крахмала, что практически соответствует содержанию данного полисахарида в некоторых сортах картофеля [22], тогда как в исследуемом сорте его содержание составило 16,2 %.

Исследование физико-химических показателей приведено в таблице 1. В ходе экспериментов выявлено, что исследуемые образцы различались по содержанию амилозы и амилопектина. Известно, что соотношение данных молекул, ввиду их строения значительно влияет на свойства и технологические характеристики крахмала и крахмалопродуктов.

Таблица 1

Физико-химические характеристики крахмала

	Катран Кочи	Свербига восточная	Картофель
Амилоза, %	18,5±0,8	26,5±1,4	22,3±2,5
Амилопектин, %	81,5±2,9	73,5±3,0	77,7±5,4
Соотношение АМ/АП	0,23±0,04	0,36±0,02	0,29±0,03
Зольность, %	0,31±0,01	0,25±0,04	0,28±0,03
Массовая доля белка, %	0,18±0,001	0,29±0,0009	0,22±0,002
Массовая доля жира, %	0,1±0,005	0,12±0,004	0,07±0,001

Как приведено в таблице 1, все исследованные образцы содержали некоторое количество жира и белковых веществ, которое влияло бы на функциональные свойства крахмала, следовательно, они должны быть удалены в ходе технологической очистки. Отмечено также небольшое содержание зольных веществ.

Известно, что крахмал состоит из 2 типов молекул: разветвленных полимеров глюкозы – амилопектина и неразветвленного глюкополимера – амилозы. Преобладание того или иного вида молекул в составе крахмальных зерен определяет такие свойства, как растворимость, вязкость, водопоглощающую и водоудерживающую способности [23]. Как показали наши исследования, в образцах Свербиги восточной соотношение амилозы к амилопектину было выше по сравнению с картофелем и Катраном Кочи на 25 % и 31 %, соответственно. Содержание амилопектина было выше по сравнению с крахмалом картофеля на 10 % и на 17 % относительно образцов Свербиги. На основе полученных данных можно заключить, что технологические свойства крахмала из корней Катрана Кочи по сравнению со Свербигой и исследуемого сорта картофеля неоднородны.

Крахмал плохо растворяется в холодной воде, однако при нагревании происходит формирование коллоидного раствора. На рисунке 1 приведены результаты исследования растворимости крахмала из Катрана, Свербиги и картофеля в воде при разной температуре.

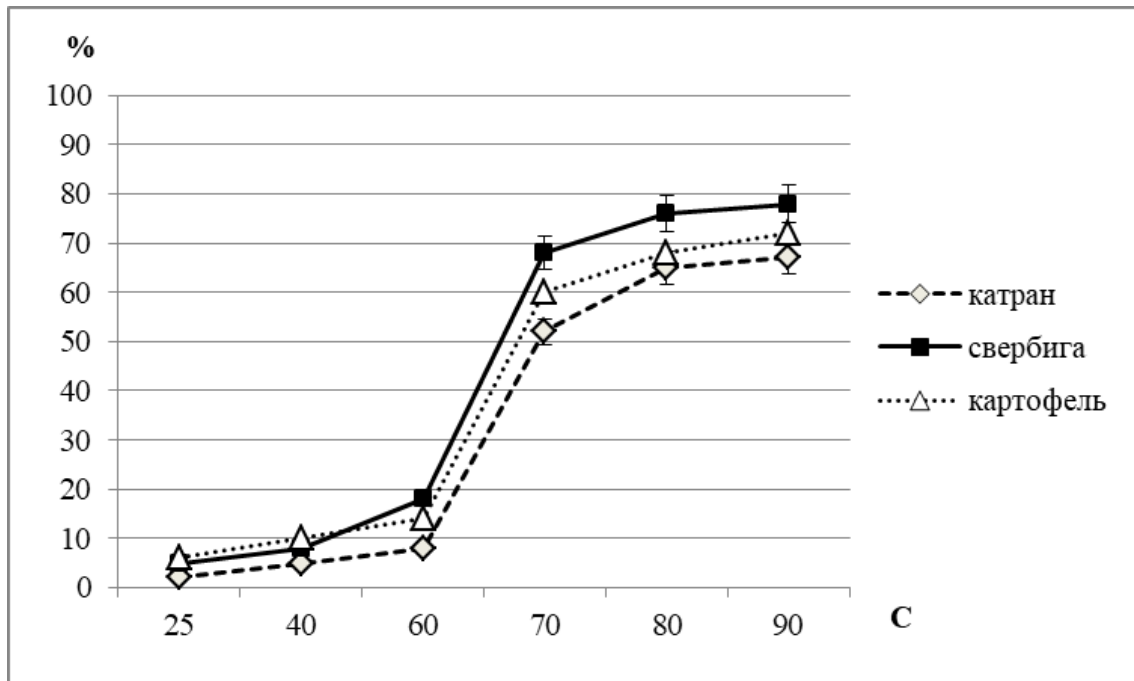


Рисунок 1. Исследование растворимости крахмала,

где: по оси абсцисс: температура растворителя, °C; по оси ординат: степень растворимости, %

Как видно из рисунка, уровень растворимости исследуемых образцов крахмала повышалась по мере увеличения температуры воды. При постепенном повышении температуры растворителя (воды) до 40 °C значительных изменений растворимости крахмала не наблюдалось. При температуре воды в 60 °C количество растворенных частиц составило 8 % для образцов из Катрана, 14 % для картофеля и 18 % для Свербиги. Дальнейшее повышение температуры до 70 °C привело к повышению растворимости крахмала практически в 4 раза. При дальнейшем увеличении температуры изменение растворимости крахмала было не существенным. Тем не менее, при сравнении выявлено, что растворимость крахмала Свербиги была выше по сравнению с показателями для картофельного крахмала на 10 %, и на 27 % относительно образца из корней Катрана. Вероятнее всего это связано с большим содержанием амилозы, которая, как известно, обладает хорошей растворимостью в теплой воде [24].

Влагосвязывающее свойство крахмала – одна из важных характеристик, определяющих возможность его применения в качестве структурообразователя в пищевой системе. Экспериментальные данные по оценке влагосвязывающей способности образцов крахмала представлены на рисунке 2.

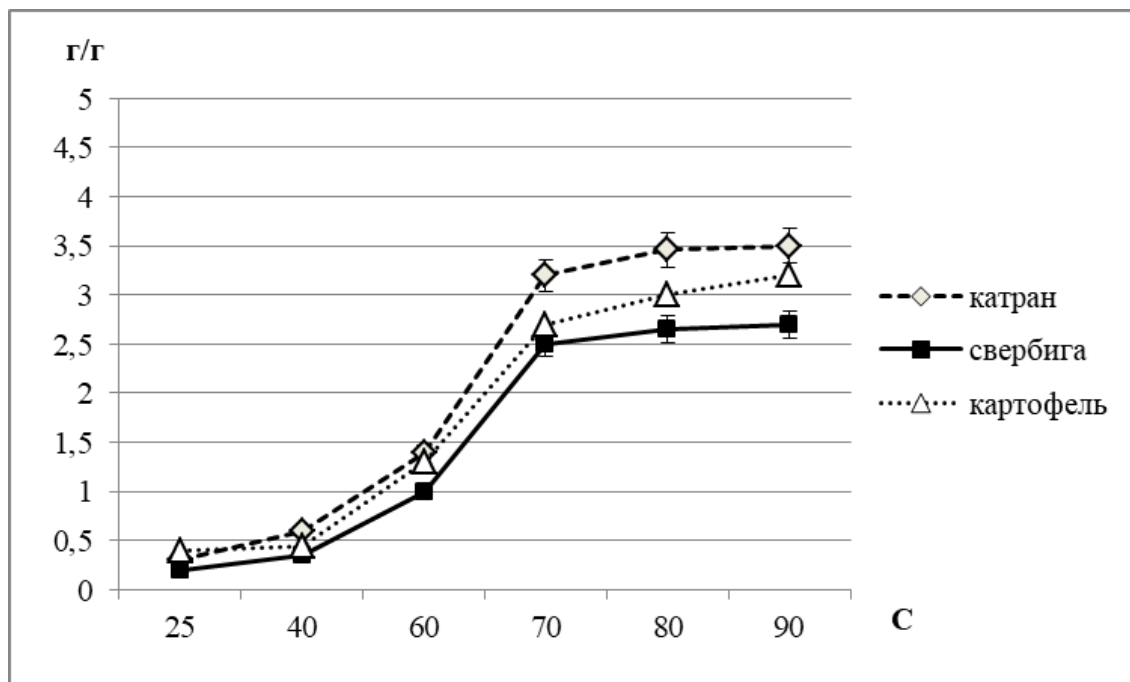


Рисунок 2. Исследование влагосвязывающей способности крахмала,

где: по оси абсцисс: температура растворителя; °С, по оси ординат: количество связанной воды, г/г

Влагосвязывающая способность образцов крахмала напрямую коррелирует с данными, полученными при исследовании растворимости. Как видно из рисунка, все образцы практически одинаково связывали влагу из среды в температурном диапазоне от 25-40 °С. При повышении температуры до 60 °С количество связанной воды увеличилось в 2,5 раза, при повышении температуры до 70 °С, т.е. в 10 раз относительно исходных данных. При сравнении влагосвязывающей способности разных образцов можно сказать, что наиболее активно связывал воду крахмал, выделенный из Катрана. Крахмал, полученный из Свербиги, отличался наименьшей способностью связывать влагу. Дальнейшее повышение температуры не привело к значительным изменениям показателей.

Согласно поставленным целям была определена вязкость растворов крахмала разной концентрации. На рисунке 3 приведены результаты исследования зависимости изменения относительной вязкости крахмальных растворов от его концентрации.

Как видно из рисунка, вязкость крахмала возрастает с увеличением концентрации, однако при сравнении можно отметить, что вязкость крахмала Катрана была несколько выше такового картофельного крахмала до 14 % в диапазоне концентраций от 0,5 г/л. Вязкость крахмала, выделенного из Свербиги, отличалась от образцов крахмала из картофеля и Катрана в среднем на 7-10 %.

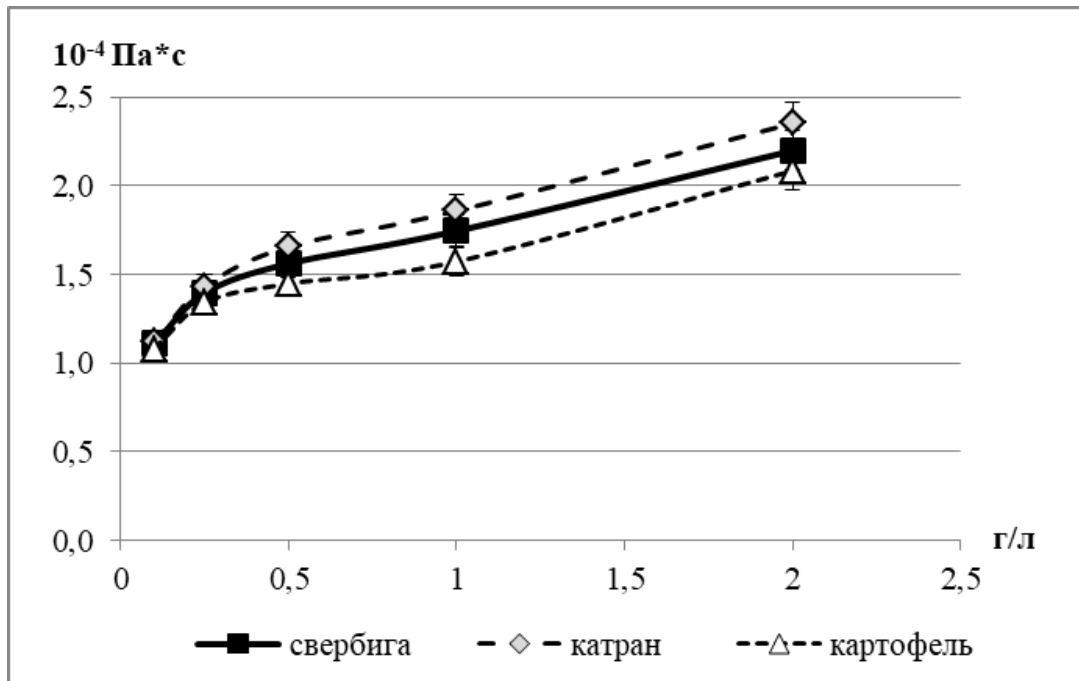


Рисунок 3. Исследование относительной вязкости крахмала,

где: по оси абсцисс: концентрация крахмала, г/л; по оси ординат: вязкость, 10^{-4} Па*с

На основе данных относительной вязкости рассчитаны показатели удельной и приведенной вязкости для каждого образца. На основе результатов эксперимента выявлены значения показателей характеристической вязкости образцов. Для крахмала из корней Катрана его значение составило 0,84 л/г, для образцов из Свербиги – 0,73 л/г, тогда как в контроле (картофельный крахмал) – 0,38 л/г. Характеристическая вязкость полимерного раствора зависит от типов полимера и растворителя и возрастает с ростом молекулярной массы линейных макромолекул. Таким образом, на основе полученных данных можно предположить, что крахмал, выделенный из Катрана Кочи имеет большую молекулярную массу по сравнению с остальными образцами и обладает более гибкой структурой молекул. Молекулярная масса крахмала из Свербиги предположительно также выше, чем у картофельного крахмала.

Обсуждение

Крахмал – полимер, присущий для всех видов растений и имеет в целом схожие свойства [25]. Однако зерна крахмала различаются по структуре, форме и размеру у различных растений, поэтому морфология, кристалличность, и другие конечные функциональные свойства крахмала зависят от ботанических характеристик источника и условий его произрастания [26,27]. Крахмал – важный пищевой продукт и универсальный биоматериал, используемый во всем мире для различных целей во

многих отраслях промышленности, включая пищевую, медицинскую, текстильную, химическую и машиностроительную. Универсальность крахмала в промышленном применении во многом определяется его физико-химическими свойствами и функциональностью [28]. Крахмал обладает свойствами загустителя, стабилизатора и структурирующего агента. Это вещество способно позволить снизить содержание жиров, связывать между собой частицы смесей, удерживать ароматические компоненты и регулировать влажность [29]. Все это делает крахмал одним из самых универсальных и доступных ингредиентов. Этот углевод в промышленных масштабах выделяют в основном из кукурузы, тапиоки (маниоки), пшеницы, картофеля, саго, гороха, маранты и риса. Два наиболее распространенных источника крахмала – кукуруза (75% мирового производства) и тапиока (12%). В Европе крахмал в основном производят из кукурузы, пшеницы и картофеля. Кроме того, гороховый крахмал производят компании Emsland Group (Германия) и Roquette Frères (Франция). Овсяный крахмал также широко используется в фармацевтической и косметической промышленности. Финляндия – одна из немногих стран в мире, производящих ячменный крахмал. [30]. Исследования, направленные на поиск альтернативных ресурсов для крахмалопаточного сырья, очень важны, так как потребность в данном полимере достаточно высока [31,32]. В различных странах проводятся исследования нетрадиционных источников сырья, а также оценка продуктов и вторичного сырья, полученного из них [33]. К примеру, крахмал из растения Achira (*Canna edulis*) производится в Колумбии и Венесуэле, а Dua Naga, Ltd. (Индонезия) поставляет крахмал из местного растения аранда. Крахмал из корня лотоса производится Yangzhou Lianshun Food Co., Ltd. (Янчжоу, Китай). Крахмал из бобов мунг можно приобрести в Hengshui Fuqiao Starch Co., Ltd. (Цзинсянь, Китай) [34].

Наши исследования были направлены на оценку свойств нативного крахмала из растений семейства капустные. В ходе исследования выявлено, что количество данного полисахарида в корнях Катрана и Свербиги приблизительно было схожим с его содержанием в картофеле.

Крахмальные гранулы состоят из разветвленных полимеров амилопектина преимущественно линейного полимера амилозы. В большинстве случаев содержание амилопектина колеблется от 15-30 %, в некоторых сортах восковидных зерновых их содержание может достигать более чем 80 % [34, 35]. Соотношение данных молекул влияет на такие свойства, как вязкость, водосвязывающая способность и растворимость [36-37]. Исследование соотношений амилопектина и амилозы показало, что доля амилопектиновой фракции преобладает во всех образцах крахмала. Однако при сравнении можно сказать, что крахмал из Катрана Кочи содержал большее количество амилопектина по сравнению с крахмалом из Свербиги и картофеля. В свою очередь, в Свербиге отмечено большее накопление амилозы. Полученные результаты могут объяснить большую растворимость крахмала из Свербиги, так как при повышении температуры амилоза частично диффундирует из аморфной части зерен и переходит в раствор, а амилопектин остается в нерастворенном состоянии [24,38]. Влагосвязывающая способность крахмала из Катрана была несколько выше, чем у крахмала из корней Свербиги и картофеля, предположительно вследствие большего содержания амилопектина, который при нагревании набухает и образует клейстер.

Вязкость растворов крахмала также является его функциональной характеристикой и позволяет предварительно сделать предположение о том, как себя поведет тот или иной вид крахмала в технологическом процессе и в составе конечного продукта. Вязкость растворов полимера во многом определяется его молекулярной массой [39]. Согласно полученным результатам, характер кривой изменения вязкости растворов крахмала, полученного из исследуемых растений, был схож с картофельным крахмалом. Однако образцы из нетрадиционных крахмалоносов обладали большей вязкостью по сравнению с контролем. Расчёты характеристической вязкости дают основание предположить, что молекулярный вес крахмала из Катрана выше, чем у образца из Свербиги и картофеля.

Выводы

Целью исследований явилось изучение свойств крахмала, выделенного из таких нетрадиционных источников как, корни Свербиги восточной и Катрана Кочи. В ходе исследований было выявлено, что такие технологические характеристики, как вязкость, влогоудерживающая способность, растворимость, а также физико-химические свойства крахмала, полученного из данного вида сырья, схожи с картофельным крахмалом. Таким образом, полученные данные дают обоснование сделать вывод, что крахмал из нетрадиционных источников может применяться наряду с другими видами крахмала в качестве структурообразователей, загустителей и т.д., поэтому данные объекты требуют дальнейших научных изысканий.

Список литературы

1. Apriyanto A., Compart J., Fettke J. A review of starch, a unique biopolymer - Structure, metabolism and in planta modifications // Plant Sci. – 2022. – Vol. 318. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2022.111223>
2. Chakraborty R., Kalita P., Sen S. Natural Starch in Biomedical and Food Industry: Perception and Overview // Curr Drug Discov Technol. – 2019. – Vol.16. -№4. – P.355-367. <https://doi.org/10.2174/1570163815666181003143732>
3. Zia-Ud-Din, Xiong H, Fei P. Physical and chemical modification of starches: A review // Crit Rev Food Sci Nutr. – 2017. - Vol. 57. - №12. – p. 2691-2705. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015>
4. Рязанова О.А. Крахмал и крахмалопродукты // Пищевая промышленность. – 2014. № 2. – С. 76-80.
5. Лукин Н.Д., Серегин С.Н., Сидак М.В., Сысоев Г.В. Глубокая переработка крахмалсодержащего сырья: современное состояние и перспективы устойчивого развития // Пищевая промышленность. - 2021. -№11. – С.34-41.
6. Михович Ж.Э., Пунегов В.В., Груздев И.В., Рубан Г.А., Зайнуллина К.С. Биохимическая характеристика растений Свербиги восточной (*Bunias orientalis*L.) при культивировании на севере // Известия Самарского научного центра РАН. - 2017. - №2- Т.3. – С.478-481.
7. Nagar C.K., Dash S.K., Rayaguru K., Pal U.S., Nedunchezhiyan M. Isolation, characterization, modification and uses of taro starch: A review // Int J Biol Macromol. - 2021 - № 192. – P. 574-589. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac>

8. Bangar S.P., Ashogbon A.O., Dhull S.B., Thirumdas R., Kumar M., Hasan M., Chaudhary V., Pathem S. Proso-millet starch: Properties, functionality, and applications // *Int J Biol Macromol.* - 2021 - № 190. - P. 960-968. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.09.064>
9. Felisberto M.H.F., Beraldo A.L., Costa M.S., Boas F.V., Franco C.M.L., Clerici M.T.P.S. Bambusa vulgaris starch: Characterization and technological properties // *Food Res Int.* - 2020 - № 132. - P. 109102. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109102>
10. Li D., Zhu F. Starch structure in developing kiwifruit // *Int J Biol Macromol.* - 2018 № 120. - P. 1306-1314. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.08.128>
11. Жамбусинова К.В. Исследование технологических свойств крахмала различных видов, поступающих на потребительский рынок РФ. – Челябинск: ЮУрГУ, 2018. – 77 с.
12. Аралбаев А.Н., Сейдахметова З.Ж., Аралбай Н.К. Оценка пищевой и биологической ценности корней Катрана Кочи (*Crambe cochiana*) // Доклады НАН РК. 2022. - №2. - 5–20. <https://doi.org/10.32014/2022.2518-1483.144>
13. Пышманцева Н.А., Тлецерук И.Р. Катран-новая кормовая культура // Сельскохозяйственный журнал. – 2012. - № 3. – Т.1. – P. 164-167.
14. ГОСТ 10845-98 Зерно и продукты его переработки. Метод определения крахмала. - Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации Минск. - БелГИСС, 2009 г.
15. ГОСТ 29033-91. Зерно и продукты его переработки. Метод определения жира. - М.: Издательство стандартов, 1992. ГОСТ 10846-91.
16. Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка. (Издание с поправкой) - Взамен ГОСТ 10846-74; Введен 1993-06-01.-М.: Стандартиформ, 2009.
17. ГОСТ 25555.4-91. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения золы и щелочности общей и водорастворимой золы. - Овощи сушеные. Технические условия. Методы анализа: Сборник национальных стандартов. - М.: Стандартиформ, 2011.
18. Закирова А.Ш., Ягофаров Д.Ш., Канарский А.В., Сидоров Ю.Д. Применение фотоколориметрического метода для количественного определения амилозы в крахмале // Вестник Казанского технологического университета. - 2011. - №10. – P. 195-198.
19. Винокуров А.Ю., Коптелова Е.К., Лукин Н.Д., Канарский А.В., Водяшкин А.А., Заболотский А.И. Морфологические, структурные и реологические свойства катионированного в водной суспензии крахмала // Вестник Казанского технологического университета. - 2015. - №18. – Т.19. – С. 135-140.
20. Алексеева Е.И. Физико-химическая характеристика сортов амаранта и их генетическая дифференциация // Труды Белорусского государственного университета. Серия: Физиологические, биохимические и молекулярные основы функционирования биосистем. - 2010 – Т. 5. – № 2. – С. 127-133.
21. Немцева М.П. Реологические свойства коллоидных систем: учебное пособие. - Иваново: Ивановский гос. хим.-технол. ун-т. - 2016. – 61 с.
22. Стрельцова Т.А., Оплеухин А.А., Менохов М.С. Исследование биоресурсного потенциала новой коллекции картофеля при интродукции в горный алтай: монография. – Горно-Алтайск: РИО ГАГУ. - 2014. – 128 с.

23. Бородина З.М., Лукин Н.Д., Папахин А.А., Гулакова В.А. О ферментативной атакуемости различных видов крахмала // Пищевая промышленность. 2019. - № 5. - P. 27-32. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10067>
24. Трегубов, Н.Н. Технология крахмала и крахмалопродуктов. - М.: Легк. и пищ. промышленность. - 1981. - 472 с.
25. Compart J, Singh A, Fettke J, Apriyanto A. Customizing Starch Properties: A Review of Starch Modifications and Their Applications // Polymers (Basel). - 2023. - Т. 15. - № 16. <https://doi.org/10.3390/polym15163491>
26. Dereje B. Composition, morphology and physico chemical properties of starches derived from indigenous Ethiopian tubercrops: A review // Int J Biol Macromol. - 2021 № 187. - P. 911-921. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.07.188>
27. Perez, S., Baldwin, P.M. and Gallant, D.J. Structural Features of Starch Granules I. // Starch: Chemistry and Technology. - 2009.- № 3. P.11-21. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-746275-2.00005-7>
28. Omoregie Egharevba, H. Chemical Properties of Starch and Its Application in the Food Industry. IntechOpen. -2020. <https://doi.org/10.5772/intechopen.87777>
29. BeMiller J., Whistler R. Food Science and Technology, Starch, 2009, Third Edition. Academic Press, P. 795. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-746275-2.00020-3>
30. Evžen Š., Sinica A., Smrčková P, Sluková M. 2023. Non-Traditional Starches, Their Properties, and Applications // Foods, 2023.- Vol. 12. - no. 20. <https://doi.org/10.3390/foods12203794>
31. Хвыля С.И., Лапшин В.А., Корешков В.Н. Использование крахмала в мясной промышленности // Публикации и обсуждения ВНИИЗ - 2019. - <https://vniiz.org/science/publication> (дата обращения: 30.03.2023).
32. Wang L., Litao T. Production and Properties of Starch: Current Research // Molecules, 2024/ - Vol. 29, no. 3. <https://doi.org/10.3390/molecules29030646>
33. Santos Silveira Jr J.F., Francisco A. Unconventional Food Plants as an Alternative in Starch Production // Cereal Foods World, 2020. - Vol. 65, No. 2. <https://doi.org/10.1094/CFW-65-2-0018>
34. Cornejo-Ramírez, Y.I., Martínez-Cruz, O., Del Toro-Sánchez, C. L., Wong-Corral, F. J., Borboa-Flores, J., & Cinco-Moroyoqui, F. J. The structural characteristics of starches and their functional properties. // Journal of Food, 2018.- Vol. 16. - № 1. P. 1003–1017. <https://doi.org/10.1080/19476337.2018.1518343>
35. Alcázar-Alay S.C., Meireles M.A.A. Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources // Food Sci. Technol, Campinas – 2015. – Vol. 35. - № 2. –P. 215-236.
36. Cornejo-Ramírez Y.I., Martínez-Cruz O., Del Toro-Sánchez C.L., Wong-Corral F.J., Borboa-Flores J., Cinco-Moroyoqui F.J. The structural characteristics of starches and their functional properties // Journal of Food. – 2018. - № 16. – Т. 1. – P.1003-1017.
37. Nurul Z., Noorhafiza M., Mohd Mustafa Al Bakri A. Potential of Starch Nanocomposites for Biomedical Applications // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019.- pp. 209. 012087. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/209/1/012087>
38. Kumoro A.C., Retnowati D.S., Ratnawati R., Widiyanti M. Estimation of aqueous solubility of starch from various botanical sources using Flory Huggins theory approach // Chemical Engineering Communications, 2021. – Vol. 208. - №5. – P.624-635, <https://doi.org/10.1080/00986445.2019.1691539>

39. Maura B., Osman E. Behavior of starch during food preparation. II. Effects of different sugars on the viscosity and strength of starch pastes // Journal of Food Science, 2006. -№ 24.- P. 665 - 671. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1959.tb17319.x>

А.Н. Аралбаев¹, З.Ж. Сейдахметова¹, А.Н. Аралбаева², Н.К. Аралбай³

¹Алматы Технологиялық Университеті, Алматы, Қазақстан

²Әл Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан

³Қ.А.Яссауи атындағы Халықаралық Қазақ Түрік Университеті

Кочи қатыраны және Шығыс майракебісі тамырларынан алынған крахмалдың қасиеттерін зерттеу

Аңдатпа. Мақала ешқашан өзектілігін жоғалтпайтын тамақ және қайта өңдеу өнеркәсібі үшін шикізаттың дәстүрлі емес көздерін іздестіру және зерттеу мәселесін қозғайды. Өсімдіктер адам үшін әртүрлі материалдардың, дәрі-дәрмектердің және тағамның әмбебап көзі болып табылады. Крахмал -азық-түлік және өңдеу өнеркәсібі үшін де, қаптама материалын өндіру үшін де құндылығы жоғары кең таралған өсімдік биополимерлерінің бірі. Өсімдіктердің барлық түрлері крахмал синтездей алады, бірақ олардың арасында крахмалды бойына айтулы мөлшерде жинайтын түрлердің маңызы зор. Крахмалдың ең танымал көздері - картоп, дәнді дақылдар, тропик елдерде маниок өсімдігі болып табылады. Әртүрлі өсімдіктерден алынған крахмалдың қасиеттері әртүрлі болғандықтан оларды қолдану аясы бірдей болмауы мүмкін. Қырыққабаттар тұқымдасына жататын түрлер түр формаларының және таралу аймағының алуан түрлілігіне ерекшеленеді. Бұл тұқымдасқа қарасты біраз өсімдік түрлері мәдени дақыл ретінде еңгізіліп және тағамдық шикізат есебінде кеңінен қолданылады, ал басқа әлеуеті жоғары көптеген түрлердің тағамдық және биологиялық құндылығы әлі күнге дейін толық зерттелмеген. Бұл мақалада дәстүрлі емес өсімдік шикізатынан – Қырыққабаттар тұқымдасының өкілдері болып табылатын Кочи қатыраны мен Шығыс майракебісі өсімдіктерінің тамырларынан бөлініп алынған крахмалдың қасиеттерін зерттеу нәтижелері қарастырылған. Зерттеулер барысында Кочи қатыраны және Шығыс майракебісі өсімдіктерінің тамырлары бойында крахмалдың едәуір мөлшерінің жинақталатыны және мөлшері жағынан картоптқа жақындайтыны анықталды. Крахмал қатыран мен майракебістің тамырларында жинақталады, демек атаулы шикізатты өңдеу технологиясы маниок тамырынан крахмал алу технологиясына ұқсас болуы мүмкін. Қатыран мен майракебіс тамырларынан алынған крахмалды зерттеу барысында оның технологиялық, органолептикалық сипаттамалары, сондай-ақ физика-химиялық көрсеткіштері бойынша картоп крахмалынан кем түспейтіні анықталды, бұл оның тамақ өнеркәсібінде қолдануға жарамды етеді.

Түйін сөздер: дәстүрден тыс шикізат, крахмал, тұтқырлық, крахмалдың ерігіштігі

A.N. Aralbaev¹, Z.Zh. Seydakhmetova¹, A.N. Aralbaeva², N.K. Aralbay¹

¹Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

²Al Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

³H.A. Yassai International Kazakh-Turkish University, Almaty, Kazakhstan

Study of starch properties from *Crambe kotchiana* and *Bunias orientalis* roots

Abstract. This article touches upon the problem of searching and researching of non-traditional sources of raw materials for food and processing industry, which never loses its urgency. Plants are a universal source of various materials, medicines and food for humans. Starch is one of the most widespread plant biopolymers, which is of value both for the food and processing industries and for the production of packaging material. Starch is synthesized by almost all plant species, but there are species that accumulate it in significant quantities among them. The most famous sources of starch are crops such as potatoes, cereals, and cassava in tropical lands. Properties of the starch obtained from different plants may be somewhat different, so the scope of their application may also be different. The Cabbage family is characterized by a great diversity of species forms and the range of distribution. Some species of this family have been introduced into culture and are widely used as food raw materials, while most species have high potential and still remain poorly studied for their nutritional and biological value. This article is devoted to the study of the properties of starch isolated from a non-traditional plant raw material – from the roots of plants *Crambe kotchiana* and *Bunias orientalis*, which are representatives of the Cabbage family. As studies have shown, plants are able to accumulate a significant amount of starch in the roots and their content is almost similar to potatoes. Due to the fact that the organ of starch accumulation in *Crambe kotchiana* and *Bunias orientalis* are roots, the technology of processing can be similar to the technology of obtaining starches from the cassava roots. During the research of isolated starch from *Crambe kotchiana* and *Bunias orientalis* roots it has been revealed that with respect to technological, organoleptic characteristics as well as physical and chemical properties this species is not inferior to potato starch which makes it suitable for use in food industry

Keywords: unconventional raw materials, starch, viscosity, starch solubility

References

1. Apriyanto A., Compart J., Fettke J. A review of starch, a unique biopolymer - Structure, metabolism and in planta modifications, *Plant Sci.*, 318 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2022.111223>
2. Chakraborty R., Kalita P., Sen S. Natural Starch in Biomedical and Food Industry: Perception and Overview, *Curr Drug Discov Technol.*, 16 (4), 355-367 (2019). <https://doi.org/10.2174/1570163815666181003143732>
3. Zia-Ud-Din, Xiong H., Fei P. Physical and chemical modification of starches: A review, *Crit Rev Food Sci Nutr.*, 57 (12), 2691-2705 (2017). <https://doi.org/10.1080/10408398.2015>
4. Ryazanova O.A. Krahmал i krahmaloprodukty [Starch and starch products], *Pishchevaya promyshlennost'* [Food industry], 3, 76-80 (2014). [in Russian]
5. Lukin N.D., Seregin S.N., Sidak M.V., Sysoev G.V. Glubokaya pererabotka krahmalsoderzhashchego syr'ya: sovremennoe sostoyanie i perspektivy ustojchivogo razvitiya [Deep processing of starch-

containing raw materials: current state and prospects for sustainable development], *Pishchevaya promyshlennost'* [Food industry], 11, 34-41 (2021). [in Russian]

6. Mihovich Z.H.E., Punegov V.V., Gruzdev I.V., Ruban G.A., Zajnullina K.S. Biohimicheskaya harakteristika rastenij sverbigi vostochnoj (*Bunias orientalis* L.) pri kul'tivirovanii na severe [Biochemical characteristics of eastern sverbiga plants (*Bunias orientalis* L.) when cultivated in the north], *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN* [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2(3), 478-481 (2017). [in Russian]

7. Nagar C.K., Dash S.K., Rayaguru K., Pal U.S., Nedunchezhiyan M. Isolation, characterization, modification and uses of taro starch: A review, *Int J Biol Macromol.* 192, 574-589 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac>

8. Bangar S.P., Ashogbon A.O., Dhull S.B., Thirumdas R., Kumar M., Hasan M., Chaudhary V., Pathem S. Proso-millet starch: Properties, functionality, and applications, *Int J Biol Macromol.*, 190, 960-968, (2021). <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.09.064>

9. Felisberto M.H.F., Beraldo A.L., Costa M.S., Boas F.V., Franco C.M.L., Clerici M.T.P.S. Bambusa vulgaris starch: Characterization and technological properties, *Food Res Int.*, 132, 109102 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109102>

10. Li D., Zhu F. Starch structure in developing kiwifruit, *Int J Biol Macromol.*, 120, 1306-1314 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.08.128>

11. Zhambusinova K.V. Issledovanie tekhnologicheskikh svojstv krahmala razlichnykh vidov, postupayushchih na potrebitel'skij rynek RF. [Zhambusinova K.V. Study of the technological properties of starch of various types entering the consumer market of the Russian Federation] (Chelyabinsk: YUUrGU, 2018, 77 p.) [in Russian]

12. Aralbaev A.N., Sejdahmetova Z.ZH., Aralbaj N.K. Ocenka pishchevoj i biologicheskoy cennosti kornej katrana kochi (*Crambe cochiana*) [Evaluation of fruits and biological value of the roots of crambe (*Crambe cochiana*)], *Doklady NAN RK* [Reports of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan], 2, 5-20 (2022). <https://doi.org/10.32014/2022.2518-1483.144> [in Russian]

13. Pyshmanceva, N. A., Tleceruk, I. R. Katran - novaya kormovaya kul'tura [Crambe - a new fodder crop], *Sel'skohozyajstvennyj zhurnal* [Agricultural Journal], 3(1), 164-167 (2012).

14. GOST 10845-98 Zerno i produkty ego pererabotki. Metod opredeleniya krahmala. - Mezhgosudarstvennyj sovet po standartizacii, metrologii i sertifikacii [Grain and products of its processing. Method for the determination of starch. - Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification], (BelGISS, Minsk. 2009) [In Russian].

15. GOST 29033-91. Zerno i produkty ego pererabotki. Metod opredeleniya zhira [Grain and products of its processing. Fat determination method.] (Izdatel'stvo standartov [Publishing house of standards], M., 1992) [In Russian].

16. GOST 10846-91. Zerno i produkty ego pererabotki. Metod opredeleniya belka. (Izdanie s popravkoj) - Vzamen GOST 10846-74; Vveden 1993-06-01 [Grain and products of its processing. Protein determination method. (Edition as amended) - Instead of GOST 10846-74; Introduced 1993-06-01], (Standartinform, M., 2009) [In Russian].

17. GOST 25555.4-91. Produkty pererabotki plodov i ovoshchej. Metody opredeleniya zoly i shchelochnosti obshchej i vodorastvorimoj zoly. - Ovoshchi sushenye. Tekhnicheskie usloviya. Metody analiza: Sbornik nacional'nykh standartov [Processed fruits and vegetables. Methods for determination of

ash and alkalinity of total and water-soluble ash. - Dried vegetables. Specifications. Methods of analysis: Collection of national standards] (Standartinform, M., 2011) [In Russian]

18. Zakirova A.SH., Yagofarov D.SH., Kanarskij A.V., Sidorov YU.D. Primenenie fotokolorimetriceskogo metoda dlya kolichestvennogo opredeleniya amilozy v krahmale [Application of photocolometric method for quantitative determination of amylose in starch], Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of the Kazan Technological University], 10, 195-198 (2011). [In Russian]

19. Vinokurov A.YU., Koptelova E.K., Lukin N.D., Kanarskij A.V., Vodyashkin A.A., Zabolotskij A.I. Morfologicheskie, strukturnye i reologicheskie svojstva kationirovannogo v vodnoj suspenzii krahmala [Morphological, structural and rheological properties of starch cationized in aqueous suspension], Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of the Kazan Technological University], 18(19), 135-140 (2015). [In Russian]

20. Alekseeva E.I. Fiziko-himicheskaya harakteristika sortov amaranta i ih geneticheskaya diffirenciaciya [Physico-chemical characteristics of amaranth varieties and their genetic differentiation], Trudy Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Fiziologicheskie, biohimicheskie i molekulyarnye osnovy funkcionirovaniya biosistem [Proceedings of the Belarusian State University. Series: Physiological, biochemical and molecular bases of functioning of biosystems], 2(5), 127-133 (2010). [In Russian]

21. Nemceva M.P. Reologicheskie svojstva kolloidnyh sistem: Uchebnoe posobie [Rheological properties of colloidal systems: Textbook] (Ivanovo state. chemical-technological un-t, Ivanovo, 2016, 61 p) [In Russian]

22. Strel'cova T. A., Opleuhin A. A., Menohov M. S. Issledovanie bioresursnogo potenciala novoj kollekcii kartofelya pri introdukcii v gornyj altaj: monografiya [Study of the bioresource potential of a new potato collection when introduced into the Altai Mountains: monograph] (RIO GASU, Gorno-Altai, 2014, 128 p) [In Russian]

23. Borodina Z. M., Lukin N. D., Papahin A. A., Gulakova V. A. O fermentativnoj atakuemosti razlichnyh vidov krahmala [On the enzymatic attack ability of various types of starch], Pishchevaya promyshlennost' [Food industry], 5, 27-32 (2019). <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10067> [In Russian]

24. Tregubov, N.N. Tekhnologiya krahmala i krahmaloproduktov [Technology of starch and starch products.] (Light and food. Industry, Moscow, 1981, 472 p). [In Russian]

25. Compart J, Singh A, Fettke J, Apriyanto A. Customizing Starch Properties: A Review of Starch Modifications and Their Applications // Polymers (Basel). – 2023. – T. 15. - № 16. <https://doi.org/10.3390/polym15163491>

26. Dereje B. Composition, morphology and physico chemical properties of starches derived from indigenous Ethiopian tubercrops: A review // Int J Biol Macromol. - 2021 № 187. – P. 911-921. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.07.188>

27. Perez, S., Baldwin, P.M. and Gallant, D.J. Structural Features of Starch Granules I. // Starch: Chemistry and Technology. – 2009.- № 3. P.11-21. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-746275-2.00005-7>

28. Omoregie Egharevba, H. Chemical Properties of Starch and Its Application in the Food Industry. IntechOpen. -2020 <https://doi.org/10.5772/intechopen.87777>

29. BeMiller J., Whistler R. Food Science and Technology, Starch, 2009, Third Edition. Academic Press, P. 795. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-746275-2.00020-3>

30. Evžen Š., Sinica A., Smrčková P., Sluková M. 2023. Non-Traditional Starches, Their Properties, and Applications // *Foods*, 2023.- Vol. 12. - no. 20. <https://doi.org/10.3390/foods12203794>
31. Hvylya S.I., Lapshin V.A., Koreshkov V.N. Ispol'zovanie krahmala v myasnoj promyshlennosti [The use of starch in the meat industry], Publikacii i obsuzhdeniya VNIIZ [Publications and discussions of VNIIZ], 2019, <https://vniiz.org/science/publication> (accessed 30.03.2023). [In Russian]
32. Wang L., Litao T. Production and Properties of Starch: Current Research // *Molecules*, 2024/ - Vol. 29, no. 3. <https://doi.org/10.3390/molecules29030646>
33. Santos Silveira Jr J.F., Francisco A. Unconventional Food Plants as an Alternative in Starch Production // *Cereal Foods World*, 2020. - Vol. 65, No. 2. <https://doi.org/10.1094/CFW-65-2-0018>
34. Cornejo-Ramírez, Y.I., Martínez-Cruz, O., Del Toro-Sánchez, C. L., Wong-Corral, F. J., Borboa-Flores, J., & Cinco-Moroyoqui, F. J. The structural characteristics of starches and their functional properties. // *Journal of Food*, 2018.- Vol. 16. - № 1. P. 1003–1017. <https://doi.org/10.1080/19476337.2018.1518343>
35. Alcázar-Alay S. C., Meireles M. A. A. Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources // *Food Sci. Technol, Campinas* – 2015. - 35(2): 215-236.
36. Cornejo-Ramírez Y. I., Martínez-Cruz O., Del Toro-Sánchez C.L., Wong-Corral F.J., Borboa-Flores J., Cinco-Moroyoqui F.J. The structural characteristics of starches and their functional properties // *Journal of Food*. – 2018. -№ 16. -Т. 1. – P. 1003-1017.
37. Nurul Z., Noorhafiza M., Mohd Mustafa Al Bakri A. Potential of Starch Nanocomposites for Biomedical Applications // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019.- pp. 209. 012087. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/209/1/012087>
38. Kumoro A.C., Retnowati D.S., Ratnawati R., Widiyanti M. Estimation of aqueous solubility of starch from various botanical sources using Flory Huggins theory approach // *Chemical Engineering Communications*, 2021. – Vol. 208. - №5. – P.624-635, <https://doi.org/10.1080/00986445.2019.1691539>
39. Maura B., Osman E. Behavior of starch during food preparation. II. Effects of different sugars on the viscosity and strength of starch pastes // *Journal of Food Science*, 2006. -№ 24.- P. 665 - 671. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1959.tb17319.x>

Information about authors:

Aralbaev A.N. – Master of Ecology, Lecturer at the Department of Ecology, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Zhenis Ave. 62, Astana, Kazakhstan.

Seydakhmetova Z.Zh. – Doctor of Biological Sciences, Ass. Professor of the Department of Food Biotechnology, Almaty Technological University, st. Tole bi, 100, Almaty, Kazakhstan.

Aralbaeva A.N. – Candidate of Biological Sciences, Ass. Professor of the Department of Fundamental Medicine, al Farabi Kazakh National University, st. Timirjazev, 47, Almaty, Kazakhstan.

Aralbay N.K. – Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician of KazAPN, Academician of the ACS RK, Chief researcher of SRI “Natural Science”, A.K. Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan.

Сведения об авторах:

Аралбаев А.Н. – магистр экологии, преподаватель кафедры экологии, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина, пр. Женис, 62, Астана, Казахстан.

Сейдахметова З.Ж. – доктор биологических наук, асс. профессор кафедры «Пищевая биотехнология», Алматинский технологический университет, ул. Толе би, 100, Алматы, Казахстан.

Аралбаева А.Н. – кандидат биологических наук, асс. профессор, доцент кафедры фундаментальной медицины, КазНУ имени аль-Фараби, ул. Тимирязева, 47, Алматы, Казахстан.

Аралбай Н.К. – доктор биологических наук, профессор, академик КазАПН, академик АСХН РК, ГНС НИИ «Естествознания», Международный Казахско-Турецкий университет имени Х.А. Яссауи, ул. Б. Саттарханова, 29, Туркестан, Казахстан.

Авторлар туралы мәлімет:

Аралбаев А.Н. – экология магистрі, «экология» кафедрасының оқытушысы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Жеңіс даңғылы, 62, Астана, Қазақстан.

Сейдахметова З.Ж. – биология ғылымдарының докторы, «тағам биотехнологисы» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Алматы Технологиялық Университеті, Төле би, 100, Алматы, Қазақстан.

Аралбаева А.Н. – биология ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, әл Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, нің іргелі медицина кафедрасының доценті, Тимирязев көшесі 47, Алматы, Қазақстан.

Аралбай Н.К. – биология ғылымдарының докторы, профессор, ҚазПҒА академигі, ҚРАШҒА академигі, «Жаратылыстану» ҒЗИ бас ғылыми қызметкері, Қ.А. Яссауи атындағы Халықаралық Қазақ-Түрік Университеті, Б.Саттарханов көшесі, 29, Түркістан, Қазақстан.



МРНТИ 34.29.01

<https://doi.org/10.32523/2616-7034-2024-149-4-36-49>

Научная статья

Результаты сравнительных анатомических исследований видов рода *Suaeda* Forssk. ex J.F. Gmel. аридных регионов Казахстана

С. Усен*^{1,2}, П.В. Веселова¹, Г.М. Кудабоева¹, Б.Б. Осмонали¹, К.С. Избастина^{3,4}, Д.Ш. Абдилданов^{1,2}

¹Институт ботаники и фитоинтродукции, г. Алматы, Казахстан

²Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

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

⁴Астанинский ботанический сад-филиал РГП на ПХВ «Институт ботаники и фитоинтродукции», г. Астана, Казахстан

*Автор для корреспонденции: ussen.s@mail.ru

Аннотация. В статье приводятся результаты исследования анатомических структур видов рода *Suaeda* Forssk. ex J.F. Gmel., произрастающих в аридных зонах Казахстана. Рассматриваются анатомические особенности строения листьев и стеблей следующих видов: *Suaeda altissima* (L.) Pall., *S. acuminata* (C.A. Mey.) Moq., *S. linifolia* Pall., *S. physophora* Pall. и *S. microphylla* Pall. Анатомическое строение листьев суккулентных растений, в частности, свед (*Suaeda*), значительно отличается от строения несуккулентов. Результаты изучения анатомического строения листьев перечисленных видов свидетельствуют, что, как и большинство представителей рода *Suaeda*, они относятся к типу сальзина (Salsina-type). При описании анатомических срезов были проведены биометрические исследования. Суккулентный характер галофитных представителей рода обусловлен их способностью накапливать воду в виде сока в надземной части во время сезона дождей. Это позволяет им довольно длительное время обходиться без поступления влаги извне. Влага накапливается преимущественно в стеблях или в листьях. В первом случае растения называются стеблевыми, а во втором листовыми суккулентами. Характерным признаком анатомического строения листа изучаемых видов является расположение палисадного мезофилла под покровной тканью, клетки которого имеют продолговатую форму. Актуальность изучения рода *Suaeda* обусловлена принадлежностью их к группе важных галофитных компонентов флоры как пустынных, так и степных регионов. Среди них имеются лекарственные (*Suaeda microphylla* Pall.), кормовые (*S. altissima* (L.) Pall.) растения. Виды *S. linifolia*, *S. acuminata* довольно часто сорничают и могут быть индикаторами антропогенных нарушений.

Ключевые слова: анатомия, лист, стебель, *Suaeda*, *Chenopodiaceae*, *Suaedoideae*

Получено: 02.04.2024. Рецензирование: 09.12.2024. Принято: 11.12.2024. Доступно онлайн: 20.12.2024.

Введение

Представители рода *Suaeda* Forssk. ex J.F. Gmel. семейства Chenopodiaceae Vent. (Amaranthaceae Juss.) распространены по всей Средней Азии и встречаются, как правило, в приморских галофитных сообществах. Из 40 среднеазиатских представителей рода [1-10] во флоре Казахстана насчитывается 18 видов, 15 (83%) из которых встречаются в Арало-Балхашском регионе.

Анатомическое строение листьев суккулентных растений, в частности, свед (*Suaeda*), значительно отличается от строения листа видов, не относящихся к этой экологической группе. Анатомическое строение листьев суккулентных растений, в частности, свед (*Suaeda*), значительно отличается от строения несуккулентов. Для них характерна: особая сочность (суккулентность); мясистость; повышенная прозрачность. Форма листьев таких растений обычно цилиндрическая. Это связано отчасти с обилием клеточного сока и бедностью хлорофиллом, отчасти с незначительностью размеров межклеточных пространств [2-6].

Толщина листьев обуславливается преимущественно увеличением размеров клеток мезофилла, которые делаются крупными, округлыми. В отдельных случаях внутренние клетки в результате обеднения хлорофиллом становятся очень светлыми и выполняют функцию водоносной ткани, окруженной палисадными клетками (например *Suaeda linifolia*). При этом палисадная ткань достигает значительного развития. Отдельные клетки ее удлиняются и часто происходит их поперечное деление.

У очень многих видов свед на поверхности эпидермиса присутствует восковой налет, который придает им голубоватый, тусклый цвет [7-8].

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являются виды рода *Suaeda* аридных регионов Казахстана. Материалы для анатомического среза обрабатывались в 45% спирте. Для фиксации объекта был использован гистологический парафин в специальных формах размером 15x15 мм. Поперечные срезы образцов производились с помощью «Ротационного полуавтоматического микротом» (MEDITE M530). Толщина поперечного среза составила 40 мкм. Просмотр поперечных срезов осуществлялся с использованием микроскопа Levenhuk Zoom&Joy (Китай). Снимки поперечных срезов были выполнены камерой Levenhuk D740T 5.1 с помощью программы LevenhukLite. Биометрические данные были получены также с использованием данной программы. Среднее число и стандартная ошибка биометрических данных вычислялись с помощью Microsoft Excel с использованием функции анализ данных. При описании анатомической структуры исследуемых образцов учитывались современные анатомические описания близкородственных видов [10-21].

Результаты и их обсуждение

Для проведения сравнительного анатомического анализа были выбраны пять видов рода *Suaeda*: *S. altissima*, *S. acuminata*, *S. linifolia*, *S. physophora* и *S. microphylla*. Для *Suaeda altissima* был сделан анатомический срез стебля, а для остальных четырех видов – анатомические срезы стебля и листьев.

Следует отметить, что рассматриваемые виды рода *Suaeda* относятся к разным секциям: *S. altissima*, *S. linifolia*, *S. microphylla* входят в состав секции *Schanginia*, *S. acuminata* – в секцию *Conosperma*, а *S. physophora* – в секцию *Physophora*. Род *Suaeda* (семейство *Chenopodiaceae*, подсемейство *Suaedoideae*) имеет нескольких структурных типов анатомии листа, в каждом из которых присутствуют Кранц-клетки. Основное отличие разных типов заключается в наличии или отсутствии гиподермы и других структурных единиц (водоносной ткани, кутикулы). Например, анатомическая структура листа *S. linifolia* и *S. physophora* включает: эпидермис (Е), несколько слоев палисадной мезенхимы (М) и сосудистую ткань (VB). А *S. acuminata* имеет гиподерму (Н), покрывающую кранц клеток (Кс), которая окружает сосудистые пучки центрального цилиндра. Лист *S. microphylla* имеет под мезенхимой (М) слой водоносных клеток (Wc), обуславливающих круглую форму листа.

В процессе изучения отмечено, что стебель *S. altissima* на поперечном срезе имеет округлую форму. Клетки эпидермального слоя округло-овальной формы и относительно мелкие располагаются в 1 ряд. За ним в центростремительном направлении расположен кортекс (Сх) – наружная зона стебля, сформированная периферийной частью верхушечной меристемы. Далее следует эндодерма (En) – внутренний однорядный слой плотно сомкнутых паренхимных клеток. Ее клетки имеют продолговато-овальную форму. Под ними расположены сосудистые пучки, представленные ксилемой, окружённые флоэмой. Клетки центрального цилиндра рыхлые, их ткань состоит из крупных вакуолизированных и водоносных клеток (табл. 1).

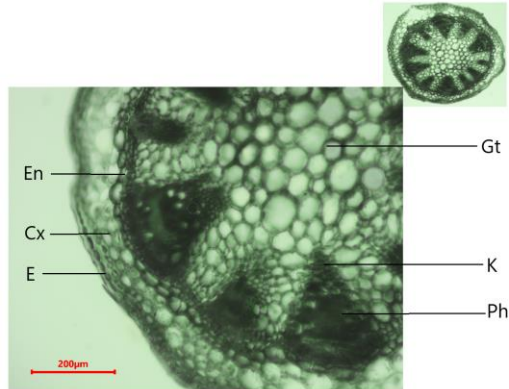
В процессе изучения отмечено, что стебель *S. altissima* на поперечном срезе имеет округлую форму. Клетки эпидермального слоя округло-овальной формы и относительно мелкие располагаются в 1 ряд. За ним в центростремительном направлении расположен кортекс (Сх) – наружная зона стебля, сформированная периферийной частью верхушечной меристемы. Далее следует эндодерма (En) – внутренний однорядный слой плотно сомкнутых паренхимных клеток. Ее клетки имеют продолговато-овальную форму. Под ними расположены сосудистые пучки, представленные ксилемой, окружённые флоэмой. Клетки центрального цилиндра рыхлые, их ткань состоит из крупных вакуолизированных и водоносных клеток.

S. linifolia так же, как и предыдущий вид, относимая к секции *Schanginia*, имеет аналогичное анатомическое строение стебля. Поперечный срез листа показал, что продолговато-овальные клетки его эпидермы, относительно более крупные, чем у других сравниваемых видов, располагаются в 1 ряд. За ней представлен палисадный мезофилл (PM), после которого следует слой водоносных клеток (Wc), окружающего проводящих пучки (VB).

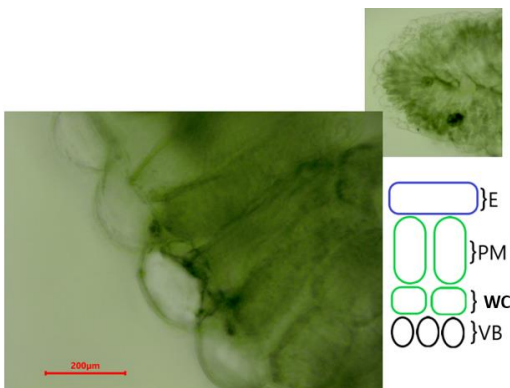
Таблица 1

Анатомическое строение слоев тканей листьев и стебля видов рода *Suaeda*

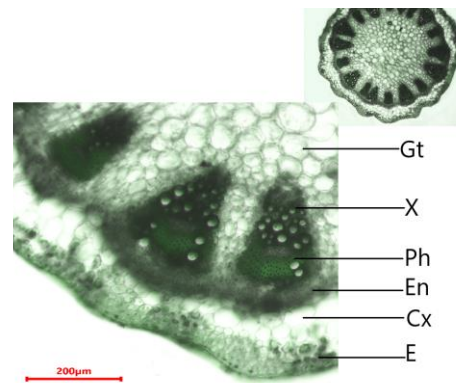
Секция *Schanginia*



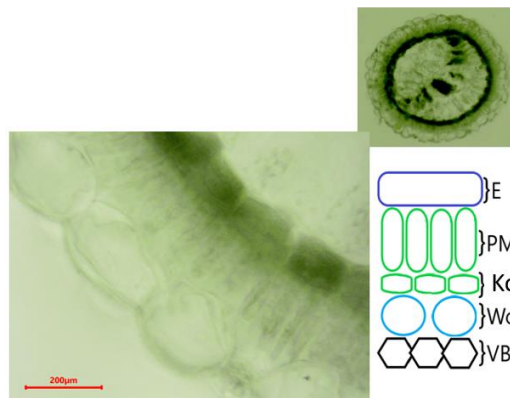
Поперечный срез стебля *Suaeda altissima*



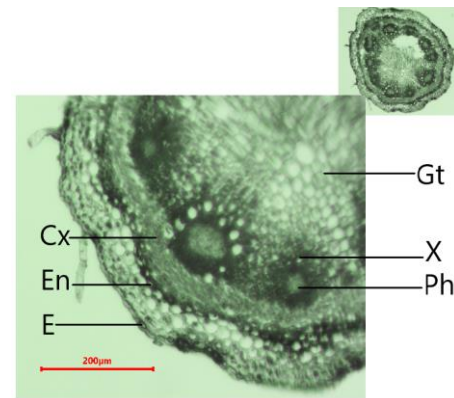
Поперечный срез листа и схема расположения клеток *Suaeda linifolia*



Поперечный срез стебля *Suaeda linifolia*

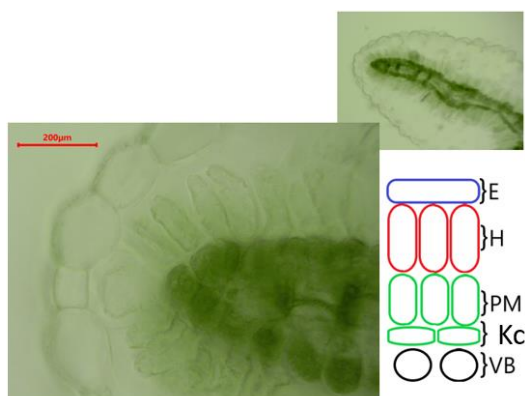


Поперечный срез листа и схема расположения клеток *Suaeda microphylla*

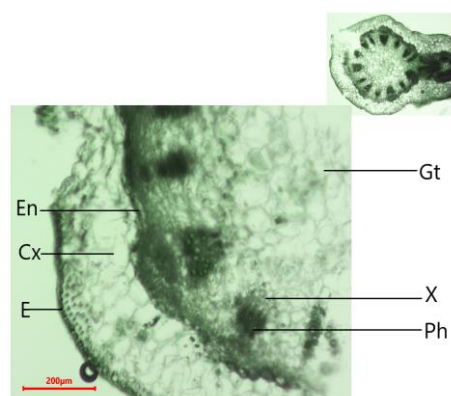


Поперечный срез стебля *Suaeda microphylla*

Секция *Conosperma*

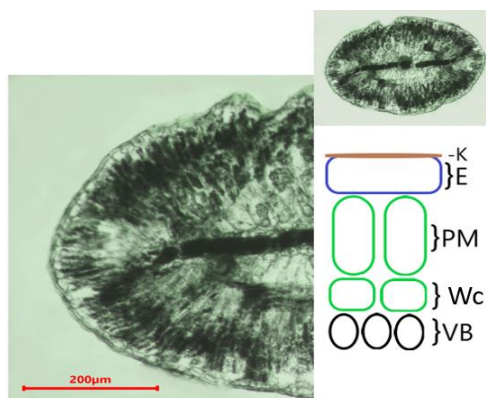


Поперечный срез листа и схема расположения клеток *Suaeda acuminata*

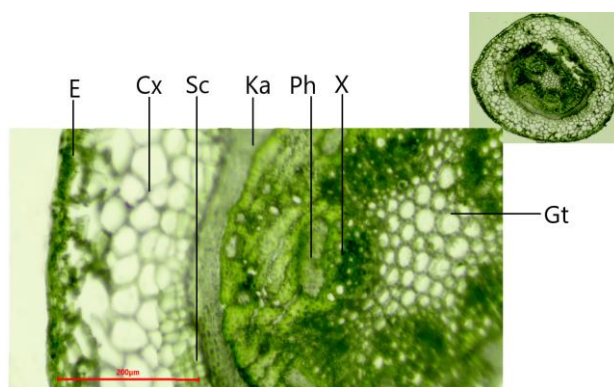


Поперечный срез стебля *Suaeda acuminata*

Секция *Physophora*



Поперечный срез листа и схема расположения клеток *Suaeda physophora*



Поперечный срез стебля *Suaeda physophora*

Обозначение: E – эпидерма; En – эндодерма; PM – палисадный мезофилл; VB – проводящие пучки; H – гиподерма; Wc – водоносная ткань; K – кутикула; Cx – кора (кортекс); Sc – склеренхима; Kc – кранц клетки; Ka – колленхима; Ph – флоэма; X – ксилема; Gt – основная ткань центрального цилиндра, состоящая из измельченной колленхимы, склеренхимы и паренхимы.

Аналогичное строение листа наблюдается у *S. microphylla*, клетки эпидермы которого также продолговато-овальной формы, крупных размеров (как у *S. linifolia*), расположенных в 1 ряд. За эпидермальным слоем следует палисадный мезофилл (PM) с более продолговатыми, чем у остальных видов, клетками, и один слой плотно расположенного кранц-клеток (Kc). Отличия в строении листа *S. microphylla* заключается в расположении проводящих пучков (VB) в виде четкого полукольца. Центральный цилиндр состоит из

водоносных клеток, расположенных по обе стороны от проводящих сосудов полукольца. В поперечном срезе стебля этого вида хорошо выражен слой склеренхимы, окружающий проводящие сосуды и центральную паренхиму. У кустарникового вида, которым является *S. microphylla*, склеренхима выполняет роль стеблевого каркаса. Кроме того, эпидермис стебля несет многоклеточные волоски.

Основное отличие строения сравнительно плоских листьев *S. acuminata* от других изучаемых видов состоит в хорошо выраженном слое гиподермы (Н), расположенном под эпидермой (Е). Далее следуют: палисадный мезофилл (РМ) и слой кранц клеток (Кс), окружающий проводящие пучки (VB). В строении стебля следует обратить внимание на кортекс, клетки которого у *S. acuminata* сравнительно большие и составляют несколько рядов.

Вид *S. physophora* (секция *Physophora*) имеет аналогичную *S. linifolia* структуру строения листа. Отличие состоит в наличии у рассматриваемого вида однорядных вытянутых вдоль эпидермиса клеток кутикулы (К). Каркасную функцию в стебле этого вида, как и у других кустарников этого рода, выполняют слой склеренхимы (Sc) и несколько рядов клеток колленхимы (Ко).

Таблица 2

Биометрические данные слоев тканей стебля видов рода *Suaeda*

Виды	Е	Сх	Sc	Ка	En	Ph	X	Gt
<i>Suaeda altissima</i>	24,4 ±0,7	65,3 ±3,8	-	-	21,84 ±2,3	33,7 ±2,8	17,7 ±1,2	267,3 ±7,3
<i>Suaeda linifolia</i>	19,6 ±0,9	120,3 ±6,67	-	-	-	55,6 ±4,2	22,3 ±1,9	290,8 ±7,3
<i>Suaeda microphylla</i>	11,8 ±0,5	55,2 ±2,7	47,9 ±2,5	-	10,8 ±0,4	26,8 ±1,7	18,6 ±0,8	202,3 ±5,7
<i>Suaeda acuminata</i>	17,7 ±1,5	214,1 ±2,4	-	-	20,1 ±1,5	22,6 ±1,3	10,4 ±0,64	431,5 ±8,6
<i>Suaeda physophora</i>	32,8 ±2,1	120,3 ±4,9	43,5 ±2,6	41,5 ±1,5	-	33,8 ±3,1	9,1 ±0,8	92,3 ±3,3

где: Е – эпидерма; En – эндодерма; РМ – палисадный мезофилл; VB – проводящие пучки; Н – гиподерма; Sc – водоносная ткань; К – кутикула; Сх – первичная кора (кортекс); Sc – склеренхима; Кс – кранц клетки; Ка – колленхима; Ph – флоэма; X – ксилема; Gt – основная ткань центрального цилиндра, состоящая из измельченной колленхимы, склеренхимы и паренхимы.

При описании анатомических срезов листьев и стеблей были проведены биометрические исследования. Из данных таблицы 2 следует, что размеры эпидермиса стеблей изучаемых видов могут варьировать от 11,8 мкм до 32,8 мкм, в то время как слой клеток центрального цилиндра может достигать до 431,5±8,6 мкм (*Suaeda acuminata*). Есть различия и в размерах клеток проводящих пучков. Так, например, среднестатистический размер клеток флоэмы *Suaeda linifolia* составляет 55,6±4,2 мкм, а клеток ксилемы

22,3±1,9 мкм. В строении стебля многолетних свед имеется слой склеренхимы (*Suaeda microphylla* и *S. physophora*) и колленхимы (*S. physophora*), каждый из которых может достигать размера 47,9 мкм.

Анатомическое строение листьев отличается от строения стебля, причем размер клеточных слоев зависит от выполняемой функции. Например, максимальный размер эпидермиса – покровного слоя, расположенного в один ряд, может достигать 36,6±1,2 мкм. Кранц клетки по строению и размеру очень схожи с клетками эпидермиса и достигают 59,3±2,5 мкм толщины. Размер проводящих пучков (в зависимости от их расположения в листовой пластинке и от природы листа) может варьировать от 14,5±0,7 (*Suaeda acuminata*) до 69,3±3,7 мкм (*Suaeda microphylla*). Гиподерма и водоносная ткань отвечают за накопление воды в клетке, поэтому размер их слоев больше других (Н – 138,4±7,3 мкм и Wc – 187,3±12,2 мкм). При анатомическом исследовании рода *Suaeda* однорядная кутикула, покрывающая эпидермис, отмечена только у *Suaeda physophora* которая образует один ряд (около 3,6±0,3 мкм шириной) (табл. 3).

Таблица 3

Биометрические данные слоев тканей листьев виды рода *Suaeda*

Виды	К	Е	PM	Кс	VB	Wc	Н
<i>Suaeda linifolia</i>	-	23,5 ±1,7	109,9 ±5,6	34,2 ±1,8	30,7 ±2,5	-	-
<i>Suaeda microphylla</i>	-	37,4 ±2,5	43,2 ±1,5	22,9 ±1,3	69,3 ±3,7	187,3 ±12,2	-
<i>Suaeda acuminata</i>	-	36,6 ±1,2	71,1 ±2,5	17,4 ±0,9	14,5 ±0,7	-	138,4 ±7,3
<i>Suaeda physophora</i>	3,6 ±0,3	13,7 ±0,6	108,2 ±3,5	59,3 ±2,5	28,3 ±1,07	-	-

где: Е – эпидерма; Еп – эндодерма; PM – палисадный мезофилл; VB – проводящие пучки; Н – гиподерма; Wc – водоносная ткань; К – кутикула; Кс – кранц клетки;

Выводы

Результаты изучения анатомического строения листьев видов: *Suaeda acuminata*, *S. linifolia*, *S. physophora* и *S. microphylla* свидетельствуют, что, как и большинство представителей рода *Suaeda*, они относятся к типам сальзина (*Salsina-type*) и кориспермоид (*Corispermoid-type*). Первый из них характеризуется наличием одного ряда палисадной водоносной паренхимы и кранц клеток, а также периферическими сосудистыми пучками, расположенными в форме полукольца в центре листа. Для второго типа характерно наличие частокольной паренхимы по обе стороны листа и водоносных клеток в средней части. Анатомическая структура некоторых видов отличается от типичного строения наличием гиподермы в листьях или друз под слоем

покровной ткани. Имеются различия строения и на морфологическом уровне (наличие щетинок и др.). Характерным признаком анатомического строения листа изучаемых видов является расположение палисадного мезофилла под покровной тканью, клетки которого имеют продолговатую форму. Они расположены плотно, как правило, в один, иногда в два ряда, а под ними находятся Kranz клетки. Крупные клетки центрального цилиндра водоносной паренхимы имеют округлую форму. Отмечено, что внутренние клетки более бледные из-за отсутствия хлорофилла или наличия его в незначительном количестве. Анатомическая структура стебля изучаемых видов схожа. Отличия имеются только у многолетних кустарников, клетки склеренхимы и колленхимы которых расположены в несколько рядов.

Финансирование

Исследования выполнены в рамках НТП BR23591088 «Создание Кадастра растений Улытауской области как реализация задач Закона РК «О растительном мире» для устойчивого использования ботанических ресурсов региона» (2024–2026) (научный руководитель проекта – к.б.н. Веселова П.В.).

Вклад авторов

Усен С.: разработка концепции, проведение исследования, подготовка и редактирование текста.

Веселова П.В., Кудабаяева Г.М.: редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи для публикации.

Осмонали Б.Б.: проведение исследования, написание текста.

Избастина К.С.: разработка концепции, проведение исследования.

Абдилданов Д.Ш.: разработка концепции, редактирование текста.

Список литературы

1. Barykina R.P., Chubatova N.V. Large workshop on ecological anatomy of flowering plants. M. Tov. nauch. – 2005. – С. 77.
2. Butnik A.A., Ashurmetov O.A., Nigmanova R.N., Payzieva S.A. Ecological anatomy of desert plants in Central Asia. (Half-shrubs, shrubs). Tashkent: Fan – 2001. – Vol. 2. – P. 132.
3. Butnik A.A., Yusupova D.M. Kranz cell size in the family Chenopodiaceae Vent. // Actual problems of ecology of plants. Materials republics. Conf. Tashkent, 2012. – P. 52-55.
4. Carolin R.C., Jacobs S.W.L., Vesik M. Leaf structure in Chenopodiaceae. // Jour. Bot. Jahrb. Syst. – 1975. – Vol. 95 – P. 226-255.
5. Esau K. Anatomy of seed plants. M.: Mir, I. – 1980. – 558 p.
6. Fisher D.D., Schenk H.Y., Jhorsch Y.A., Ferren W.R. Leaf anatomy and Subdenerica affiliations in C3 and C4 species of *Suaeda* (Chenopodiaceae) in North America // American jour. of Botany. – 1997. – Vol. 84 (9). – P. 1198-1210.
7. Freitag H., Kadereit G. C3 and C4 leaf anatomy types in Camphorosmeae (Camphorosmoideae, Chenopodiaceae) // Jour. Plant Syst. Evol.: Springer-Verlag, Wien. – 2013. – Vol. 299(8) – P. 121-132.
8. Freitag H., Stichler W. *Bienertia cycloptera* Bunge ex Boiss., Chenopodiaceae, another C4 Plant without Kranz Tissues // Jour. Plant boil.: Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York. – 2002. – Vol. 4(1). P. 121-132.

9. Иванова Н.А., Музычко Л.М. Анатомическое строение листьев у растений на засоленных почвах // Вестник Нижневартовского государственного университета. – 2013. – № 3. – С. 3–8.
10. Поляков П.П., Голоскоков В.П. Род *Suaeda* (Chenopodiaceae) // Флора Казахстана. Т. III. – Алма-Ата, 1960. – С. 262–273.
11. Тайсумов М.А., Абду А.С., Магомадова Р.С., Астамиров М. А. Классификация галофитов терско-кумской низменности по анатомо-физиологическим признакам // Вестник Академии наук Чеченской Республики, 2014. – №1(22). – С. 35–46.
12. Самофалов И.Е., Литвиненко Ю.А., Бурашева Г. Ш. Фитохимическое исследование надземной части сведы мелколистной (*Suaeda microphylla*) // Лікарське рослинництво: від досвіду минулого до новітніх технологій: матеріали другої Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції.–Полтава. – 2012. – 161 с.
13. Masters D.G., Rintoul A. J., Dynes R. A., Pearce K. L., & Norman, H. C. Feed intake and production in sheep fed diets high in sodium and potassium // Australian Journal of Agricultural Research. – 2005. – Т. 56. – №. 5. – С. 427-434.
14. Wang Q., He D., Zhang X., Cheng Y., Sun Y., & Zhu J. Insight into bacterial and archaeal community structure of *Suaeda altissima* and *Suaeda dendroides* rhizosphere in response to different salinity level // Microbiology Spectrum. – 2024. – Vol. 12. – №. 1. – P. 23. <https://doi.org/10.1128/spectrum.01649-23>
15. Веселова П. В., Кудабаева Г. М., Муратова Н. Р., Дегтярева О. В. Видовой состав залежей рисовых чеков Кызылординской области (Южный Казахстан) // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии: сборник научных статей по материалам XVI международной научно-практической конференции. - Барнаул. – 2017. – С. 5-8.
16. Wang X. et al. Genus *Suaeda*: Advances in phytology, chemistry, pharmacology, and clinical application (1895–2021) // Pharmacological Research. – 2022. – Vol. 179. – P. 106203. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2022.106203>
17. Mohammed H. A. The valuable impacts of halophytic genus *Suaeda*; nutritional, chemical, and biological values // Medicinal Chemistry. – 2020. – Vol. 16. – №. 8. – P. 1044-1057. <https://doi.org/10.2174/1573406416666200224115004>
18. Altay V., Ozturk M. The genera *Salsola* and *Suaeda* (Amaranthaceae) and their value as fodder // Handbook of Halophytes: From Molecules to Ecosystems towards Biosaline Agriculture. – 2020. – P. 1-12. https://doi.org/10.1007/978-3-030-17854-3_97-1
19. Yu, W., Wu, W., Zhang, N., Wang, L., Wang, Y., Wang, B., ... & Wang, Y. Research advances on molecular mechanism of salt tolerance in *Suaeda* // Biology. – 2022. – Vol. 11. – №. 9. – P. 1273. <https://doi.org/10.3390/biology11091273>
20. Alshegaihi R. M. The complete chloroplast genome of the halophyte flowering plant *Suaeda monoica* from Jeddah, Saudi Arabia // Molecular Biology Reports. – 2024. – Vol. 51. – №. 1. – P. 60. <https://doi.org/10.1007/s11033-023-09069-x>
21. Zhang Y., Wang H., Zhang X., Feng Z., Liu J., Wang Y., Liu L. Effects of salt stress on the rhizosphere soil microbial communities of *Suaeda salsa* (L.) Pall. in the Yellow River Delta // Ecology and Evolution. – 2024. – Vol. 14. – №. 9. – P.15. <https://doi.org/10.1002/ece3.70315>

22. Ussen S., Vesselova P. V., Kudabayeva G. M., Kurmanbayeva M. S., Osmonali B. B. Species *Suaeda* Forssk. of the Aral-Balkhash region flora in the collections of the Herbarium (AA) //Bulletin of the Karaganda University "Biology medicine geography Series". – 2024. – Vol. 11429. – №. 2. – P. 76-85. DOI: <https://doi.org/10.31489/2024bmg2/76-85>

С. Үсен^{1,2}, П.В. Веселова¹, Г.М. Кудабаяева¹, Б.Б. Осмонали^{1,2},
К.С. Избастина^{3,4}, Д.Ш. Абдилданов^{1,2}

¹Ботаника и фитоинтродукция Институты, Алматы қ., Қазақстан

²эл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы қ., Қазақстан

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

⁴Астана ботаникалық бағы-филиал, Ботаника и фитоинтродукция Институты,
Астана қ., Қазақстан

Қазақстанның шөлді өңірлерінің *Suaeda* Forssk. ex J. F. Gmel. тұқымдас түрлерінің салыстырмалы анатомиялық құрылысын зерттеу нәтижелері

Аңдатпа. Мақалада Қазақстанның құрғақаймақтарында өсетін *Suaeda* Forssk ex J. F. Gmel. туыс түрлерінің анатомиялық құрылымдарын зерттеу нәтижелері келтірілген. Келесі түрлердің жапырақтары мен сабақтарының құрылымының анатомиялық ерекшеліктері қарастырылады: *Suaeda altissima* (L.) Pall., *S. acuminata* (C.A. Mey.) Moq., *S. linifolia* Pall., *S. physophora* Pall. және *S. microphylla* Pall. Шырынды өсімдіктердің жапырақтарының анатомиялық құрылымы, атап айтқанда, шырынды (*Suaeda*), шырынды емес құрылымынан айтарлықтай ерекшеленеді. Оларға тән: ерекше шырындылық; етті; жапырақ жасушаларындағы мөлдірліктің жоғарылауы. Мұндай өсімдіктердің жапырақ пішіні әдетте цилиндр тәрізді келеді. Аталған түрлердің жапырақтарының анатомиялық құрылымын зерттеу нәтижелері *Suaeda* туысының көптеген өкілдері сияқты, олар сальзина (*Salsina-type*) типіне жататындығын көрсетеді. Сабақтардың анатомиялық құрылымы нақты түрлердің тіршілік формасы мен экологиясына байланысты. Палисадты мезофилдің жасушалары ұзын пішінді жабын тінінің астында орналасуы зерттелетін түрлердің жапырақтарының анатомиялық құрылысының сипатты белгісі болып табылады. Жапырақтар мен сабақтардың анатомиялық кесінділерін сипаттау кезінде биометриялық зерттеулер жүргізілді. Туыстың галофит өкілдерінің суккуленттік сипаты олардың жаңбыр маусымы кезінде жер бетіндегі бөлігінде шырын түріндегі суды жинақтау қабілетіне байланысты. Бұл оларға ұзақ уақыт бойы сырттан ылғал түспей тұруға мүмкіндік береді. Ылғал көбінесе сабақтарда немесе жапырақтарда жиналады. *Suaeda* тұқымын зерделеудің өзектілігі олардың флораның маңызды галофиттік компоненттері тобына, шөлді де, далалы да өңірлерге жататындығына негізделген. Олардың ішінде дәрілік (*Suaeda microphylla* Pall.), азықтық (*S. altissima* (L.) Pall.) өсімдіктер бар. *S. linifolia*, *S. acuminata* түрлері жиі кездеседі және антропогендік бұзылулардың индикаторлары болуы мүмкін.

Түйін сөздер: анатомия, жапырақ, сабақ, *Suaeda*, *Chenopodiaceae*, *Suaedoideae*

**S. Ussen^{1,2}, P.V. Vesselova¹, G.M. Kudabayeva¹, B.B. Osmonali^{1,2},
K.S. Izbastina^{3,4}, D.Sh. Abdildanov^{1,2}**

¹*Institute of Botany and Phytointroduction, Almaty, Kazakhstan*

²*Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*

³*Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, Kazakhstan*

⁴*Astana Botanical Garden - Branch of RGP on PCV Institute of Botany and Phytointroduction*

Results of comparative anatomical studies species of the genus Suaeda Forssk. ex J.F.Gmel. of arid regions of Kazakhstan

Abstract. The article presents the results of the study of anatomical structures of species of the genus *Suaeda* Forssk. ex J.F. Gmel. growing in arid zones of Kazakhstan. Anatomical features of leaf and stem structure of the following species are considered: *Suaeda altissima* (L.) Pall., *S. acuminata* (C.A. Mey.) Moq., *S. linifolia* Pall., *S. physophora* Pall. and *S. microphylla* Pall. The anatomical structure of leaves of succulent plants, in particular *Suaeda*, differs significantly from that of non-succulents. The shape of leaves of such plants is usually cylindrical. The results of studying the anatomical structure of leaves of the listed species indicate that, like most representatives of the genus *Suaeda*, they belong to the Salsina-type. Biometric studies were carried out while describing anatomical sections of leaves and stems. The succulent nature of halophytic representatives of the genus is due to their ability to accumulate water in the form of juice in the above-ground part during the rainy season. This allows them to do without moisture from the outside for quite a long time. Moisture accumulates mainly in the stems or leaves. In the first case, the plants are called stem plants, and in the second, leaf succulents. The relevance of the study of the genus *Suaeda* is due to their belonging to the group of important halophytic components of the flora of both desert and steppe regions. Among them there are medicinal (*Suaeda microphylla* Pall.), fodder (*S. altissima* (L.) Pall.) plants. Species *S. linifolia*, *S. acuminata* quite often weed and can be indicators of anthropogenic disturbances.

Keywords: anatomy, leaf, stem, *Suaeda*, *Chenopodiaceae*, *Suaedoideae*

References

1. Barykina R.P., Chubatova N.V. Large workshop on ecological anatomy of flowering plants. M. Tov. nauch. (KMK., 2005, P. 77).
2. Butnik A.A., Ashurmetov O.A., Nigmanova R.N., Payzieva S.A. Ecological anatomy of desert plants in Central Asia. (Half-shrubs, shrubs). Tashkent: Fan (2001, 2, P. 132).
3. Butnik A.A., Yusupova D.M. Kranz cell size in the family Chenopodiaceae Vent. // Actual problems of ecology of plants. Materials republics. Conf. Tashkent, 52-55 (2012).
4. Carolin R.C., Jacobs S.W.L., Veski M. Leaf structure in Chenopodiaceae. // Jour. Bot. Jahrb. Syst. 226-255, (1975).
5. Esau K. Anatomy of seed plants. M.: Mir, I. (1980. 558 p.).
6. Fisher D.D., Schenk H.Y., Jhorsch Y.A., Ferren W.R. Leaf anatomy and Subdenerica affiliations in C3 and C4 species of *Suaeda* (Chenopodiaceae) in North America // American jour. of Botany, 84 (9), 1198-1210, (1997).

7. Freitag H., Kadereit G. C3 and C4 leaf anatomy types in Camphorosmeae (Camphorosmoideae, Chenopodiaceae) // Jour. Plant Syst. Evol.: Springer-Verlag, Wien., 299(8), 121-132 (1997).
8. Freitag H., Stichler W. Bienertia cycloptera Bunge ex Boiss., Chenopodiaceae, another C4 Plant without Kranz Tissues // Jour. Plant boil.: Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York., 4(1), P. 121-132, (2002).
9. Ivanova N.A., Muzychko L.M. Anatomicheskoe stroenie listev u rastenij na zasolennykh pochvakh Vestnik Nizhnevartovskogo gosudarstvennogo universiteta [Anatomical structure of leaves in plants on saline soils // Bulletin of Nizhnevartovsk State University.]. 3-8, (2013). [in Russian]
10. Polyakov P.P., Goloskokov V.P. Genus Suaeda (Chenopodiaceae) // Flora Kazakhstana. T. III. – Alma-Ata. [The genus Suaeda (Chenopodiaceae) // Flora of Kazakhstan. Vol. III. - Alma-Ata,], P. 77 (1997). [in Russian]
11. Tajsumov M.A., Abdu A.S., Magomadova R.S., Astamirov M.A. Klassifikacziya galofitov tersko-kumskoj nizmennosti po anatomo-fiziologicheskim priznakam // Vestnik Akademii nauk Chechenskoj Respubliki [Classification of halophytes of the Tersko-Kumskaya lowland by anatomo-physiological features // Bulletin of the Academy of Sciences of the Chechen Republic]. 1(22), P. 35–46, (2014). [in Russian]
12. Samofalov I.E., Litvinenko Yu.A., Burasheva G.Sh. Fitokhimicheskoe issledovanie nadzemnoj chasti svedy melkolistnoj (*Suaeda microphylla*) // Likarske roslinnicztvo: vi`d dosvi`du minulogo do novi`tni`kh tekhnologi`j: materi`ali drugoyi Mi`zhnarodnoyi naukovо–praktichnoyi i`nternet–konferencziyi [Phytochemical study of the aerial part of *Suaeda microphylla* // Medicinal plant growing: from past experience to the latest technologies: materials of the second International scientific and practical Internet conference], 161, (2012). [in Ukrainian]
13. Masters D.G., Rintoul A.J., Dynes R.A., Pearce K.L., Norman H.C. Feed intake and production in sheep fed diets high in sodium and potassium // Australian Journal of Agricultural Research., T. 56., P. 427-434, (2005).
14. Wang Q., He D., Zhang X., Cheng Y., Sun Y., Zhu, J. Insight into bacterial and archaeal community structure of *Suaeda altissima* and *Suaeda dendroides* rhizosphere in response to different salinity level. Microbiology Spectrum, 12(1), e01649-23, (2024).
15. Vesselova P.V., Kudabaeva G.M., Muratova N.R., Degtyareva O.V. Vidovoj sostav zalezhej risovykh chekov Kyzylordinskoj oblasti (Yuzhnyj Kazakhstan) // Problemy botaniki Yuzhnoj Sibiri i Mongolii. Sbornik nauchnyj statej po materialam XVI mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferenczii, Barnaul [Species composition of rice check deposits in Kyzylorda region (South Kazakhstan) // Problems of botany of South Siberia and Mongolia. Collection of scientific articles on the materials of XVI international scientific-practical conference, Barnaul.]. – P. 5-8 (9), (2007). [in Russian]
16. Wang Q., He D., Zhang X., Cheng Y., Sun Y., Zhu J. Insight into bacterial and archaeal community structure of *Suaeda altissima* and *Suaeda dendroides* rhizosphere in response to different salinity level. Microbiology Spectrum, 12(1), e01649-23, (2024). <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2022.106203>
17. Mohammed H.A., Mohammed H.A. The valuable impacts of halophytic genus *Suaeda*; nutritional, chemical, and biological values. Medicinal Chemistry, 16(8), 1044-1057, (2020). <https://doi.org/10.2174/1573406416666200224115004>
18. Altay V., Ozturk M. The genera *Salsola* and *Suaeda* (Amaranthaceae) and their value as fodder. Handbook of Halophytes: From Molecules to Ecosystems towards Biosaline Agriculture, 1-12, (2020). https://doi.org/10.1007/978-3-030-17854-3_97-1

19. Yu W., Wu W., Zhang N., Wang L., Wang Y., Wang B., Wang Y. Research advances on molecular mechanism of salt tolerance in Suaeda. *Biology*, 11(9), 1273, (2022). <https://doi.org/10.3390/biology11091273>

20. Alshegaihi R.M. The complete chloroplast genome of the halophyte flowering plant Suaeda monoica from Jeddah, Saudi Arabia. *Molecular Biology Reports*, 51(1), 60, (2024). <https://doi.org/10.1007/s11033-023-09069-x>

21. Zhang Y., Wang H., Zhang X., Feng Z., Liu J., Wang Y., Liu L. Effects of salt stress on the rhizosphere soil microbial communities of Suaeda salsa (L.) Pall. in the Yellow River Delta. *Ecology and Evolution*, 14(9), e70315, (2024). <https://doi.org/10.1002/ece3.70315>

22. Ussen S., Vesselova P. V., Kudabayeva G. M., Kurmanbayeva M.S., Osmonali B.B. Species Suaeda Forssk. of the Aral-Balkhash region flora in the collections of the Herbarium (AA). *Bulletin of the Karaganda University "Biology medicine geography Series"*, 11429(2), 76-85, 2024.

About the Authors:

Ussen S. – PhD student of Geobotany, Department of Biodiversity and Bioresources, Faculty of Biology and Biotechnology of the Al-Farabi Kazakh National University, st. Timiryazeva 71, Almaty, Kazakhstan; junior researcher of the Laboratory of Flora and Higher Plants of the Institute of Botany and Phytointroduction, st. Timiryazeva 36 D, Almaty, Kazakhstan.

Vesselova P.V. – Candidate of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Flora and Higher Plants of the Institute of Botany and Phytointroduction, st. Timiryazeva 36 D, Almaty, Kazakhstan.

Kudabayeva G.M. – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Flora and Higher Plants of the Institute of Botany and Phytointroduction, st. Timiryazeva 36 D, Almaty, Kazakhstan.

Osmonali B.B. – PhD Head of the Vegetation Inventory Laboratory of the Institute of Botany and Phytointroduction, st. Timiryazeva 36 D, Almaty, Kazakhstan.

Izbastina K.S. – PhD, acting associate professor of the Kazakh Agrotechnical University named after S. Seifullin, ave. Zhenis 62, Astana, Kazakhstan; Senior researcher of the Astana Botanical Garden - a branch of the RSE on the REM of the Institute of Botany and Phytointroduction, st. Orynbor, 16, Astana, Kazakhstan.

Abdildanov D.Sh. – PhD student of Geobotany, Department of Biodiversity and Bioresources, Faculty of Biology and Biotechnology of the Al-Farabi Kazakh National University, st. Timiryazeva 71, Almaty, Kazakhstan; junior researcher of the Laboratory of Flora and Higher Plants of the Institute of Botany and Phytointroduction, st. Timiryazeva 36 D, Almaty, Kazakhstan.

Сведения об авторах:

Усен С. – докторант по специальности «Геоботаника», кафедры биоразнообразия и биоресурсов, факультет биологии и биотехнологии, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, ул. Тимирязева, 71, Алматы, Казахстан; младший научный сотрудник лаборатории флоры высших растений Института ботаники и фитоинтродукции, ул. Тимирязева, 36Д, Алматы, Казахстан.

Веселова П.В. – кандидат биологических наук, заведующая лабораторией флоры высших растений Института ботаники и фитоинтродукции, ул. Тимирязева, 36Д, Алматы, Казахстан.

Кудабаета Г.М. – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории флоры высших растений Института ботаники и фитоинтродукции, ул. Тимирязева, 36Д, Алматы, Казахстан.

Осмонали Б.Б. – PhD заведующий лабораторией кадастра растительного мира, ул. Тимирязева, 36Д, Алматы, Казахстан.

Избастина К.С. – PhD, и.о. ассоциированного профессора, Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, просп. Женис, 62, Астана, Казахстан; старший научный сотрудник Астанинского ботанического сада – филиала РГП на ПХВ «Института ботаники и фитоинтродукции», ул. Орынбор, 16, Астана, Казахстан.

Абдилданов Д.Ш. – докторант по специальности «Геоботаника», кафедра биоразнообразия и биоресурсов, факультет биологии и биотехнологии, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, ул. Тимирязева, 71, Алматы, Казахстан; младший научный сотрудник лаборатории флоры высших растений Института ботаники и фитоинтродукции, ул. Тимирязева, 36Д, Алматы, Казахстан.

Авторлар туралы мәліметтер:

Үсен С. – Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ биология және биотехнология факультеті, нің биоәртүрлілік және биоресурстар кафедрасының геоботаника докторанты, Тимирязева көш., 71, Алматы, Қазақстан; Ботаника және фитоинтродукция институты жоғары өсімдіктер флорасы зертханасының кіші ғылыми қызметкері, Тимирязева көш., 36 Д, Алматы, Қазақстан.

Веселова П.В. – биология ғылымдарының кандидаты, Ботаника және фитоинтродукция институты Жоғары өсімдіктер флорасы зертханасының меңгерушісі, Тимирязева көш., 36 Д, Алматы, Қазақстан.

Құдабаева Г.М. – биология ғылымдарының кандидаты, Ботаника және фитоинтродукция институты Жоғары өсімдіктер флорасы зертханасының жетекші ғылыми қызметкері, Тимирязева көш., 36 Д, Алматы, Қазақстан.

Осмонали Б.Б. – PhD Өсімдік кадастры зертханасының меңгерушісі, Тимирязева көш., 36 Д, Алматы, Қазақстан.

Избастина Қ.С. – PhD, актерлік шеберлік атындағы С.Сейфуллина атындағы Қазақ агротехникалық университетінің доценті, Жеңіс даңғ. 62, Астана, Қазақстан; Астана ботаникалық бағының аға ғылыми қызметкері – Ботаника және фитоинтродукция институты жанындағы РМК филиалы, Орынбор көш., 16, Астана, Қазақстан.

Әбділданов Д.Ш. – Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ биология және биотехнология факультетінің биоәртүрлілік және биоресурстар кафедрасы геоботаника мамандығының докторанты, Тимирязева көш., 71, Алматы, Қазақстан; Ботаника және фитоинтродукция институты жоғары өсімдіктер флорасы зертханасының кіші ғылыми қызметкері, Тимирязева көш., 36 Д, Алматы, Қазақстан.



IRSTI 34.15.25, 34.15.01

<https://doi.org/10.32523/2616-7034-2024-149-4-50-62>

Review article

The role of small RNAs under abiotic stress in plants

A. Samat¹, K. Zhanassova¹, A. Soltabayeva², K. Syzdyk^{1,3}, A. Akbassova¹,
S. Zhangazin¹, A. Bekturova¹, M. Beisekova¹, R. Yermukhambetova¹,
Zh. Nurbekova¹, Zh. Masalimov^{1*}, A. Kurmanbayeva^{1*}

¹Department of Biotechnology and Microbiology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

²Biology Department, School of Science and Humanities, Nazarbayev University, Astana, Kazakhstan

³LTD "SRI Biosence", Astana, Kazakhstan

*Corresponding authors: kurmanbayeva.assylay@gmail.com and massalimov@gmail.com

Abstract. Small RNAs (sRNA) play an essential role in the epigenetic modulation of the genome. They are implicated in numerous processes, encompassing factors that mitigate both abiotic and biotic stressors. Notable among these are heat shock proteins (HSP), enzymes involved in reactive oxygen species (ROS) scavenging, and nuclear factor Y (NF-Y). Molecularly, sRNAs are characterized by sequences of approximately 21–23 nucleotides in length. Based on contemporary understandings in plant science, numerous abiotic constraints have the potential to curtail crop yield, growth, and reproductive potential in plants. These constraints exert their deleterious effects by undermining cellular homeostasis, perturbing ionic equilibrium, and impinging upon essential physiological processes. However, evolution has endowed certain plant species with the ability to adapt to elevated thermal conditions through the nuanced regulation of genes and proteins, notably heat shock factors (HSF) and HSP. While there has been an incremental growth in literature concerning microRNA (miRNA) functionality in plants, the emergent targets of miRNA and their intricate relationship with the HSF-HSP complex remain underexplored. In this scholarly review, we delve into the thermal responses of HSF-HSP in both *Hordeum vulgare* and *Arabidopsis thaliana*, emphasizing their regulation by miRNA under conditions of heat stress.

Keywords: small RNAs (sRNA), heat shock proteins (HSP), microRNA (miRNA), abiotic stress, heat shock factors (HSF), gene regulation

Received: 08.04.2024. Reviewed: 18.11.2024. Accepted: 18.11.2024. Available online: 20.12.2024

Introduction

Small RNAs (sRNA) represent a specific subset of non-coding RNAs, typically spanning 21–24 nucleotides in length. They play a pivotal role in modulating gene expression through two primary mechanisms: transcriptional gene silencing (TGS) and post-transcriptional gene silencing (PTSG) [1-3]. The biogenesis of sRNA commences with the endonuclease action of Dicer-like proteins (DCL) acting upon the helical regions of RNA precursors composed of an array of molecular structures. Subsequent to this, one strand of the generated duplex associates with an Argonaute protein (AGO). This particular sRNA strand possesses the capability to hybridize with its complementary target RNAs. The AGO protein, in turn, can either directly catalyze or indirectly suppress the activities of these target genes. This repression is evidenced at various stages such as the downregulation of translational processes, increased instability of RNA, and the imposition of repressive chromatin modifications [4].

MicroRNAs (miRNAs), which are encoded by MIR genes, undergo transcription by RNA polymerase II. These primary miRNAs subsequently experience modifications, especially at their 5'–3' terminal regions [5]. Recent scientific investigations have underscored the crucial regulatory functions of miRNA and short interfering RNA (siRNA) in plant cells subjected to extreme thermal conditions. Under standard conditions, miRNAs bind to a set of target genes leading to their repression. Furthermore, they can modulate the expression of genes, some of which code for vital entities like transcription factors. This emerging body of knowledge solidly positions miRNAs as integral players in orchestrating plant development and fortifying resistance against various stressors [2].

The aim of this review is to elucidate the multifaceted roles of small RNAs, with a particular focus on miRNAs, in orchestrating plant responses to abiotic stressors. By synthesizing recent findings, we aim to provide a comprehensive understanding of the molecular mechanisms and regulatory pathways underpinning these responses, thereby highlighting potential avenues for enhancing plant resilience in a changing environment.

Roles of small RNAs in plant under abiotic stress

In recent times, there has been an upsurge in the identification of miRNAs, especially those interacting with genes integral for thermos-tolerance. With increasing temperatures, a distinct pattern emerges where three specific miRNAs are discerned across seven diverse plant species. Intriguingly, these miRNAs, when induced by thermal extremes, are implicated in various facets of plant growth and developmental stages [6].

Cold and heat stress mechanisms in plants are intricately regulated by miRNAs. Despite many miRNAs maintaining a consistent presence across various plant species, certain miRNAs display specific regulatory patterns, acting in a more selective manner. As an illustrative example, miR172 exhibits differential regulation; it gets activated under cold conditions in species like *Brachypodium* and *Prunus persica* but is found to be suppressed in wheat and grapevine [7].

Salt-induced osmotic stress in plants precipitates ion toxicity, adversely impacting various physiological attributes, notably affecting organ growth and development. Plants, through

evolutionary processes, have devised protective mechanisms such as ion exclusion to combat such stresses. Complementing these intrinsic mechanisms, a multitude of genes and transcription factors get expressed to counteract the deleterious effects of stress. Within this complex regulatory framework, miRNAs emerge as key post-transcriptional regulators. Depending on the stress context, miRNAs can either upregulate or downregulate target genes that are pivotal for stress tolerance [8-9].

Drought, as an abiotic stressor, poses profound challenges, imperiling vital plant processes from development and reproduction to overall growth and crop yield. Plants have evolved multifaceted strategies to mitigate drought stress. These strategies span from temporal adjustments in reproductive cycles to physiological alterations like maintaining a high-water potential and optimizing water use by modulating root depth and reducing transpiration. These adaptive mechanisms encompass a host of processes such as turgor maintenance via osmotic adjustments, cellular plasticity enhancements, and reduction in cell size, all governed by an extensive gene network [9].

Drought conditions invariably induce alterations in the expression profiles of a myriad of genes crucial for plant survival. Examples include genes like glutathione S-transferase (GST) and those induced by abscisic acid (ABA) such as Late embryogenesis abundant protein (LEA), Ras-related protein RABG (RAB), Cold-regulated protein (COR), RuBisCo, helicase, proline, and various carbohydrates. In this dynamic interplay, miRNAs serve as pivotal regulators, orchestrating the expression of genes that confer drought tolerance [10].

Table 1

Changes of essential miRNA expression in *A. thaliana* under abiotic stress [24]

miRNA	Type of regulation	Source [24]
miR156, miR159, miR167, miR168, miR171, miR172, miR319, miR393, miR394a, miR395c, miR395e, miR396 miR397	Up-regulated	<i>A. thaliana</i>
miR161, miR168a, miR168b, miR169, miR171a miR319c	Downregulated	<i>A. thaliana</i>

Recent research insights suggest that plant responses to drought stress, mediated by miRNA regulation, vary according to developmental stages and are also species-dependent. The intricate relationship between miRNA-guided regulation of drought tolerance mechanisms and developmental processes appears to be deeply intertwined, potentially representing facets of a unified adaptive response. For instance, some of miRNAs in plants like *Arabidopsis* (table 1), *Prunus persica*, and *Hordeum vulgare* exhibit repression in rice. In contrast, while miR169 is found to be downregulated in certain species, it is upregulated in others, underscoring the complex regulatory landscape [11-13].

A case in point is miR169c, a significant miRNA that targets entities like the nuclear factor Y (NF-Y) transcription factor (TF), the heme-activated protein (HAP), and the CCAAT-binding factor (CBF). This miRNA modulates its targets, primarily by diminishing the levels of NF-Y RNA.

The expression patterns of miR169c, especially under drought conditions, are influenced by degradation-responsive elements present in its promoter region. This expression, however, is contingent upon various external factors including, but not limited to, the onset, duration, and severity of the stress exposure [14-15].

Regulation of NF-Y by sRNA and its effect on plants under stress

The nuclear factor, often termed as the CCAAT Binding Factor (CBF) or Heme Activator Protein (HAP), comprises three subunits: NF-YA (CBF-B/HAP2), NF-YB (CBF-A/HAP3), and NF-YC (CBF-C/HAP5). This complex is pivotal for recognizing and binding the CCAAT box in DNA. While these subunits collaboratively function as heterodimers or heterotrimers, their individual modulation is independent [16-17].

Unlike animals and yeast, where all subunits of NF-Y are encoded by a single gene but have multiple splicing forms, plants have multiple genes encoding subunits of NF-Y. Several of these subunits, notably NF-YA, NF-YB, and NF-YC, have defined roles under drought stress conditions. Specifically, NF-YA5 overexpression correlates with decreased water loss from leaves and heightened drought tolerance. Furthermore, drought stress conditions induce increased expression of many NF-Y subunits, with NF-YB1 exhibiting the capability to modulate drought tolerance without the involvement of ABA signaling [18].

In a broader genomic perspective, miR169 predominantly targets the genes encoding the NF-Y subunit A. The NF-YB and NF-YC subunits, characterized by their inherent histone fold domains, synergize to form heterodimers. These heterodimers play a critical role in ensuring a robust and stable interaction with NF-YA. An inverse correlation is observed between the down-regulation of miR169 and the elevated expression of NF-YA5, suggesting a potential regulatory mechanism wherein miR169 modulates drought stress tolerance through NF-YA5. Further accentuating this hypothesis is the observation that the transgenic upregulation of NF-YA5 bolsters drought resistance in plants [19-20].

However, it's essential to highlight that the expression levels of various NF-Y subunits can exert dual impacts on drought tolerance. Therefore, specific miRNAs, through their modulation of genes encoding NF-Y subunits, can be pivotal in enhancing or attenuating plant drought resilience [20].

Regulation of HSFs and HSPs by sRNA and their effect on plants under stress

Heat Shock Factors (HSFs) play a pivotal role in plant thermotolerance, primarily by regulating heat shock proteins (HSPs) which serve as molecular chaperones for key proteins. Enhanced expression of certain HSF and HSP genes, namely CaHSP25.9, ZmHSF05, TaHSP23.9, and OsHSP20, augments the host cell's resilience against elevated temperatures [6]. Small heat shock proteins (sHSPs or Hsp20s) are integral in counteracting the detrimental effects of abiotic stresses in plants. Specifically, CaHsp25.9 is associated with enhanced drought and thermal stress tolerance, an observation underscored by its overexpression. Recent findings indicate that CaHsp25.9 is localized in the cell membrane and cytoplasm. Enhanced expression

of CaHsp25.9 curtails malonaldehyde (MDA) accumulation, electrolytic leakage, and levels of reactive oxygen species (ROS) such as superoxide anion and hydrogen peroxide during multifaceted abiotic stress. Conversely, overall chlorophyll levels decrease [7].

HSPs, essential molecular chaperones, encompass five primary families: sHSPs (Hsp20s), Hsp60s, Hsp70s, Hsp90s, and Hsp100s. Notably, Hsp20s spearhead the plant's initial defense against stress, operating in tandem with ATP [21-22]. Hsp20s proteins are recognized for their binding capabilities, altered physicochemical attributes, and collaboration with the HSP70-SP100 bi-chaperone system in refolding and disassembling molecules [9]. Most Hsp20s have molecular weights within the 15-42 kDa range. Key functions linked to the structure of Hsp20s include:

1. The Hsp20 domain, or α -crystallin domain (ACD), characterized by its compact β -sheet architecture, aids in the dissociation of oligomers and facilitates interaction with non-native proteins.

2. C-terminal extensions contribute to the stabilization of the oligomeric assembly.

3. The variable N-terminal region orchestrates and relays cellular signals [23].

According to recent studies, Hsp20s have sub-families: cytoplasm/nuclear, mitochondria, chloroplast, peroxisome, and EPR. Each subfamily serves distinct roles within the cell. Regardless of their spatial distribution and structural attributes, they respond to various abiotic stresses, including drought, salinity, and thermal stress. In *A. thaliana*, AtHsp21 underpins heat stress tolerance and thermomemory, attesting to the positive modulation of plants by Hsp20s during stress conditions [24].

Furthermore, miRNAs enhance thermotolerance by modulating HSF/HSP genes. During thermal stress episodes, genes such as HEAT STRESS ASSOCIATED 32 (HSA32) and HSP17.6A are upregulated. However, the miR156 module downregulates their expression, a critical component in establishing plant stress memory [13].

In transgenic plants possessing miRNA-resistant genes, namely CSD1, CSD2, and CCS, there is a diminished expression of HSF genes (HSF1e, HSFA2, HSFA3, HSFA7b) and HSP genes (HSP17.6, HSP70B, HSP90.1). This reduced expression culminates in programmed cell death (PCD). Conversely, mutant plants exhibit enhanced gene expression, thereby conferring thermotolerance. Intriguingly, as shown in table 2 the interaction between HSFA1b, HSFA7b, and the promoter region of miR398b indicates a positive regulatory feedback mechanism [27]. While research in this domain is rapidly advancing, our understanding of certain signaling pathways and the regulatory roles of miRNA remains incomplete.

Table 2

Effects of gene expression of some HSFs by regulating miRNA [12, 25, 26]

Genes	miRNA	Effect of genes	Type of plants [12, 25, 26]
HSFA1, HSFA1b	sha-miR319d	Heat tolerance	<i>Solanum habrochaite</i>
AsHSP17.0, AsHSP26.7a	Osa-miR393	Heat tolerance	<i>Arabidopsis thaliana</i>

Reactive oxygen species (ROS) are unavoidable byproducts of cellular metabolism. Under many circumstances, they induce oxidative damage to proteins, lipids, and result in electrolyte

leakage. Nonetheless, plants possess an antioxidant defense system categorized into enzymatic and non-enzymatic ROS scavenging pathways, ensuring a balance between ROS production and elimination [16].

The H₂O₂-H₂O₂ signaling interactions are modulated by various phytohormones and distinct signaling pathways. Salicylic acid (SA), jasmonic acid (JA), auxin, ethylene (ET), abscisic acid (ABA), and other phytohormones can negatively influence H₂O₂ homeostasis. These hormones can prompt alterations in gene expression, specifically targeting stress-responsive cis-regulatory promoter elements downstream of transcription factors. Additionally, they amplify signaling cascades, such as mitogen-activated kinase pathways, with ROS (Figure 1) acting as mediators [17], [18].

Under low-temperature stress, plants deploy protective strategies, including changes in gene expression, cell membrane modifications, antioxidant accumulation, and synthesis of cryoprotectants and cold-regulated proteins [19]. Prominent antioxidant enzymes like superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), and ascorbate peroxidase (APX) actively participate in ROS scavenging. Oxidative stress often emerges as a secondary response to these stressors. MiRNA, when induced by temperature stress, can inhibit the expression of genes such as CSD1 and CSD2, leading to elevated ROS levels in cells. Consequently, these elevated ROS levels stimulate the overexpression of heat shock factors (HSFs) and other genes crucial for plant thermotolerance [28].

The interplay between miRNA, HSF, and ROS scavenging enzymes is intricate. For example, miR398 can be modulated by tocopherol and PAP in plants. Increased ROS accumulation or the suppression of ROS scavenging enzymes can trigger the activation of HSF1Aa and HSF1Ab in transgenic plants. However, for many miRNAs, such as miR319d, their specific targets, localization, and involvement in signaling pathways remain to be elucidated [29].

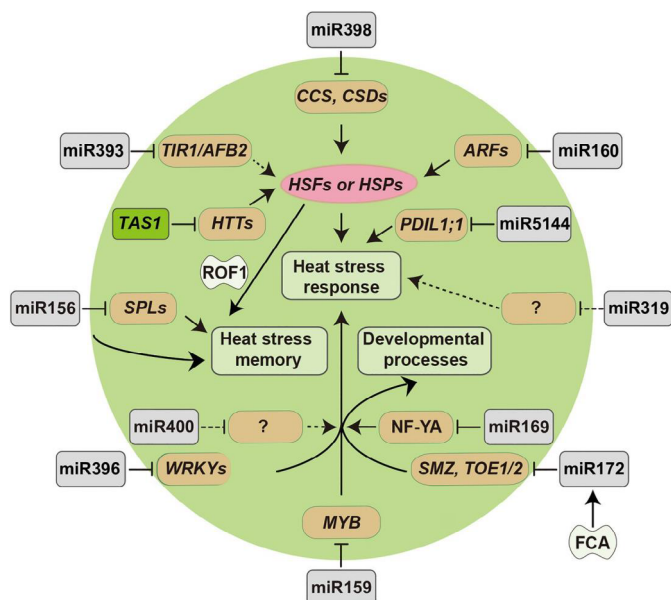


Figure 1. The effect of ROS-scavenging pathway regulating by small RNA to abiotic stress. Adapted from [28]

Conclusion

In the intricate landscape of molecular responses that *Hordeum vulgare* deploys against abiotic stress, small RNAs emerge as paramount modulators. Their pivotal role in orchestrating adaptive mechanisms is evidenced not only by their direct interaction with stress-responsive pathways but also by their nuanced regulation of key molecular entities. Among these entities, the Nuclear Factor Y (NF-Y) transcription factor stands out, shedding light on the profound interplay between small RNAs and gene expression dynamics in response to environmental challenges. Additionally, the interwoven relationship of small RNAs with the ROS scavenging pathway underscores their crucial function in maintaining cellular homeostasis, emphasizing their significance in managing oxidative stress.

Further compounding the importance of small RNAs in *Hordeum vulgare*'s abiotic stress response is their interaction with HSF/GSP factors, illuminating yet another layer of molecular defense strategies. The cumulative insights from this review underscore the multifaceted roles of small RNAs, highlighting their potential as vital targets for future research endeavors. Delving deeper into these small RNA-mediated mechanisms not only enhances our understanding of plant stress biology but also paves the way for innovative approaches in crop improvement and sustainable agriculture.

Funding

This research has been, was, or is funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan grant No. BR21882269

Authors' contribution

Samat A.: writing a text and/or critically reviewing its content.

Zhanassova K.: design of the work.

Syzdyk K.: data analysis.

Soltabayeva A.: review and editing.

Akbassova A.: collection of data.

Zhangazin S.: collection of data.

Bekturova A.: collection of data.

Beisekova M.: data analysis.

Yermukhambetova R.: data analysis.

Nurbekova Zh.: review and editing.

Masalimov Zh.: the corresponding author and funding acquisition.

Kurmanbayeva A.: the corresponding author, approval of the final version of the article for publication.

References

1. Kutter C. et al. MicroRNA-mediated regulation of stomatal development in *Arabidopsis* // *The Plant Cell*. American Society of Plant Biologists, 2007. Vol. 19, № 8. P. 2417–2429.

2. Chen X. Small RNAs and their roles in plant development // Annual Review of Cell and Developmental. Annual Reviews, 2009. Vol. 25, № 1. P. 21–44.
3. Poethig R.S. Small RNAs and developmental timing in plants // Current opinion in genetics & development. Elsevier, 2009. Vol. 19, № 4. P. 374–378.
4. Axtell M.J., Westholm J.O., Lai E.C. Vive la différence: biogenesis and evolution of microRNAs in plants and animals // Genome biology. Springer, 2011. Vol. 12. P. 1–13.
5. Samad A.F.A. et al. MicroRNA and transcription factor: key players in plant regulatory network // Frontiers in plant science. Frontiers Media SA, 2017. Vol. 8. P. 565.
6. Choudhury F.K. et al. Reactive oxygen species, abiotic stress and stress combination // The Plant Journal. 2017. Vol. 90, № 5. P. 856–867.
7. Hasanuzzaman M. et al. Plant Response and Tolerance to Abiotic Oxidative Stress: Antioxidant Defense Is a Key Factor // Crop Stress and its Management: Perspectives and Strategies. Dordrecht: Springer Netherlands, 2012. P. 261–315.
8. Sharma R. et al. Recent advances in dissecting stress-regulatory crosstalk in rice // Molecular Plant. Elsevier, 2013. Vol. 6, № 2. P. 250–260.
9. Furuta M. et al. Heat-shock induced nuclear retention and recycling inhibition of importin α // Genes to Cells. Wiley Online Library, 2004. Vol. 9, № 5. P. 429–441.
10. Swapna M., Kumar S. MicroRNAs and their regulatory role in sugarcane // Frontiers in Plant Science. Frontiers Media SA, 2017. Vol. 8. P. 997.
11. Xie F., Frazier T.P., Zhang B. Identification and characterization of microRNAs and their targets in the bioenergy plant switchgrass (*Panicum virgatum*) // Planta. Springer, 2010. Vol. 232. P. 417–434.
12. Yu N. et al. The role of miR156/SPL s modules in Arabidopsis lateral root development // The Plant Journal. Wiley Online Library, 2015. Vol. 83, № 4. P. 673–685.
13. He J. et al. Threshold-dependent repression of SPL gene expression by miR156/miR157 controls vegetative phase change in Arabidopsis thaliana // PLoS genetics. Public Library of Science San Francisco, CA USA, 2018. Vol. 14, № 4. P. e1007337.
14. He X. et al. Systematic identification and analysis of heat-stress-responsive lncRNAs, circRNAs and miRNAs with associated co-expression and ceRNA networks in cucumber (*Cucumis sativus* L.) // Physiologia Plantarum. 2020. Vol. 168, № 3. P. 736–754.
15. Guo C. et al. Repression of miR156 by miR159 regulates the timing of the juvenile-to-adult transition in Arabidopsis // The Plant Cell. American Society of Plant Biologists, 2017. Vol. 29, № 6. P. 1293–1304.
16. Olson M.E. Xylem hydraulic evolution, IW Bailey, and Nardini & Jansen (2013): pattern and process // New Phytologist. JSTOR, 2014. Vol. 203, № 1. P. 7–11.
17. Mantovani R. The molecular biology of the CCAAT-binding factor NF-Y // Gene. Elsevier, 1999. Vol. 239, № 1. P. 15–27.
18. Petroni K. et al. The promiscuous life of plant NUCLEAR FACTOR Y transcription factors // The Plant Cell. American Society of Plant Biologists, 2012. Vol. 24, № 12. P. 4777–4792.
19. Maillot P. et al. Differential regulation of SERK, LEC1-Like and Pathogenesis-Related genes during indirect secondary somatic embryogenesis in grapevine // Plant Physiology and Biochemistry. Elsevier, 2009. Vol. 47, № 8. P. 743–752.
20. Liang M. et al. Expression and functional analysis of NUCLEAR FACTOR-Y, subunit B genes in barley // Planta. Springer, 2012. Vol. 235. P. 779–791.

21. Baker C.C. et al. The early extra petals1 mutant uncovers a role for microRNA miR164c in regulating petal number in Arabidopsis // Current Biology. Elsevier, 2005. Vol. 15, № 4. P. 303–315.
22. Nover L. et al. Arabidopsis and the heat stress transcription factor world: how many heat stress transcription factors do we need? // Cell stress & chaperones. Elsevier, 2001. Vol. 6, № 3. P. 177.
23. Wigge P.A. et al. Integration of spatial and temporal information during floral induction in Arabidopsis // Science. American Association for the Advancement of Science, 2005. Vol. 309, № 5737. P. 1056–1059.
24. Baniwal S.K. et al. Heat stress response in plants: a complex game with chaperones and more than twenty heat stress transcription factors // Journal of biosciences. Springer, 2004. Vol. 29. P. 471–487.
25. Barciszewska-Pacak M. et al. Arabidopsis microRNA expression regulation in a wide range of abiotic stress responses // Frontiers in plant science. Frontiers Media SA, 2015. Vol. 6. P. 410.
26. Ezin V., Symonds R.C. MicroRNA-mediated Regulation of Heat Stress Response // Plant MicroRNAs and Stress Response. CRC Press, 2024. P. 90–119.
27. Schramm F. et al. The heat stress transcription factor HsfA2 serves as a regulatory amplifier of a subset of genes in the heat stress response in Arabidopsis // Plant molecular biology. Springer, 2006. Vol. 60. P. 759–772.
28. Zuo Z.-F. et al. Small RNAs: the essential regulators in plant thermotolerance // Frontiers in Plant Science. Frontiers Media SA, 2021. Vol. 12. P. 726762.
29. Laloum T. et al. CCAAT-box binding transcription factors in plants: Y so many? // Trends in plant science. Elsevier, 2013. Vol. 18, № 3. P. 157–166.

**А.Самат¹, К. Жанасова¹, Ә.Солтабаева², К.Сыздық^{1,3}, А.Ақбасова¹, С.Жангазин¹,
А.Бектурова¹, М.Бейсекова¹, Р.Ермухамбетова¹,
Ж.Нурбекова¹, Ж.Масалимов^{1*}, А.Курманбаева^{1*}**

¹Биотехнология және микробиология кафедрасы, Л.Н. Гумилев атындағы
Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

²Биология кафедрасы, Ғылым және гуманитарлық пәндер мектебі, Назарбаев Университеті,
Астана, Қазақстан

³ЖШС «ФЗИ Biosense», Астана, Қазақстан

Кіші РНҚ-ның өсімдіктерде абиотикалық стресс жағдайындағы рөлі

Аңдатпа. Кіші РНҚ (sRNA) геномның эпигенетикалық модификациясында маңызды рөл атқарады. Олар абиотикалық және биотикалық стрессерді жеңілдететін факторлармен бірге көптеген процестерге қатысады. Олардың ішінде жылу шоктары белоктары (HSP), реактивті оттегі түрлерін (ROS) тазартуға қатысатын ферменттер және ядролық фактор Y (NF-Y) ерекшеленеді. Молекулалық деңгейде sRNA шамамен 21-23 нуклеотид ұзындықта болатын тізбектермен сипатталады. Өсімдіктер ғылымы саласындағы қазіргі түсініктерге сәйкес, көптеген абиотикалық шектеулер өсімдік өнімділігін, өсуін және репродуктивті әлеуетін айтарлықтай төмендетуі мүмкін. Бұл шектеулер жасушалық гомеостазды бұзу, иондық теңгерімді бұзу және маңызды физиологиялық процестерге әсер ету арқылы зиянды ықпалын тигізеді. Дегенмен,

эволюция кейбір өсімдік түрлерін жоғары температураларға бейімделуге мүмкіндік берген, бұл гендер мен белоктарды, әсіресе жылу шок факторларын (HSF) және HSP реттеу арқылы жүзеге асады. Өсімдіктерде микроРНК (miRNA) функционалдығы туралы ғылыми деректердің өсуіне қарамастан, miRNA жаңа мишенелері мен олардың HSF-HSP кешенімен күрделі өзара әрекеттестігінің зерттелуі әлі де аз. Бұл шолу жұмысында біз *Hordeum vulgare* және *Arabidopsis thaliana* өсімдіктерінде HSF-HSP жылу реакцияларын зерттеп, олардың жылу стресі жағдайында miRNA арқылы реттелуіне ерекше назар аударамыз.

Түйін сөздер: Кіші РНК (sRNA), жылу шоктары белоктары (HSP), микроРНК (miRNA), абиотикалық стресс, жылу шок факторлары (HSF), ген реттелуі

**А.Самағ¹, К.Жанасова¹, К.Сыздық¹, А.Солтабаева², А.Ақбасова¹, С.Жангазин¹,
А.Бектурова¹, М.Бейсекова¹, Р.Ермухамбетова¹,
Ж.Нурбекова¹, Ж.Масалимов^{1*}, А.Курманбаева^{1,3*}**

¹*Кафедра биотехнологии и микробиологии, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан*

²*Кафедра биологии, Школа наук и гуманитарных наук, Назарбаев Университет, Астана, Казахстан*

³*ТОО «НИИ Biosense», Астана, Казахстан*

Роль малых РНК при абиотическом стрессе у растений

Аннотация. Малые РНК (sRNA) играют важную роль в эпигенетической модификации генома. Они участвуют в многочисленных процессах, включая факторы, которые помогают преодолевать как абиотические, так и биотические стрессы. Среди них можно выделить белки теплового шока (HSP), ферменты, участвующие в утилизации активных форм кислорода (ROS), и ядерный фактор Y (NF-Y). На молекулярном уровне sRNA характеризуются последовательностями, длина которых составляет примерно 21-23 нуклеотида. Согласно современным представлениям в области науки о растениях, множество абиотических факторов могут значительно снизить урожайность, рост и репродуктивный потенциал растений. Эти факторы оказывают свое разрушительное воздействие, нарушая клеточный гомеостаз, нарушая ионный баланс и воздействуя на важнейшие физиологические процессы. Однако эволюция наделила некоторые виды растений способностью адаптироваться к повышенным температурам посредством тонкой регуляции генов и белков, в частности, факторов теплового шока (HSF) и HSP. Несмотря на рост научных данных о функциональности микроРНК (miRNA) в растениях, новые мишени miRNA и их сложные взаимосвязи с комплексом HSF-HSP остаются малоизученными. В данном обзоре мы исследуем тепловые реакции HSF-HSP в *Hordeum vulgare* и *Arabidopsis thaliana*, акцентируя внимание на их регуляции miRNA в условиях теплового стресса.

Ключевые слова: малые РНК (sRNA), белки теплового шока (HSP), микроРНК (miRNA), абиотический стресс, факторы теплового шока (HSF), регуляция генов

References

1. Kutter C., Schöb H., Stadler M., Meins F., Si-Ammour A. MicroRNA-mediated regulation of stomatal development in Arabidopsis, *The Plant Cell*, 19(8), 2417–2429 (2007).
2. Chen X. Small RNAs and their roles in plant development, *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, 25(1), 21-44 (2009).
3. Poethig R.S. Small RNAs and developmental timing in plants, *Current Opinion in Genetics & Development*, 19(4), 374-378 (2009).
4. Axtell M.J., Westholm J.O., Lai E.C. Vive la différence: biogenesis and evolution of microRNAs in plants and animals, *Genome Biology*, 12, 1–13 (2011).
5. Samad A.F.A., Sajad M., Nazaruddin N., Fauzi I.A., Murad A.M.A., Zainal Z., Ismail I. MicroRNA and transcription factor: key players in plant regulatory network, *Frontiers in Plant Science*, 8, 565 (2017).
6. Choudhury F.K., Rivero R.M., Blumwald E., Mittler R. Reactive oxygen species, abiotic stress and stress combination, *The Plant Journal*, 90(5), 856–867 (2017).
7. Hasanuzzaman M., Nahar K., Alam M.M., Fujita M. Plant Response and Tolerance to Abiotic Oxidative Stress: Antioxidant Defense Is a Key Factor, *Crop Stress and its Management: Perspectives and Strategies*, Dordrecht: Springer Netherlands, 261–315 (2012).
8. Sharma R., De Vleeschauwer D., Sharma M.K. Recent advances in dissecting stress-regulatory crosstalk in rice, *Molecular Plant*, 6(2), 250–260 (2013).
9. Furuta M., Kubo N., Suda N., Nishizawa Y., Koshihara T. Heat-shock induced nuclear retention and recycling inhibition of importin α , *Genes to Cells*, 9(5), 429–441 (2004).
10. Swapna M., Kumar S. MicroRNAs and their regulatory role in sugarcane, *Frontiers in Plant Science*, 8, 997 (2017).
11. Xie F., Frazier T.P., Zhang B. Identification and characterization of microRNAs and their targets in the bioenergy plant switchgrass (*Panicum virgatum*), *Planta*, 232, 417–434 (2010).
12. Yu N., Niu Q.W., Ng K.H., Chua N.H. The role of miR156/SPL modules in Arabidopsis lateral root development, *The Plant Journal*, 83(4), 673–685 (2015).
13. He J., Xu M., Willmann M.R., McCormick K., Hu T., Yang L., Starker C.G., Voytas D.F., Meyers B.C., Poethig R.S. Threshold-dependent repression of SPL gene expression by miR156/miR157 controls vegetative phase change in Arabidopsis thaliana, *PLoS Genetics*, 14(4), e1007337 (2018).
14. He X., Zhu H., Chen D., Zhan C., Cheng C., Xie C. Systematic identification and analysis of heat-stress-responsive lncRNAs, circRNAs and miRNAs with associated co-expression and ceRNA networks in cucumber (*Cucumis sativus* L.), *Physiologia Plantarum*, 168(3), 736–754 (2020).
15. Guo C., Xu Y., Shi M., Wang X., Yang K., Wu Z., Cui J. Repression of miR156 by miR159 regulates the timing of the juvenile-to-adult transition in Arabidopsis, *The Plant Cell*, 29(6), 1293–1304 (2017).
16. Olson M.E. Xylem hydraulic evolution, *IW Bailey, and Nardini & Jansen (2013): pattern and process*, *New Phytologist*, 203(1), 7–11 (2014).
17. Mantovani R. The molecular biology of the CCAAT-binding factor NF-Y, *Gene*, 239(1), 15–27 (1999).
18. Petroni K., Fornasiero A., Tonelli C. The promiscuous life of plant NUCLEAR FACTOR Y transcription factors, *The Plant Cell*, 24(12), 4777–4792 (2012).
19. Maillot P., Lebel S., Pelegri C., Boitel-Conti M. Differential regulation of SERK, LEC1-Like and Pathogenesis-Related genes during indirect secondary somatic embryogenesis in grapevine, *Plant Physiology and Biochemistry*, 47(8), 743–752 (2009).

20. Liang M., Davis E., Gardner D., Cai X., Wu Y. Expression and functional analysis of NUCLEAR FACTOR-Y, subunit B genes in barley, *Planta*, 235, 779–791 (2012).
21. Baker C.C., Sieber P., Wellmer F., Meyerowitz E.M. The early extra petals1 mutant uncovers a role for microRNA miR164c in regulating petal number in Arabidopsis, *Current Biology*, 15(4), 303–308 (2005).
22. Nover L., Bharti K., Döring P., Mishra S.K., Ganguli A., Scharf K.D. Arabidopsis and the heat stress transcription factor world: how many heat stress transcription factors do we need?, *Cell Stress & Chaperones*, 6(3), 177–189 (2001).
23. Wigge P.A., Kim M.C., Jaeger K.E., Busch W., Schmid M., Lönning W.E., Weigel D., Nilsson O. Integration of spatial and temporal information during floral induction in Arabidopsis, *Science*, 309(5737), 1056–1059 (2005).
24. Baniwal S.K., Bharti K., Chan K.Y., Fauth M., Ganguli A., Kotak S., Mishra S.K., Nover L., Port M., Scharf K.D. Heat stress response in plants: a complex game with chaperones and more than twenty heat stress transcription factors, *Journal of Biosciences*, 29, 471–487 (2004).
25. Barciszewska-Pacak M., Milanowska K., Knop K., Wojcikowska B., Jarmolowski A., Szweykowska-Kulinska Z. Arabidopsis microRNA expression regulation in a wide range of abiotic stress responses, *Frontiers in Plant Science*, 6, 410 (2015).
26. Ezin V., Symonds R.C. MicroRNA-mediated Regulation of Heat Stress Response, *Plant MicroRNAs and Stress Response*, CRC Press, 90–119 (2024).
27. Schramm F., Ganguli A., Kiehlmann E., Englich G., Walch D., von Koskull-Döring P. The heat stress transcription factor HsfA2 serves as a regulatory amplifier of a subset of genes in the heat stress response in Arabidopsis, *Plant Molecular Biology*, 60, 759–772 (2006).
28. Zuo Z.F., Dai X., Zhu Z.J., Bai X., Wang Q.L. Small RNAs: the essential regulators in plant thermotolerance, *Frontiers in Plant Science*, 12, 726762 (2021).
29. Laloum T., De Mita S., Gamas P., Baudin M., Niebel A. CCAAT-box binding transcription factors in plants: Y so many?, *Trends in Plant Science*, 18(3), 157–166 (2013).

Information about authors:

Samat A. – 2nd year PhD student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 13 K. Munaitpasov Street, Astana, Kazakhstan.

Zhanassova K. – Postdoctoral researcher, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 13 K. Munaitpasov Street, Astana, Kazakhstan.

Syzdyk K. – Master's student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 13 K. Munaitpasov Street, Astana, Kazakhstan.

Soltabayeva A. – Instructor at the Department of Biology, Associate Professor, PhD, Nazarbayev University, Astana, Kazakhstan.

Akbassova A. – Associate Professor, PhD, Department of Biotechnology and Microbiology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 13 K. Munaitpasov Street, Astana, Kazakhstan.

Zhangazin S. – Associate Professor, PhD, Department of Biotechnology and Microbiology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 13 K. Munaitpasov Street, Astana, Kazakhstan.

Bekturova A. – Senior lecturer, PhD, Department of Biotechnology and Microbiology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 13 K. Munitpasov Street, Astana, Kazakhstan.

Beisekova M. – Senior Lecturer, Department of Biotechnology and Microbiology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 13 K. Munitpasov Street, Astana, Kazakhstan.

Yermukhambetova R. – Senior Lecturer, Department of Biotechnology and Microbiology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 13 K. Munitpasov Street, Astana, Kazakhstan.

Nurbekova Zh. – Associate Professor, PhD, Department of Biotechnology and Microbiology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 13 K. Munitpasov Street, Astana, Kazakhstan.

Masalimov Zh. – Head of the Department of Biotechnology and Microbiology, PhD, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 13 K. Munitpasov Street, Astana, Kazakhstan.

Kurmanbayeva A. – Lecturer-Researcher, Department of Biotechnology and Microbiology, PhD, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 13 K. Munitpasov Street, Astana, Kazakhstan.

Авторлар туралы мәлімет:

Самат А. – докторант, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қ. Мұнайтпасов көшесі, 13, Астана, Қазақстан.

Жанасова К. – постдокторант, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қ. Мұнайтпасов көшесі, 13, Астана, Қазақстан.

Сыздық К. – магистрант, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қ. Мұнайтпасов көшесі, 13, Астана, Қазақстан.

Солтабаева Ә. – Биология кафедрасының оқытушысы, қауымдастырылған профессор, PhD, Назарбаев Университеті, Астана, Қазақстан

Ақбасова А. – Биотехнология және микробиология кафедрасының қауымдастырылған профессоры, PhD, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қ. Мұнайтпасов көшесі, 13, Астана, Қазақстан.

Жангазин С. – Биотехнология және микробиология кафедрасының қауымдастырылған профессоры, PhD, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қ. Мұнайтпасов көшесі, 13, Астана, Қазақстан.

Бектұрова А. – Биотехнология және микробиология кафедрасының аға оқытушысы, PhD, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қ. Мұнайтпасов көшесі, 13, Астана, Қазақстан.

Бейсекова М. – Биотехнология және микробиология кафедрасының аға оқытушысы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қ. Мұнайтпасов көшесі, 13, Астана, Қазақстан.

Ермухамбетова Р. – Биотехнология және микробиология кафедрасының аға оқытушысы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қ. Мұнайтпасов көшесі, 13, Астана, Қазақстан.

Нурбекова Ж. – Биотехнология және микробиология кафедрасының қауымдастырылған профессоры, PhD, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қ. Мұнайтпасов көшесі, 13, Астана, Қазақстан.

Масалимов Ж. – Биотехнология және микробиология кафедрасының меңгерушісі, PhD, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қ. Мұнайтпасов көшесі, 13, Астана, Қазақстан.

Қурманбаева А. – Биотехнология және микробиология кафедрасының оқытушы-зерттеушісі, PhD, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қ. Мұнайтпасов көшесі, 13, Астана, Қазақстан.



МРНТИ 65.63.39

<https://doi.org/10.32523/2616-7034-2024-149-4-63-74>

Научная статья

Влияние молочнокислых бактерий на ряд аспектов процесса получения сыра из верблюжьего молока

Э.А. Габрильянц*^{ORCID}, Р.С. Алибеков^{ORCID}

Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

*Автор для корреспонденции: gabrilyants@mail.ru

Аннотация. Исследование технологии производства сыра из верблюжьего молока остается актуальной задачей мировой науки и может внести значительный вклад в продовольственную безопасность и экономическое развитие Казахстана. Переработка верблюжьего молока в сыр с применением современных технологических инноваций стала возможной благодаря прикладным исследованиям. Использование заквасочных культур, верблюжьего химозина и обогащение молока различными ингредиентами позволило значительно улучшить качественные параметры сыров. Заквасочные культуры, состоящие из молочнокислых бактерий, играют ключевую роль в производстве сыра. Они способствуют образованию сгустка, преобразуя лактозу в молочную кислоту, что обеспечивает оптимальный уровень активной кислотности (рН) для коагуляции молока. Это, в свою очередь, влияет на технологический процесс, а также на состав и качество готового продукта. В данной работе были использованы различные коммерческие заквасочные культуры, относящиеся к мезофильным, термофильным и комбинированным молочнокислым бактериям, для получения сыра из верблюжьего молока. Результаты анализа физико-химического состава сыров показали значительные различия: содержание белков варьировалось от $11,18 \pm 1,43$ до $17,85 \pm 1,78\%$, жира – от $34,72 \pm 0,68\%$ до $37,12 \pm 0,86\%$, влажности – от $49,45 \pm 1,71$ до $66,76 \pm 1,49\%$, активной кислотности – от $4,79 \pm 0,09$ до $5,67 \pm 0,09$ единиц. Выход сыра из верблюжьего молока составил от $17,97 \pm 1,35$ до $27,80 \pm 1,98$ г/100 г. Анализ жизнеспособной микрофлоры показал, что сыр, приготовленный с использованием заквасочных культур СНН-19 и "Lactoferm есо" (Biochem. srl), содержал наибольшее количество жизнеспособных микроорганизмов.

Ключевые слова: молочнокислые бактерии, биотехнология, молочная кислота, верблюжье молоко, сыр, микрофлора

Получено: 30.04.2024. Рецензирование: 28.10.2024 (1-й раунд), 06.12.2024 (2-й раунд). Принято: 11.12.2024. Доступно онлайн: 20.12.2024.

Введение

Верблюжье молоко является альтернативным источником сырья и богатым источником питательных веществ, обладающих терапевтическими свойствами [1]. Благодаря высокой пищевой ценности и заявленным лечебным качествам в последние годы наблюдается растущий интерес к верблюжьему молоку и продуктам, произведенным на его основе.

Терапевтический эффект верблюжьего молока обусловлен наличием различных биологически активных компонентов, которые обладают потенциалом для профилактики и лечения ряда заболеваний [2].

Сыр является одним из важнейших продуктов, способным длительно сохранять свои свойства благодаря использованию технологических методов, основанных на ферментации молока с участием молочнокислых бактерий [3].

Молочнокислые бактерии (LAB) имеют значительное экономическое значение, так как играют ключевую роль на всех этапах ферментации традиционных сыров [4]. Их использование в виде первичных или дополнительных заквасок способствует быстрому подкислению молока за счет выработки молочной кислоты, что приводит к снижению уровня pH. Этот процесс оказывает влияние на множество аспектов сыроделия, включая состав, выход продукции и конечное качество сыра.

Молочнокислые стрептококки являются наиболее известными представителями заквасочных культур, применяемых при производстве кисломолочных продуктов и сыров.

Целью данного исследования является оценка характеристик полученных сыров из верблюжьего молока с использованием различных коммерческих заквасочных культур.

Материалы и методы исследования

Физико-химические показатели в образцах молока измеряли с помощью прибора Milkoskan ft1.

Для измерения активной кислотности (pH) образцов сыра использовался pH-метр HI98103 HANNA.

Содержание жира анализировали по методу Гербера согласно ГОСТ 5867-90. Молоко и молочные продукты. Методы определения жира.

Содержание белка определяли по методу Кьельдаля, согласно ГОСТ 34454-2018. Продукция молочная. Определение массовой доли белка методом Кьельдаля.

Микроскопирование проводили на электронном микроскопе марки Levenhuk D 400 LCD с увеличением 100x.

Подсчет клеток микроорганизмов (лактобактерий) проводили с иммерсионным объективом 100x. Подсчитывали 10 полей зрения, передвигая препарат по диагонали [5]. Далее рассчитывали среднее количество клеток по формуле

$$A = \frac{\sum a}{n},$$

где A – среднее количество клеток в поле зрения;

Σa – общее число подсчитанных клеток;

n – число просчитанных полей зрения.

Математическую обработку данных проводили с помощью программы Microsoft Excel. Определяли среднее значение и стандартное отклонение экспериментальных данных.

Результаты и их обсуждение

Состав верблюжьего молока влияет на свойства сыроделия, поскольку он определяет его питательную ценность и технологические свойства при переработке молока в молочные продукты [6].

Физико-химические свойства верблюжьего молока, используемого для производства сыра, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Физико-химический состав верблюжьего молока

Наименование	Верблюжье молоко
Белки, (%)	3,73+0,01
Жиры, (%)	4,68+0,33
Сомо, (%)	8,66+0,03
Сухие вещества, (%)	13,85+0,33
Лактоза, (%)	4,39+0,01
Точка замерзания, (m°C)	-568,2+3,3
Кислотность,Г (°ТН)	15,10+0,54
Молочная кислота, (%)	0,135+0,005
Плотность, (г/л)	1030,8+1,00
Казеин, (%)	2,63+0,04

где, значения в таблице являются средними \pm стандартное отклонение для трех повторений (n=3).

Исходя из результатов таблицы 1, значения находились в диапазоне, о которых сообщалось ранее автором Selda Bulca [7,8]. Наблюдаемая разница в химическом составе может быть объяснена влиянием различных факторов, таких, как кормление верблюдов, стадия лактации, возраст и состояние здоровья, методы управления стадом и условия окружающей среды.

Заквасочные культуры молочнокислых бактерий добавляют в молоко для подкисления за счет выработки молочной кислоты, что приводит к снижению активной кислотности (рН), что влияет на некоторые аспекты процесса производства сыра и, в конечном итоге, на его состав [9].

Снижение активной кислотности (рН), происходящее при ферментации лактозными бактериями до молочной кислоты, оказывает консервирующее действие на продукт, одновременно повышая питательную ценность и усвояемость.

В таблице 2 приведены виды и состав используемых заквасочных культур, состоящие из молочнокислых бактерий в получении сыра из верблюжьего молока.

Таблица 2

Состав используемых заквасочных культур из молочнокислых бактерий

Наименование культур	Вид культур	Состав культуры
MW 0,36 (консорциум 1)	<i>Mesophilic</i>	<i>Lactococcus lactis ssp. lactis</i> , <i>Lactococcus lactis ssp. cremoris</i> , <i>Lactococcus lactis ssp. lactis biovar. diacetylactis</i> , <i>Leuconostoc ssp</i>
<i>Lb.helveticus</i> (консорциум 2)	<i>Thermophilic</i>	<i>Lactobacillus helveticus</i>
CHN-19 (консорциум 3)	<i>Mesophilic</i>	<i>L. lactis ssp. cremoris</i> , <i>Leuc. mesenteroides ssp. cremoris</i> , <i>L. lactis ssp. lactis biovar diacetylactis</i>
"LACTOFERM ECO" BIOCHEM.SRL (консорциум 4)	<i>Thermophilic</i>	<i>Streptococcus thermophilus</i> , <i>Lactococcus lactis subsp. lactis</i> , <i>Lactococcus lactis subsp. lactis biovar diacetylactis</i> , <i>Lactococcus delbrueckii subsp. lactis</i> , <i>Lactobacillus helveticus</i> , <i>Leuconostoc ssp.</i>
VIVO (консорциум 5)	<i>Thermo-Mesophilic</i>	<i>Streptococcus thermophilus</i> , <i>Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus</i> , <i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>Bifidobacterium lactis</i>

В данном исследовании были взяты заквасочные культуры из молочнокислых бактерий мезофильных, термофильных, а также смешанных культур для получения сыра из верблюжьего молока.

Соответствующая выработка кислоты с точки зрения скорости и времени определяет активность коагулянта, скорость роста микроорганизмов, прочность коагулянта, синерезис геля, растворимость коллоидного фосфата кальция и выход сыра.

Заквасочные культуры вводили в верблюжье молоко при температуре 32-34°C для мезофильных (консорциум 1, консорциум 3), для термофильных(консорциум 2, консорциум 4) температура молока – 38-40°C, для смешанных (консорциум 5) температура молока достигала – 35-37°C.

Скорость подкисления (таблица 3) верблюжьего молока заквасочными культурами измеряли в течение 100 минут, пока активная кислотность не достигла оптимального значения для дальнейшей коагуляции.

Таблица 3

Скорость подкисления молока заквасочными культурами

Время, мин	консорциум 1	консорциум 2	консорциум 3	консорциум 4	консорциум 5
0	6,40±0,03	6,40±0,03	6,40±0,03	6,40±0,03	6,40±0,03
10	6,31±0,02	6,26±0,09	6,29±0,1	6,35±0,1	6,40±0,1
20	6,28±0,01	6,24±0,01	6,24±0,09	6,22±0,09	6,39±0,09
30	6,25±0,01	6,11±0,09	6,22±0,09	6,19±0,09	6,35±0,09
40	6,22±0,01	6,10±0,09	6,20±0,09	6,15±0,09	6,32±0,09
50	6,20±0,01	6,03±0,09	6,18±0,09	6,09±0,09	6,30±0,09
60	6,18±0,01	5,98±0,09	6,16±0,09	6,08±0,09	6,28±0,09
70	6,16±0,01	5,96±0,09	6,14±0,09	6,03±0,09	6,26±0,09
80	6,14±0,01	5,89±0,09	6,09±0,09	6,0±0,09	6,22±0,01
90	6,10±0,01	5,86±0,09	6,03±0,09	5,98±0,09	6,18±0,1
100	6,05±0,01	5,84±0,09	5,98±0,09	5,97±0,09	6,14±0,1

Различия во времени подкисления и значениях активной кислотности (рН) могут быть объяснены различиями между исходными культурами в скорости и интенсивности подкисления.

Исходя из результата подкисления молока, можно сказать, что верблюжье молоко, инокулированное культурой консорциума 2, приводило к более высокой скорости подкисления, чем при инокуляции культурами консорциума 5.

Верблюжье молоко, инокулированное культурами консорциумов 1, 3, 4, имело промежуточную степень подкисления.

Согласно таблице 3, изначальный показатель рН верблюжьего молока составил $6,40 \pm 0,03$ ед., тогда как в конце подкисления, рН снизился до 6,08 ед. у мезофильной заквасочной культуры MW 0,36, у термофильной культуры консорциума 2 до $5,84 \pm 0,09$ ед., у мезофильной культуры консорциума 3 до $5,98 \pm 0,09$ ед., термофильная заквасочная культура консорциума 4 снизила значение рН до $5,97 \pm 0,09$ ед., а смешанная заквасочная культура VIVO консорциума 5 до $6,14 \pm 0,1$ ед.

Затем в готовых в мягких сырах, полученных из верблюжьего молока с использованием различных заквасочных культур, исследовали значение активной кислотности (рН), выход, а также содержание жира, белка, влажности, приведенные в таблице 4.

Таблица 4

Физико-химический состав сыров из верблюжьего молока, инокулированные заквасочными культурами

Параметры	Сыр из верблюжьего молока, инокулированный заквасочными культурами				
	Консорциум 1	Консорциум 2	Консорциум 3	Консорциум 4	Консорциум 5
Белки, %	16,50±0,19	17,29 ±1,55	17,85±1,78	18,15±2,01	11,18±1,43
Жиры, %	35,88±1,51	35,98±1,33	37,12±0,86	36,74±1,014	34,72±0,68

Влажность, %	62,50±1.04	49,45±1.71	55,60±0,67	52,55±1.90	66,76±1,49
Активная кислотность (рН) ед	5,30± 0.09	4,79± 0.09	5,58± 0,01	5,67± 0.09	4,88± 0,01
Выход, г/100 г	22,03±1.22	22.35±1.66	27,80±1,98	25,09±1.99	17,97±1,35

Согласно таблице 3, используемые виды заквасочных культур значительно влияли на содержание белка. Так, сыр, выработанный с использованием заквасочных культур консорциума 4, консорциума 3, консорциума 2, имели более высокое содержание белка по сравнению с сыром с использованием заквасочных культур консорциума 1 и консорциума 5. Так, сыр, полученный с применением консорциума 4, имел более высокое содержание белка 18,15±2,01%. Самое низкое содержание белка 11,18±1,43% было у консорциума 5. Промежуточные значения были у сыра с применением культуры консорциума 3 – 17,85±1,78%, консорциума 2 -17,29 ±1,55%, консорциума 1- 0,36-16,50±0,19%.

Содержание жира у сыра с использованием культур консорциума 3 и консорциума 4 наблюдалось более высоким – 37,12±0,86%, и 36,74±1,014%, соответственно, по сравнению с консорциумом 2 – 35,98±1,33%, консорциумом 1 – 35,88±1,51%, консорциумом 5 – 34,72±0,68%.

Наблюдалось более высокое содержание влаги у культур консорциума 1– 62,50±1,04% и консорциума 2 – 66,76±1,49%. Это может быть связано с тем, что при использовании этих медленно подкисляющих культур получается очень слабый сгусток, что приводит к большей потере мелких частиц сырного зерна через поры сырной пленки во время слива сыворотки. Более низкое содержание влаги – 49,45±1,71% было у сыра, полученного с использованием культуры консорциума 2, чем у сыров с использованием культур консорциума 4 – 52,55±1,90 и консорциума 3 – 55,60±0,67%.

Между сырами, изготовленными с использованием различных заквасочных культур, наблюдались различия в значениях активной кислотности (рН). Это связано с применением различных коммерческих заквасочных культур для подкисления молока. Сыр, полученный с использованием заквасок консорциума 2 и консорциума 5, инокулированных при температуре 38–40 °С, имел более низкие значения рН – 4,79±0,09 и 4,88±0,01, соответственно, чем сыр, изготовленный с использованием культур консорциума 1 и консорциума 3, инокулированных при температуре 32-34 °С. У последних значения рН составили 5,30±0,09 и 5,58±0,01, соответственно. Сыр, полученный с использованием закваски консорциума 4, имел рН, равный 5,67±0,09.

Заквасочная культура консорциума 5 с более низкой скоростью подкисления приводила к более слабому свертыванию.

Сыры из верблюжьего молока с использованием смешанной культуры VIVO и мезофильной культуры консорциума 1 были со слабым сгустком, который трудно было преобразовать, большая часть мелких зерен терялась в сыворотке и имела самый низкий выход сыра 17,97±1,35 г/100 г и 22,03±1,22, соответственно.

Более высокий выход сыра был получен с использованием мезофильной культуры консорциума 3 – $27,80 \pm 1,98$ /100 г и термофильной культуры консорциума 4 – $25,09 \pm 1,99$ /100 г.

Далее был проведен анализ микрофотографирования количества жизнеспособной микрофлоры полученных сыров из верблюжьего молока с различными заквасочными культурами, представленный на рисунке 1.

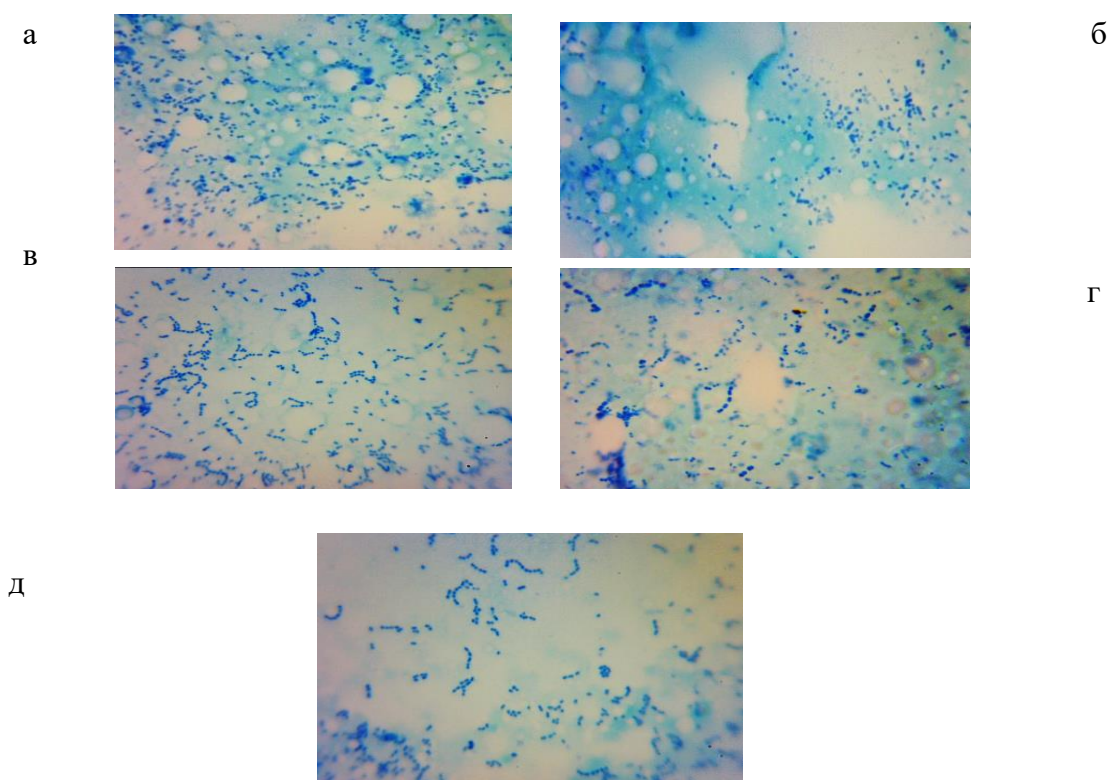


Рисунок 1. Фотоизображение микрофотографированных сыров

где: а) сыр с мезофильной культурой консорциума 1; б) сыр с термофильной культурой консорциума 2, в) сыр с мезофильной культурой консорциума 3, г) сыр с термофильной культурой консорциума 4, д) сыр со смешанной культурой консорциума 5.

На рисунке 1 видно, что штаммы бактерий, такие, как (*Lactococcus lactis ssp. lactis*, *Lactococcus lactis ssp. cremoris*, *Lactococcus lactis ssp. lactis biovar. diacetylactis*), содержатся в полученном сыре из верблюжьего молока. Исходя из результатов микрофотографирования, можно сделать вывод, что полученные сыры содержат большое количество жизнеспособной микрофлоры.

Исследования микробиологических параметров показали, что сыры из верблюжьего молока с использованием различных заквасочных культур молочнокислых бактерий, приготовленных в лабораторных условиях, не содержали *Salmonella spp.*, *S. aureus*, *L.* моноцитогены, а также общее количество кишечной палочки, дрожжей и плесени (таблица 5). Отсутствие патогенных микроорганизмов, вероятно, было обусловлено

правильным процессом пастеризации, строгими гигиеническими условиями при приготовлении и использованием закваски, которая снижала рН сыров.

Таблица 5

Количество жизнеспособной микрофлоры полученных сыров

Сыр из верблюжьего молока, инокулированный заквасочными культурами:	КОЕ/см ³
Консорциум 1	1x10 ⁷
Консорциум 2	1x10 ⁷
Консорциум 3	1x10 ⁹
Консорциум 4	1x10 ⁹
Консорциум 5	1x10 ⁶

Молочнокислые бактерии – группа микроорганизмов, значение которых возрастает в биотехнологии [10], поскольку они считаются безопасными и оказывают большое благотворное воздействие на здоровье человека [11].

Влияние различных заквасочных культур на конечные качества сыров из верблюжьего молока изучено недостаточно. Однако в литературе имеются отдельные исследования, посвященные оценке качества сыра из верблюжьего молока, полученного методом прямого подкисления или с использованием заквасочных культур молочнокислых бактерий [12]. Было бы полезно провести идентификацию различных видов молочнокислых бактерий, включая мезофильные и термофильные культуры, способные эффективно расти в верблюьем молоке. Это необходимо для подбора штаммов, обеспечивающих быструю выработку молочной кислоты и снижение активной кислотности [13].

Например, в исследовании [14] установлено, что уровень рН сыра, приготовленного с использованием термофильных культур *Streptococcus thermophilus* и верблюжьего химозина, оказался выше заявленных значений (5,27) для мягкого незрелого сыра из верблюжьего молока. Содержание жира в сыре из верблюжьего молока с использованием коммерческих культур молочнокислых бактерий в данном исследовании значительно отличаются от результатов исследования автора [15], согласно которому содержание жира в сыре составляет 3,85%.

Выводы

В заключение в представленной работе было показано влияние различных заквасочных культур из молочнокислых бактерий на скорость подкисления верблюжьего молока, его физикохимические и микробиологические данные.

Также были обнаружены молочнокислые бактерии, и наиболее часто выявляемыми видами были *Lactococcus lactis*. Наше исследование показало, что наибольшее количество молочнокислых бактерий, белков, жиров, а также наибольший выход были в сырах, содержащих закваску из молочнокислых бактерий консорциума 3 и консорциума 4.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов

Габрильянц Э.А.: проведён сбор информации, её анализ, обработка и написание статьи, оформление её по требованиям.

Алибеков Р.С.: концептуализация, рецензирование и редактирование, руководство.

Список литературы

1. Dikhanbayeva F, Zhaksylykova G., Syzdykova L., Smailova Z., Tasturganova E. Production of a dairy product based on camel milk for special purposes // *Periodico Tche Quimica*. – 2019. – Vol. 16. – № 33. – P. 241-247.
2. Khatoon H., Najam R. Bioactive components in camel milk: Their nutritive value and therapeutic application // In: Watson R.R., Collier R.J., Preedy V.R. (Eds.). *Nutrients in dairy and their implications for health and disease*. – 2017. – P. 377-387.
3. Ahmed A.E., Babiker I.A., Mohamed T.E. Preparation of fresh soft cheese from dromedary camel milk using acid and heat method // *Research Opinions in Animal and Veterinary Sciences*. – 2013. – Vol. 3. – № 9. – P. 289-292.
4. Linares D.M., Gómez C., Renes E., Fresno J.M., Tornadijo M.E., Ross R.P., Stanton C. Lactic acid bacteria and bifidobacteria with potential to design natural biofunctional health-promoting dairy foods // *Frontiers in Microbiology*. – 2017. – Vol. 8. – P. 846. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00846>
5. Зиновьева М.Е., Шнайдер К.Л. Технология продуктов функционального питания. – Казань: Изд-во КНИТУ, 2016. – 176 с.
6. Seifu E. Camel milk products: innovations, limitations and opportunities // *Food Production, Processing and Nutrition*. – 2023. – Vol. 5. – P. 15. <https://doi.org/10.1186/s43014-023-00130-7>
7. Bulca S., Dumanoglu B., Özdemir Ö.C. A study on mixing camel milk with cow, sheep and goat milk in different proportions in yoghurt production // *Turkish Journal of Agriculture*. – 2019. – Vol. 7. – № 12. – P. 2095-2102.
8. Konuspayeva G., Camier B., Gaucheron F., Faye B. Some parameters to process camel milk into cheese // *Emirates Journal of Food and Agriculture*. – 2014. – Vol. 26. – № 4. – P. 354–358. <https://doi.org/10.9755/ejfa.v26i4.17277>
9. Kongo J.M. Lactic acid bacteria as starter-cultures for cheese processing: Past, present and future development // In: *Lactic Acid Bacteria*. – Intech, Croatia, 2013. – P. 2-22. <https://doi.org/10.5772/5593>
10. Kieliszek M., Pobiega K., Piwowarek K., Kot A.M. Characteristics of the proteolytic enzymes produced by lactic acid bacteria // *Molecules*. – 2021. – Vol. 26. – № 7. – P. 1858. <https://doi.org/10.3390/molecules26071858>
11. Othman M., Ariff A.B., Rios-Solis L., Halim M. Extractive fermentation of lactic acid in lactic acid bacteria cultivation: A review // *Frontiers in Microbiology*. – 2017. – Vol. 8. – P. 2285. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02285>
12. Mehaia M.A. Manufacture of fresh soft white cheese (Domiatitype) from dromedary camels milk using ultrafiltration process // *Journal of Food Technology*. – 2006. – Vol. 4. – P. 206-212.
13. Fugl A.T., et al. Characterisation of lactic acid bacteria in spontaneously fermented camel milk and selection of strains for fermentation of camel milk // *International Dairy Journal*. – 2017. – Vol. 73. – P. 19–24. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2017.04.007>

14. Hailu Y., Seifu E., Yilma Z. Physicochemical properties and consumer acceptability of soft unripened cheese made from camel milk using crude extract of ginger (*Zingiber officinale*) as coagulant // African Journal of Food Science. – 2014. – Vol. 8. – P. 87-91. <https://doi.org/10.5897/AJFS2013.1102>

15. Siddig S.M., Suliman A.M.E., Salih Z.A., Abdelmuhsin A.A. Quality characteristics of white cheese (Jibna-beida) produced using camel milk and mixture of camel milk and cow milk // International Journal of Food Science and Nutrition. – 2016. – Vol. 6. – P. 49-54.

Э.А. Габрильянц, Р.С. Алибеков

М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

Түйе сүтінен ірімшік өндіру процесінің бірқатар аспектілеріне сүт қышқылды бактериялардың әсері

Андатпа. Түйе сүтінен ірімшік өндіру технологиясын зерттеу әлемдік ғылымда өзекті мәселе болып қалып отыр және Қазақстанның азық-түлік қауіпсіздігі мен экономикалық дамуына айтарлықтай үлес қоса алады. Түйе сүтін заманауи технологиялық инновацияларды қолдана отырып, ірімшікке өңдеу қолданбалы зерттеулердің нәтижесінде мүмкін болды. Ашытқы дақылдарын, түйе химозинін қолдану және сүтті әртүрлі ингредиенттермен байыту ірімшіктің сапалық көрсеткіштерін айтарлықтай жақсартуға мүмкіндік берді. Ашытқы дақылдары, сүт қышқылды бактериялардан тұратын, ірімшік өндіруде негізгі рөл атқарады. Олар лактозаны сүт қышқылына айналдыру арқылы ұйытқының пайда болуына ықпал етеді, бұл сүттің коагуляциясына қажетті оңтайлы рН деңгейін қамтамасыз етеді. Бұл өз кезегінде технологиялық процесс пен дайын өнімнің құрамы мен сапасына әсер етеді. Бұл зерттеуде түйе сүтінен ірімшік алу үшін мезофильді, термофильді және аралас сүт қышқылды бактерияларға жататын әртүрлі коммерциялық ашытқы дақылдары қолданылды. Ірімшіктердің физика-химиялық құрамын талдау нәтижелері айтарлықтай айырмашылықтарды көрсетті: ақуыз мөлшері $11,18 \pm 1,43\%$ -дан $17,85 \pm 1,78\%$ -ға дейін, май мөлшері $34,72 \pm 0,68\%$ -дан $37,12 \pm 0,86\%$ -ға дейін, ылғалдылық $49,45 \pm 1,71\%$ -дан $66,76 \pm 1,49\%$ -ға дейін, ал белсенді қышқылдық $4,79 \pm 0,09$ -дан $5,67 \pm 0,09$ бірлікке дейін өзгерді. Түйе сүтінен ірімшік шығымы $17,97 \pm 1,35$ г/100 г-нан $27,80 \pm 1,98$ г/100 г-ға дейін құрады. Микрофлораның тіршілікке қабілеттілігін талдау CHN-19 және "Lactoferm eco" (Biochem. srl) ашытқы дақылдарын қолдану арқылы дайындалған ірімшікте тірі микроорганизмдердің ең көп мөлшері бар екенін көрсетті.

Түйін сөздер: сүт қышқылы бактериялары, биотехнология, сүт қышқылы, түйе сүті, ірімшік, микрофлора

E.A. Gabrilyants, R.S. Alibekov

M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

The influence of lactic acid bacteria on a number of aspects of the process of producing cheese from camel milk

Abstract. The study of cheese production technology from camel milk remains a relevant task in global science and can significantly contribute to food security and the economic development of Kazakhstan. The processing of camel milk into cheese using modern technological innovations has

become possible due to applied research. The use of starter cultures, camel rennet, and milk enrichment with various ingredients has significantly improved the quality parameters of cheese. Starter cultures, consisting of lactic acid bacteria, play a key role in cheese production. They facilitate curd formation by converting lactose into lactic acid, ensuring an optimal pH level for milk coagulation. This, in turn, affects the technological process, as well as the composition and quality of the final product. This study utilized various commercial starter cultures belonging to mesophilic, thermophilic, and combined lactic acid bacteria for the production of cheese from camel milk. The results of the physicochemical analysis of cheese showed significant differences: protein content ranged from $11.18 \pm 1.43\%$ to $17.85 \pm 1.78\%$, fat content from $34.72 \pm 0.68\%$ to $37.12 \pm 0.86\%$, moisture content from $49.45 \pm 1.71\%$ to $66.76 \pm 1.49\%$, and active acidity from 4.79 ± 0.09 to 5.67 ± 0.09 units. The cheese yield from camel milk ranged from 17.97 ± 1.35 to 27.80 ± 1.98 g/100 g. The analysis of viable microflora revealed that cheese prepared with CHN-19 and "Lactoferm eco" (Biochem.srl) starter cultures contained the highest number of viable microorganisms.

Keywords: lactic acid bacteria, biotechnology, lactic acid, camel milk, cheese, microflora

References

1. Dikhanbayeva F., Zhaksylykova G., Syzdykova L., Smailova Z., Tasturganova E. Production of a dairy product based on camel milk for special purposes. // *Periodico Tche Quimica*, 2019. - Vol.16(33). - P. 241-247.
2. Khatoon H., Najam R. Bioactive components in camel milk: Their nutritive value and therapeutic application. // In R.R. Watson, R.J. Collier, V.R. Preedy (Eds.), *Nutrients in dairy and their implications for health and disease*, 2017. - P. 377-387.
3. Ahmed A.E, Babiker I.A and Mohamed T.E. Preparation of fresh soft cheese from dromedary camel milk using acid and heat method // *Res. Opin. Anim. Vet. Sci*, 2013. - Vol. 3(9). - P. 289-292.
4. Linares D.M., Gómez C., Renes, E., Fresno J.M., Tornadijo M.E., Ross R.P., Stanton C. Lactic acid bacteria and bifidobacteria with potential to design natural biofunctional health-promoting dairy foods // *Front. Microbiol*, 2017. - Vol. 8. - P. 846. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00846>
5. Zinov'eva M.E., Shnajder K.L. *Tekhnologiya produktov funktsional'nogo pitaniya*. – Kazan': Izv-vo KNITU, 2016. – 176 s. [in Russian]
6. Seifu, E. Camel milk products: innovations, limitations and opportunities // *Food Prod Process and Nutr*, 2023. - Vol. 5. - P. 15 <https://doi.org/10.1186/s43014-023-00130-7>
7. Bulca S., Dumanoglu B., Ozdemir Omer C. A Study on mixing camel milk with cow, sheep and goat milk in different proportions in yoghurt production. // *Turkish Journal of Agriculture*, 2019. - Vol. 7(12). - P. 2095–2102
8. Konuspayeva G, Camier B, Gaucheron F, Faye B. Some parameters to process camel milk into cheese. // *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 2014. - Vol. 26 (4), - P. 354-8. <https://doi.org/10.9755/ejfa.v26i4.17277>
9. Kongo, J. M. Lactic acid bacteria as starter-cultures for cheese processing: Past, present and future development. In *Lactic Acid Bacteria*. // Intech, Croatia, 2013. - P. 2-22. <https://doi.org/10.5772/5593>
10. Kieliszek M, Pobiega K, Piwowarek K, Kot AM. Characteristics of the Proteolytic Enzymes Produced by Lactic Acid Bacteria. // *Molecules*. - 2021. - Vol. 26(7) - P.1858. <https://doi.org/10.3390/molecules26071858>

11. Othman M., Ariff A.B., Rios-Solis L., Halim M. Extractive Fermentation of lactic acid in lactic acid bacteria cultivation: A review. // Front. Microbiol, 2017. - Vol. 8. - P. 22-85. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02285>

12. Mehaia M.A. Manufacture of fresh soft white cheese (Domiatitype) from dromedary camels milk using ultrafiltration process. // J.Food Technol., 2006. -Vol. 4 - P. 206-212.

13. Fugl A.T., et al. Characterisation of lactic acid bacteria in spontaneously fermented camel milk and selection of strains for fermentation of camel milk. // Int. Dairy J., 2017. - Vol. 73. - P. 19-24. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2017.04.007>

14. Hailu Y., Seifu E., Yilma Z. Physicochemical properties and consumer acceptability of soft unripened cheese made from camel milk using crude extract of ginger (*Zingiber officinale*) as coagulant. // Afr. J. Food Sci., 2014 - Vol. 8. - P. 87-91. <https://doi.org/10.5897/AJFS2013.1102>

15. Siddig S.M., Suliman A.M.E., Salih Z.A., Abdelmuhsin A.A. Quality characteristics of white cheese (Jibna-beida) produced using camel milk and mixture of camel milk and cow milk // Int. J. Food Sci. and Nutrition, 2016 - Vol. 6. - P. 49-54.

Information about authors:

Gabrilyants E.A. – correspondence writer, PhD doctoral student, Department of Biotechnology. M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan.

Alibekov R.S. – candidate of chemical science, professor; M. Auezov South Kazakhstan university, Textile and Food Engineering higherschool. Shymkent, Kazakhstan.

Сведения об авторах:

Габрильянц Э.А. – автор для корреспонденции, PhD докторант, кафедра биотехнологии, Южно-Казахстанский университет им.М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан.

Алибеков Р.С. – кандидат химических наук, профессор, Высшая школа текстильной и пищевой инженерии, Южно-Казахстанский университет им. М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан.

Авторлар туралы мәліметтер:

Габрильянц Э.А. – хат-хабар авторы, биотехнология кафедрасының PhD докторанты. М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті. Әуезова, Шымкент, Қазақстан.

Әлібеков Р.С. – химия ғылымдарының кандидаты, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университетінің тоқыма және тамақ өнеркәсібі жоғары мектебінің профессоры. М.Әуезова, Шымкент, Қазақстан.



IRSTI 34.33.15
Research Article

<https://doi.org/10.32523/2616-7034-2024-149-4-75-92>

Ixodid ticks (*Acari, Ixodidae*) of the Irtysh River floodplain

Z.Z. Sayakova*^{id}, A.M. Asylbek^{id}, A.B. Yeszhanov^{id}

Republican State Enterprise "Institute of Zoology" of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan

*Corresponding author: sayakova.z@mail.kz

Abstract. Blood-sucking ticks are an integral part of the ecosystems and play a key role in the transfer of viruses, bacteria and protozoa from one organism to another. All over the world there is a problem of zoonotic infections, including vector-borne ones. In Kazakhstan, there are several foci of vector-borne infections transmitted by ixodid ticks. In the eastern region of the republic, these are natural foci of tularemia, tick-borne encephalitis, rickettsiosis, and borreliosis in humans, and blood-parasitic diseases of domestic animals, the main vectors of which are ixodid ticks. Despite the important epidemiological and epizootological significance of ixodid ticks, the acarofauna of the Irtysh region has remained poorly studied until now. Research conducted in 2023 in the floodplain of the Irtysh River, in the Pavlodar and East Kazakhstan regions, found 8 species of ixodid ticks belonging to 4 genera. Ticks were mainly collected from households and in the vicinity of populated areas. A comparative description of the faunas of the two regions was carried out and some differences were identified. The fauna of ticks in East Kazakhstan region was represented by four species: *Hyalomma scupense*, *Dermacentor marginatus*, *D. nuttalli*, *Haemaphysalis punctata*. *H. scupense* turned out to be dominant in numbers. While in Pavlodar region, 5 species were noted: *Dermacentor marginatus*, *D. reticulatus*, *Haemaphysalis concinna*, *H. erinacei*, *Rhipicephalus pumillio*. Remarkably that *H. concinna* was dominating in numbers, and 2 species have been found for the first time here: *Hyalomma scupense* – for East Kazakhstan region and *H. erinacei* – for Pavlodar region.

Keywords: Ixodid ticks, vectors, ectoparasites, bloodsucking arthropods, acarofauna of the Irtysh region

Received: 12.07.2024. Reviewed: 11.12.2024. Accepted: 11.12.2024. Available online: 20.12.2024

Introduction

Ixodid ticks are vectors of pathogens of many infectious and invasive diseases such as tularemia, tick-borne encephalitis, Crimean-Congo hemorrhagic fever, borreliosis, rickettsiosis, etc. The territory of the eastern part of Kazakhstan is unfavorable for such vector-borne diseases as tularemia, tick-borne encephalitis, and blood-sucking ticks are reservoirs and vectors of the causative agents [1]. The territory of the Pavlodar region is located in the northeast of Kazakhstan and is characterized by cold, long winters and short, hot summers. The East Kazakhstan region is located in the east of the Republic and is characterized by hot and dry summers and cold, snowy winters. The main water artery of both regions is the river. Irtysh. The Irtysh floodplain is home to a large number of species of rodents, including predators, insectivores, artiodactyls, chiropterans, lagomorphs, birds, farm and domestic animals. The climate, vegetation and a wide variety of mammals create favorable conditions for the habitat of blood-sucking arthropods, including ticks.

Despite the presence of active foci of vector-borne infections and harm caused to farm animals, today the acarofauna of Eastern Kazakhstan remains poorly studied. There is only fragmentary information about findings in the middle of the last century in the East Kazakhstan region of *Dermacentor marginatus*, *D. niveus*, *D. nuttalli*, *D. reticulatus*, *Haemaphysalis punctata*, *Ixodes crenulatus*, *I. persulcatus*, *I. ricinus*, *Rhipicephalus pumilio*, *Rh. sanguineus*, *Rh. turanicus* [1-7]. The following species of ticks are known for the territory of the Pavlodar region: *Ixodes crenulatus*, *I. lividus*, *I. persulcatus*, *I. laguri*, *Dermacentor marginatus*, *D. reticulatus*, *Haemaphysalis concinna* [8]. Unfortunately, we do not have complete data on the current state of the acarofauna of northeastern and eastern Kazakhstan. In this connection, the purpose of our research was to clarify the current state of the ixodid tick fauna of the Irtysh floodplain, to identify their biotopical distribution and determine the seasonal abundance on domestic animals, to give a comparative description of the species composition of ticks in the East Kazakhstan and Pavlodar regions.

Materials and methods

Tick have been collected on the territory of the East Kazakhstan region in the floodplain of the Black Irtysh River from April 25 to May 12, 2023 and on the territory of the Pavlodar region in the floodplain of the Irtysh River from May 26 to June 14, 2023 (Table 1).

Table 1
Collection points and sampling coordinates for ixodid ticks (Ixodida) (April – June 2023)

Point number	Date	Model site	Gathering place	Coordinates	
					longitude
1	27.04.2023	Black Irtysh	near the border Alkabek outpost, right bank, on the flag	48.01525	85.40967
2	29.04.2023	Black Irtysh	near the border Alkabek outpost, right bank, 1 Meriones tamariscinus	48.01525	85.40967

3	29.04.2023	Black Irtysh	near the border Alkabek outpost, right bank, 2 horses	48.01525	85.40967
4	29.04.2023	Black Irtysh	near the border Alkabek outpost, right bank, 4 cattle	48.01525	85.40967
5	29.04.2023	Black Irtysh	near the border Alkabek outpost, right bank, 1 cattle	48.01525	85.40967
6	29.04.2023	Black Irtysh	near the border Alkabek outpost, right bank, 3 horses	48.01525	85.40967
7	29.04.2023	Black Irtysh	near the border Alkabek outpost, right bank, 4 cattle	48.01525	85.40967
8	9.05.2023	Black Irtysh	Boran village, right bank, 7 cattle	48.00127	85.16068
9	9.05.2023	Black Irtysh	Boran village, right bank, 5 cattle	48.00127	85.16068
10	9.05.2023	Black Irtysh	Boran village, right bank, 5 cattle	48.00127	85.16068
11	9.05.2023	Black Irtysh	Aygyrkum sands, left bank, 5 cattle	47.99387	85.16150
12	9.05.2023	Black Irtysh	Aygyrkum sands, left bank, 1 horse	47.99387	85.16150
13	9.05.2023	Black Irtysh	Aygyrkum sands, left bank, 2 horses	47.99387	85.16150
14	9.05.2023	Black Irtysh	Aygyrkum sands, left bank, 1 cattle	47.99387	85.16150
15	9.05.2023	Black Irtysh	Aygyrkum sands, left bank, 1 horse	47.99387	85.16150
16	9.05.2023	Black Irtysh	Aygyrkum sands, left bank, 1 horse	47.99387	85.16150
17	9.05.2023	Black Irtysh	Aygyrkum sands, left bank, 1 sheep	47.99387	85.16150
18	9.05.2023	Black Irtysh	Aygyrkum sands, left bank, 1 cattle	47.99387	85.16150
19	27.05.2023	Pavlodar Irtysh region	Big Akzhar village, left bank, on the flag	50.812367	78.454336
20	29.05.2023	Pavlodar Irtysh region	Kyzyl Enbek village, left bank, on the flag	51.290651	77.968192
21	31.05.2023	Pavlodar Irtysh region	Kyzylzhar village, left bank, on the flag	52.474690	76.783095
22	5.06.2023	Pavlodar Irtysh region	Michurina village, right bank, on the flag	52.482584	76.799913
23	7.06.2023	Pavlodar Irtysh region	Beregovoye village, right bank, flag	53.616969	75.189289
24	31.05.2023	Pavlodar Irtysh region	Isa Baizakova village, left bank, 4 cattle	53.572976	75.145990

During the field work, the banks of the Black Irtysh and the floodplain of the river in the Pavlodar Irtysh region, channels and floodplain lakes were examined on foot and by transport routes. In total, 737 km of the route were covered (including 390 on foot), both river banks were examined in Zaisan and Kurshim districts of East Kazakhstan and in Irtysh and Pavlodar districts of the Pavlodar region. For ease of designation, studied areas were designated as the model area “Black Irtysh” – the study area in the East Kazakhstan region and the model area “Pavlodar Pre-Irtysh” – the study area in the Pavlodar region.

During the work, 20 horses, 96 cattle, 2 small cattle were examined, ticks were collected and studied from 1 wild rodent (Tamarisk jird – *Meriones tamariscinus* Pall.). A total of 683 specimens of Ixodid ticks were collected.

The identification of tick species was carried out according to morphological characteristics using identification tables [9-11], their number and age (larva, nymph and adult) were noted. As a result, 8 species of ixodid ticks belonging to 4 genera (*Hyalomma*, *Dermacentor*, *Haemaphysalis*, *Rhipicephalus*) were identified.

Results

In the semi-desert zone of the Black Irtysh floodplain (the first model area), 568 specimens of ticks belonging to 4 species and 3 genera have been collected: *Dermacentor marginatus* Sulzer, 1776, *D. nuttalli* Olenov, 1928, *Hyalomma scupense* Schulze, 1918, *Haemaphysalis punctata* Canestrini and Fanzago, 1878. The research results are shown in Table 2.

Table 2

Taxonomic composition and number of ixodid ticks (Ixodida) collected in model areas of the Irtysh basin, April – June 2023

Taxon name	Individuals collected							
	Total	Black Irtysh			Pavlodar Irtysh			
		Profiles						
		1	2	3	4	5	6	7
<i>Hyalomma scupense</i>	1	289	138	–	–	–	–	–
<i>Dermacentor marginatus</i>	3	41	71	–	7	–	2	10
<i>D. nuttalli</i>		–	22	–	–	–	–	–
<i>D. reticulatus</i>		–	–	–	–	1	5	–
<i>Haemaphysalis concinna</i>	3	–	–	–	78	5	5	–
<i>H. erinacei</i>		–	–	–	1	–	–	–
<i>H. punctata</i>		1	6	–	–	–	–	–
<i>Rhipicephalus pumillio</i>	1	–	–	–	1	–	–	–
Total by profile		331	237	0	87	6	12	10
Total	8	683						

As it is shown in Table 2, the most abundant species at the first model area was *H. scupense* (427 specimens). The next most abundant species were *D. marginatus* (112 specimens), *D. nuttalli* (22 specimens), and *Haemaphysalis punctata* (7 specimens). Nymphs of *D. marginatus* ticks were found only on the Tamarisk jird (*Meriones tamariscinus* Pall.).

On the profiles of the first model site, the greatest species diversity was noted at profile 2 (4 species). On profile 1-3 species were revealed, while profile 3 had no ticks at all. We attribute the absence of ticks in the latter case to regular disinfestation, which is carried out by the owners of a large farms located on the right and left banks of the river. In addition, the soil in this area is heavily trampled by large and small livestock.

At the second model area - Pavlodar Pre-Irtysh, 115 specimens of ixodid ticks belonging to 5 species and 4 genera were collected (*D. marginatus*, *D. reticulatus* Fabricius, 1794, *H. erinacei* Pavesi, 1884., *H. concinna* Koch, 1844., *Rhipicephalus pumillio* Schulze, 1935). The most abundant in the collections were *H. concinna* and *D. marginatus* (88 and 19 specimens, respectively). *D. reticulatus* had 6 specimens, while *Rh. pumillio* and *H. erinaceid* were represented only by 1 specimen each, and last one in a nymphal stage.

The highest species diversity of ticks in the Pavlodar Pre-Irtysh was revealed at profile 4 (4 species). And lowest diversity was at profile 7 (1 species). Profiles 5 and 6, had 2 and 3 species respectively.

Of the 7 species of ticks of the genus *Hyalomma* that live in Kazakhstan, only 1 species was found in the study area - *Hyalomma scupense* Schulze, 1918 (see Figure 1). It is a pasture-stall parasite with a one- or two-host development cycle. Widely distributed in Kazakhstan (West Kazakhstan, Atyrau, Aktobe, Kyzylorda, Turkestan, Zhambyl, Almaty, Zhetysu regions). It was found in the East Kazakhstan region for the first time. Since there is no information about the discovery of this species in the territory of the East Kazakhstan region, we can assume that this species is new to the region due to the expansion of its range in the eastern direction.

Material: 138 ♀♀ and 108 ♂♂ (246 specimens) were collected on 04/29/2023 from cattle and 39 ♀♀ and 4 ♂♂ (43 specimens) from horses near the Alkabek border post, 35 ♀♀ and 47 ♂♂ (82 specimens) - from cattle 05/09/2023 in the Boran village of the Kurchum district (Black Irtysh, right bank); 13 ♀♀ and 43 ♂♂ (56 specimens) collected from cattle in Aygyrkum sands at the Zaisan district, East Kazakhstan region (Figure 1). The species has important epidemiological and epizootological significance. In natural foci it is a vector of Crimean-Congo hemorrhagic fever, West Nile fever, tick-borne typhus, Syrdarya valley fever, Burnet's rickettsia, theileria, etc. [12-16].



Male



Female

Figure 1. Adults of *Hyalomma scupense* collected from cattle in the East Kazakhstan region

Of the 6 species of ticks of the genus *Dermacentor* known for Kazakhstan, we found 3 in the study area: *D. marginatus*, *D. nuttalli*, *D. reticulatus*.

Dermacentor marginatus Sulzer, 1776 (see Figure 2) is a three-host pasture parasite. Vector of tick-borne encephalitis, Q-fever, tick-borne typhus of North Asia, tularemia, brucellosis, Crimean hemorrhagic fever, piroplasmosis and nuttalliosis of horses, piroplasmosis of dogs, nuttalliosis of hedgehogs, babesiosis, anaplasmosis, theileriosis and brucellosis of sheep [17-23]. Widely distributed in the steppe and foothill zones of Kazakhstan: in West Kazakhstan, Aktobe, Kustanai, North Kazakhstan, Akmola, Pavlodar, Abay, East Kazakhstan, Karaganda, Zhetysu, Almaty, Zhambyl, Turkestan and Kyzylorda (eastern part) regions [1 -8, 15, 20-22]. In the East Kazakhstan region, the species was previously known in the Ulan, Bukhtarma, Bolshenyrym, Zaisan, Samara and Shemonaikha regions, and in the Pavlodar region - in the Pavlodar, Terenkol (formerly Maximo-Gorkovsky) and Sherbaktinsky (formerly Tsyuryupinsky) regions [5-7, 22]. We discovered the species in both Pavlodar and East Kazakhstan regions.



Figure 2. *Dermacentor marginatus* adults collected from cattle in the East Kazakhstan region

Material: 1 ♀, 3 ♂♂ (4 specimens) caught for the flag on April 27, 2023, 18 ♀♀, 8 ♂♂ (26 specimens) taken from cattle, 5 ♀♀, 5 ♂♂ (10 specimens) collected from horses on 04/29/2023 and 1 N taken from a *Meriones tamariscinus* on 04/29/2023 near the Alkabek border post, 20 ♀♀, 32 ♂♂ (26 specimens) collected on 05/09/2023 from cattle in the Boran village of the Kurchum district; 2 ♀♀, 9 ♂♂, 3 LL (26 specimens) taken from horses, 5 ♀♀ taken on 05/09/2023 from cattle in the sands of Aygyrkum of the Zaisan district, East Kazakhstan region.

6 ♀♀, 1 ♂♂ collected on the flag on May 27, 2023 near the Bolshoi Akzhar village of the Maysky district, 10 ♀♀ taken from cattle on May 31, 2023 in the Isa Baizakov village of the Irtysh region; 2 ♂♂ caught on the flag on 06/07/2023 near the Beregovoe village of the Terenkol district, Pavlodar region.

Dermacentor nuttalli Olenov, 1928. Pasture parasite with a three-host development cycle. Vector of tick-borne encephalitis, tick-borne typhus of North Asia, tularemia, rickettsiosis, brucellosis, borreliosis, coxiellosis, babesiosis, nuttalliosis and equine piroplasmosis [24-29]. In this regard, there is a risk of tick-borne rickettsiosis in humans when visiting biotopes where *D. nuttalli* lives.

In Kazakhstan, it lives in the southeastern part of the Zaisan depression and the foothills of the Saur ridge, confined to steppes and deserts. The adult feeds on livestock, wild ass, and dogs; immature ticks feed on rodents, hares, dogs, and cats. We found ticks on cattle in the Zaisan district of the East Kazakhstan region.

Material: 3 ♀♀, 4 ♂♂ (7 specimens) taken from cattle, 5 ♀♀, 4 ♂♂ (9 specimens) – from horses, 2 ♀♀, 4 ♂♂ (6 specimens) – from small cattle 05/09/2023, in Aygyrkum sands of the Zaisan district.

Dermacentor reticulatus Fabricius, 1794. A pasture parasite with a three-host development cycle. Vector of pathogens of piroplasmiasis, nuttalliosis and infectious encephalomyelitis of horses, piroplasmiasis of dogs, tick-borne encephalitis, Q fever, tick-borne typhus of North Asia, tularemia, brucellosis [30-35]. Widely distributed in Kazakhstan in steppe and foothill regions. In the East Kazakhstan region, it is known in the Shemonaikha district and is widespread in the Pavlodar region [7,8].

Material: 1 ♀ caught on a flag on May 29, 2023 in the vicinity Kyzylenbek village (5 profile) of the Maysky district and 1 ♀, 1 ♂ (2 specimens) were collected for the flag on May 31, 2023 in the vicinity of the Kyzylzhar village (Aksu city); 3 ♀♀ was caught on the flag in the vicinity of Michurin village (6 profile) in Pavlodar region.

Among the genus *Haemaphysalis* 5 species of ticks live in Kazakhstan, and 3 species have been found in the study area.

Haemaphysalis concinna Koch, 1844. A pasture parasite with a three-host development cycle. It feeds on all types of animals living in the species' range and also attaches itself to humans. Vector of the causative agent of typhus of North Asia, tularemia, etc. [36-41]. In the Pavlodar region it was previously known from the Akkul and Shcherbaktinsky districts, and in the East Kazakhstan region – in the Shemonaikha district [7,8].

Material: 35 ♀♀, 43 ♂♂ (78 specimens) was collected for the flag on May 27, 2023 near the Bolshoi Akzhar village (profile 4) and 3 ♀♀, 2 ♂♂ (5 specimens) were collected for the flag 29 May 2023 in the vicinity of the Kyzylenbek village (5 profile) of the Maysky district 3 ♀♀, 2 ♂♂ (5 specimens) was collected for the flag on May 31, 2023 in the vicinity of Kyzylzhar village (6 profile) of the Pavlodar region.

Haemaphysalis erinacei Pavesi, 1884. A burrow parasite that feeds mainly on small and medium-sized mammals that live in burrows. The epidemiological and epizootological significance of the species has been poorly studied; there is only information about the presence of pathogens of the genus *Rickettsia* and *Babesia* in ticks [42-44]. Due to the fact that ticks at all stages of development live in burrows and feed on wild burrowing mammals, they pose virtually no danger to people and domestic animals. However, there is information in the literature about the presence and persistence of the plague pathogen in the body.

Material: 1 nymph was caught by us on the flag on May 27, 2023 near the Bolshoi Akzhar village of the Maysky district in Pavlodar region (4th profile).

Haemaphysalis punctata Canestrini et Fanzago, 1878. Three-host pasture parasite. Widely distributed in Kazakhstan, especially in large river basins. It feeds on mammals and birds, and also attacks humans. It is a vector of *Borrelia*, *Rickettsia*, *Babesia*, etc. [45-48].

Material: 1 ♂ taken by us on April 29, 2023 from one of the four examined cows near the Alkabek border post (1 profile); 5 ♀♀ and 1 ♂ were taken on May 9, 2023 from 4 studied cows in the Boran village (2 profile) of the Kurchum district of East Kazakhstan region.

Rhipicephalus pumillio Schulze, 1935. Three-host pasture parasite. It feeds on wild and domestic animals and attacks humans. Widely distributed in Kazakhstan. Vector of pathogens of rickettsiosis, tick-borne encephalitis, etc. [49-51].

Material: 1 ♀ caught by us on the flag on May 27, 2023 near the Big Akzhar village (4 profile) of the Maysky district of Pavlodar region.

When comparing the faunas of the surveyed profiles, the greatest similarity was found between profiles 1 and 2, located on the first model site, which are grouped into one cluster with profile 7, and profiles 5 and 6 from the second model site, united into a cluster with profile 4 from the same region (see Figure 3). Only one species (*D. marginatus*) is common between the model areas, while *H. scupense*, *D. nuttalli*, *H. punctata* were not recorded by us outside the East Kazakhstan region, and *D. reticulatus*, *H. concinna*, *H. erinacei*, *Rh. pumillio* outside the Pavlodar Pre-Irtysh region. Detection of such species as *D. nuttalli* (profile 2), *H. erinacei* and *Rh. pumillio* in only one point. (profile 4), in our opinion, is due to the seasonal characteristics of the biology of these species and climatic anomalies of the current year (long cold spring, drought). Usually, all these species are widespread.

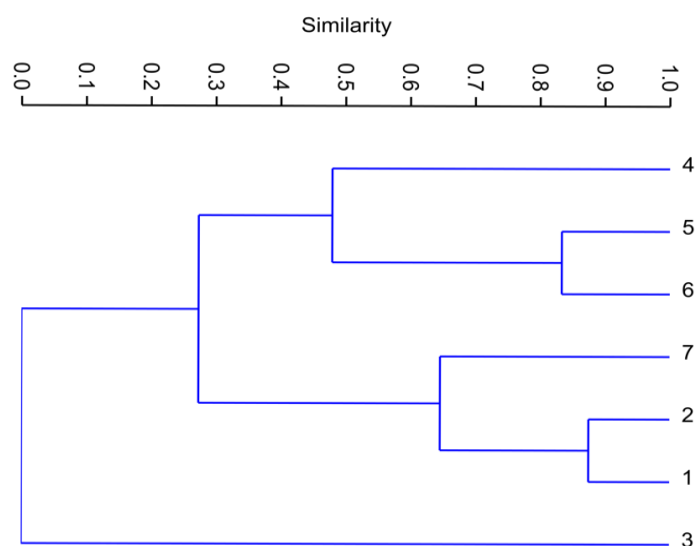


Figure 3. Dendrogram of the similarity of the ixodid tick fauna of the studied profiles (Kulchinsky Index, UPGMA method)

Almost all species identified during our work were previously recorded in the surveyed areas. It has been established that in the semi-desert, with its sparse vegetation, ticks are not widespread, as in the conditions of closed grass of the steppes, but inhabit the burrows of numerous rodents here or gravitate towards shrub and herbaceous formations. Almost all the species we collected are found in river floodplains. *H. erinacei* ticks sometimes crawl out of the burrows and remain on the soil surface near the burrow entrance. It is possible that cases of attacks on humans and cattle are associated with this biological feature of the burrowing *H. erinacei*.

We assume that the low number of ticks is largely due to the insignificant thickness of the snow cover in winter and the long, cold spring. These factors could have greatly reduced the ixodid population, and hot and dry summer exacerbated their impact. However, if conditions are favorable, the tick population will quickly recover, which will inevitably lead to the spread of tick-borne diseases that pose a threat to humans and animals.

Conclusion

In model areas in the floodplain of the Black Irtysh River and the Pavlodar Irtysh region, we identified 8 species of ticks belonging to four genera: *Hyalomma*, *Dermacentor*, *Haemaphysalis*, *Rhipicephalus*. New species for the region have been identified: *Hyalomma scupense* – not recorded in the East Kazakhstan region before our research and *Haemaphysalis erinacei* – new for the Pavlodar region. Ixodid tick activity was relatively low throughout. The low number of ticks is presumably due to the long and cold spring, abnormally hot and dry summer, and the disinfestation process carried out during our collections. One of the components of the task of combating and preventing infections transmitted by blood-sucking arthropods is the study of the fauna, biology and ecological characteristics of these parasites. However, constant monitoring of the numbers, distribution and ecology of these bloodsuckers is necessary, since the main goal of all the work being done is to preserve human health.

Source of financing

This research was funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan, the Scientific Program “Assessment of biological resources of the Kazakh part of the transboundary Irtysh basin in the context of climate change (BR18574062).

Conflict of interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

Authors' contribution

Sayakova Z.Z.: conceptualization, research, preparation and editing of the manuscript.

Eszhanov A.B.: conceptualization, approval of the final manuscript.

Asylbek A.M.: conceptualization, research, approval of the final manuscript.

References

1. Rahravani M. The epidemiological survey of *Coxiella burnetii* in small ruminants and their ticks in Western Iran // BMC Veterinary Research. - 2022. - Т. 18. - № 1. - С. 1-7.
2. Карташов М.Ю. Генотипирование возбудителей клещевых инфекций и определение видового состава клещей, нападающих на людей в Новосибирске и его пригородах // Инфекция и иммунитет. - 2022. - Т. 12. - № 6. - С. 1103-1112.
3. Щит И.Ю. Мониторинг клещей - переносчиков возбудителей инфекций на территории Ульяновской области // Бактериология. - 2021. - Т. 6. - № 1. - С. 16-24.

4. Rocafort-ferrer G., Leblond A., Joulié A., René-martellet M., Sandoz A., Poux V., Pradier S., Barry S., Vial L., Legrand L. Molecular assessment of *Theileria equi* and *Babesia caballi* prevalence in horses and ticks on horses in Southeastern France // *Parasitology Research*. - 2022. - Т. 121. - № 3. - С. 999-1008.

5. Ömer Orkun. Description of a novel *Babesia* sp. genotype from a naturally infected Eurasian lynx (*Lynx lynx*) in Anatolia, Turkey, with remarks on its morphology and phylogenetic relation to other piroplasmid species // *Ticks and Tick-borne Diseases*. - 2022. - Volume 13, - Issue 6, November, 102026. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877959X22001285>

6. Christova I. TBE in Bulgaria Tick-borne encephalitis - The Book. - 2023. <https://tbenews.com/tbe/tbe12b5/>

7. Ivan T., Matei I.A., Novac C.Ş., Kalmár Z., Borşan S.D., Panait L.C., Gherman C.M., Ionică A.M., Papuc I., Mihalca A.D. Spotted fever group *Rickettsia* spp. diversity in ticks and the first report of *Rickettsia hoogstraalii* in Romania // *Veterinary Sciences*. - 2022. - Т. 9. - № 7. - С. 343.

8. Углева С.В., Шабалина С.В. Риккетсиозы в регионе Нижнего Поволжья // *Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии*. - 2021. - Т. 98. - № 2. - С. 231-238.

9. Рудаков Н.В., Шпынов С.Н., Пеньевская Н.А., Блох А.И., Решетникова Т.А., Самойленко И.Е., Кумпан Л.В., Штрек С.В., Савельев Д.А., Абрамова Н.В., Транквилевский Д.В. Особенности эпидемиологической ситуации по клещевым риккетсиозам в Российской Федерации в 2010-2020 гг. и прогноз на 2021 г // *Проблемы особо опасных инфекций*. - 2021. - № 1. - С. 73-80.

10. Нурмаханов Т.И., Ерубаяев Т.К., Сансызбаев Е.Б., Туребеков Н.А., Абдиева К.С., Усенбекова Д.С., Есходжаев О.У., Аймаханов Б.К., Далибаев Ж.С., Кулемин М.В., Калмакова М.А., Копкова А.И. Результаты исследования клещей на обнаружение вирусов Карши, Тамды, Иссык-Кульской лихорадки, лихорадки долины Сырдарьи // *Вестник Карагандинского университета. Серия: Биология. Медицина. География*. - 2021. - Т. 102. - № 2. - С. 43-50.

11. Кулемин М.В., Абуова Г.Н., Сарыпбекова Л.Л., Полукчи Т.В., Алиев Д.С., Садыхова Д.К., Мавзютова Г.А., Хасанова Г.М. Распространенность клещей, переносчиков вируса Конго-Крымской геморрагической лихорадки, на территории Казахстана // *Медицинский вестник Башкортостана*. - 2023. - Т. 18. - № 2 (104). - С. 84-87.

12. Нурмаханов Т.И., Туребеков Н.А., Туханова Н.Б., Саякова З.З., Аймаханов Б.К., Садовская В.П., Кулемин М.В., Калмакова М.А., Копкова А.И., Коныратбаев К.К., Бисеналиев Г.К., Калдыбаев Т.Е., Камзина Ж. К., Сейтпешов У.А., Калпакбаев Х.Х. Результаты проведения скринингового изучения зараженности клещей вирусом Крым-Конго геморрагической лихорадки в южных и западных областях Казахстана // *Материалы международного симпозиума «Единое здоровье – взгляд в будущее»*. 27 октября 2022 г. – Алматы, 2022. – С. 64-65.

13. Майканов Н.С. Эпидемическое значение кровососущих насекомых и паукообразных Западного Казахстана // *Вестник ЗКУ*. - 2022. - № 2 (86). - С. 228-236.

14. Катуюва Ж.У., Саякова З.З., Жаймахова А.Ж., Койлыбаев Т.Т., Утемисова Р.А. Сведения о фауне иксодовых клещей (Acari, Ixodidae) на севере Актюбинской области // *Биологические науки Казахстана*. - 2021. - № 1. - С. 94-107.

15. Jia Y., Wang S., Wang Y., Yang M., Ulzhan N., Omarova K., Liu Z., Kazkhan O. First detection of Tacheng Tick Virus 2 in hard ticks from Southeastern Kazakhstan // *Kafkas Universitesi Veteriner Fakultesi Dergisi*. - 2022. - Т. 28. - № 1. - С. 139-142.

16. Избанова У.А., Лухнова Л.Ю., Саякова З.З., Садовская В.П., Кирьянова Ю.С. Ретроспективный анализ и современная пространственно-временная характеристика очагов туляремии на территории Восточно-Казахстанской области // Наука и здравоохранение. Рецензируемый медицинский научно-практический журнал. – 2023. - № 5 (Том 25). – С. 112-120.
17. Саякова З.З. Қазақстандағы иксодты кенелердің анықтағышы. Әдістемелік құрал. – Алматы: Қазақ университеті, 2020. – 144 б.
18. Grassi L., Drigo M., Cassini R., Mondin A., Pasotto D., Sinigaglia R., Rocca G., Menandro M.L. High prevalence of *Rickettsia slovaca* in *Dermacentor marginatus* in Euganean Hills Regional Park // International Journal of Infectious Diseases. - 2022. - T. 116. - C. S120.
19. Barlozzari G. Scalp eschar and neck lymphadenopathy by *Rickettsia slovaca* after *Dermacentor marginatus* tick bite case report: multidisciplinary approach to a tick-borne disease // BMC Infectious Diseases. - 2021. - T. 21. - № 1. - C. 1-4.
20. Matulis G.A., Sakolvaree J., Boldbaatar B., Cleary N., Takhampunya R., Poole-Smith B.K., Lilak A.A., Altantogtokh D., Tsogbadrakh N., Chanarat N., Youngdech N., Lindroth E.J., Fiorenzano J.M., Letizia A.G., von Fricken M.E. Applying next generation sequencing to detect tick-pathogens in *Dermacentor nuttalli*, *Ixodes persulcatus*, and *Hyalomma asiaticum* collected from Mongolia // Ticks and Tick-borne Diseases. - 2023. - T. 14.- № 5. - C. 102203.
21. Gui Zh., Cai H., Qi D., Zhang Sh., Fu Sh., Yu J., Si X., Cai T., Mao R. Identification and genetic diversity analysis of *Rickettsia* in *Dermacentor nuttalli* within inner Mongolia, China // Parasites & Vectors. - 2022. - T. 15. - № 1. - C. 1-8.
22. Jiao J., Lu Z., Yu Y., Ou Y., Fu M., Zhao Y., Wu N., Zhao M., Sun Y., Wen B., Zhou D., Xiong X., Yuan Q., Liu Y. Identification of tick-borne pathogens by metagenomic next-generation sequencing in *Dermacentor nuttalli* and *Ixodes persulcatus* in inner Mongolia, China // Parasites & Vectors. - 2021. - T. 14. - № 1.
23. Gui Z., Yu J., Mu L. Detection of dna in Spotted fever group *Rickettsia* carried by *Dermacentor nuttalli* in partial areas of inner Mongolia and its distribution of genotypes // Journal of Jilin University Medicine Edition. - 2021. - T. 47. - № 1. - C. 210-215.
24. Zhao Li., Ma Yi.M., Yang Bo., Han W.X., Zhao W.H., Chai H.L., Zhang Zh.Sh., Zhan Y.J., Wang Li.F., Xing Yu., Yu Lu.F., Wang J.L., Ding Yu.L., Liu Y.H. Comparative analysis of microbial communities in different growth stages of *Dermacentor nuttalli* // Frontiers in Veterinary Science. - 2022. - T. 9.
25. Ma H., Ai J., Kang M., Li J., Sun Ya. The life cycle of *Dermacentor nuttalli* from the Qinghai-Tibetan plateau under laboratory conditions and detection of spotted fever group *Rickettsia* spp // Frontiers in Veterinary Science. - 2023. - T. 10.
26. Мотлохова Е.А., Чернышов Н.А., Воронкова О.В., Есимова И.Е., Хасанова Р.Р. Анализ зараженности иксодовых клещей *Dermacentor reticulatus* патогенными риккетсиями на территории Томской области // Актуальные проблемы биомедицины-2023: материалы XXIX всероссийской конференции молодых учёных с международным участием. - Санкт-Петербург, 2023. - С. 306-307.
27. Sands B., Lihou K., Lait Ph., Wall R. Prevalence of Babesia spp. pathogens in the ticks *Dermacentor reticulatus* and *Ixodes ricinus* in the UK // Acta Tropica. - 2022. - T. 236. - C. 106692.

28. Pawełczyk O., Kotela D., Asman M., Witecka J., Wilhelmsson P., Bubel P., Solarz K. The first records of canine babesiosis in dogs from *Dermacentor reticulatus* - free zone in Poland Pathogens. - 2022. - T. 11. - № 11. - C. 1329.
29. Glazunov Y., Kabitskaya Ya., Glazunova L., Donnik I., Boyko E., Vinogradova Y. Participation of *Dermacentor reticulatus* imago in the reservation of bovine leukemia virus // OnLine Journal of Biological Sciences. - 2022. - T. 22. - № 4. - C. 456-462.
30. Didyk Yu.M., Mangová B., Špitalská E., Derdáková M. Rickettsial infection in *Ixodes ricinus* and *Dermacentor reticulatus* ticks in urban green areas OF Ukraine // Biologia. - 2023. - T. 78. - № 8. - C. 2099-2106.
31. Pańczuk A., Tokarska-Rodak M., Teodorowicz P., Pawłowicz-Sosnowska E. Tick-borne pathogens in *Dermacentor reticulatus* collected from dogs in eastern Poland // Experimental and Applied Acarology. - 2022. - T. 86. - № 3. - C. 419-429.
32. Sameroff S., Tokarz R., Jain K., Oleynik A., Yates R.A., Lipkin W.I., Oura C.A.L., Vucelja M., Boljfačić M., Bjedov L., Margaletić J., Krajinović L.C., Markotić A. Virome of *Ixodes ricinus*, *Dermacentor reticulatus*, and *Haemaphysalis concinna* ticks from Croatia // Viruses. - 2022. - T. 14. - № 5.
33. Răileanu C., Tauchmann O., Silaghi C. Sympatric occurrence of *Ixodes ricinus* with *Dermacentor reticulatus* and *Haemaphysalis concinna* and the associated tick-borne pathogens near the German baltic coast // Parasites & Vectors. - 2022. - T. 15. - № 1.
34. Dwużnik-Szarek D., Mierzejewska E.J., Alsarraf M., Bajer A. Pathogens detected in the tick *Haemaphysalis concinna* in western Poland: known and unknown threats // Experimental and Applied Acarology. - 2021. - T. 84. - № 4. - C. 769-783.
35. Wang Y.-N., Ding H., Wang N., Zhang Y.-F., Li Y., Chen J.-J., Zhang P.-H., Li H., Jiang J.-F., Wang G., Zhang X.-A., Liu W., Jiang R.-R., Yu M.-B., Zhang X.-L., Liu L.-Z. First detection of Mukawa virus in *Ixodes persulcatus* and *Haemaphysalis concinna* in China // Frontiers in Microbiology. - 2022. T. 13. C. 791563.
36. Shi M., Qin T., Liu Zh., Feng H., Sun Yi. Molecular detection of *Candidatus Coxiella mudorwiae* in *Haemaphysalis concinna* in China // Zoonoses. - 2022. - T. 2. - № 1.
37. Qiu H., Lv Q., Chang Q., Ju H., Wu T., Liu Sh., Li X., Yan Y., Gao Ju., Wang Ch. Microbiota community structure and interaction networks within *Dermacentor silvarum*, *Ixodes persulcatus*, and *Haemaphysalis concinna* // Animals. - 2022. - T. 12. - № 23. - C. 3237.
38. Карташов М.Ю., Зайцева О.А., Ашибоков У.М., Кривошеина Е.И., Тупота Н.Л., Терновой В.А., Локтев В.Б. Обнаружение новых генетических вариантов эрлихий в клещах *Haemaphysalis punctata* на территории Ставропольского края // Инфекционные болезни в современном мире: эволюция, текущие и будущие угрозы: сборник трудов XIII ежегодного Всероссийского Конгресса по инфекционным болезням имени академика В.И. Покровского; IV Всероссийской научно-практической конференции; VI Всероссийского симпозиума. - Москва, 2021. - С. 71-72.
39. Phipps L.P., Hansford K.M., Hernández-Triana L.M., Golding M., McGinley L., Folly A.J., Vaux A.G.C., de Marco M.F., Carter D.P., Medlock J.M., Johnson N. Detection of *Borrelia* and *Babesia* species in *Haemaphysalis punctata* ticks sampled in Southern England // Ticks and Tick-borne Diseases. - 2022. - T. 13. - № 2. - C. 101902.

3.3. Саякова, А.М. Асылбек, А.Б. Есжанов

Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің «Зоология институты» республикалық мемлекеттік қазыналық кәсіпорны, Алматы қ., Қазақстан

Ертіс өзені жайылмасының иксодты кенелері (Acari, Ixodidae)

Аңдатпа. Қансорғыш кенелер биоценоздың құрамдас бөлігі болып табылады және вирустарды, бактерияларды және қарапайымдыларды бір организмнен екінші организмге тасымалдауда рөл атқарады. Бүкіл әлемде зооноздық инфекциялар, соның ішінде тасымалдаушы инфекциялар мәселесі бар. Қазақстанда иксодты кенелері арқылы таралатын бірнеше тасымалдаушы инфекция ошақтары бар. Республиканың шығыс аймағында бұл туляремияның, кене энцефалитінің, риккетсиоздың, адамдағы боррелиоздың және үй жануарларының қан-паразиттік ауруларының табиғи ошақтары, олардың негізгі тасымалдаушылары иксодтық кенелер. Иксодты кенелердің маңызды эпидемиологиялық және эпизоотологиялық маңызына қарамастан, Ертіс өңірінің акарофаунасы осы уақытқа дейін жете зерттелмеген. 2023 жылы Ертіс өзенінің жайылмасында, Павлодар және Шығыс Қазақстан облыстарында жүргізілген зерттеулерде 4 тұқымдасқа жататын иксодты кенелердің 8 түрі анықталды. Кенелер негізінен үй шаруашылықтарынан және елді мекендердің маңайынан жиналды. Екі аймақтың фаунасына салыстырмалы сипаттама жүргізіліп, кейбір айырмашылықтары анықталды. Шығыс Қазақстан облысының кене фаунасы төрт түрмен ұсынылған: *Hyalomma scupense*, *Dermacentor marginatus*, *D. nuttalli*, *Haemaphysalis punctata*. *H. scupense* сан жағынан басым болып шықты. Павлодар облысында 5 түрі атап өтілді: *Dermacentor marginatus*, *D. reticulatus*, *Haemaphysalis concinna*, *H. erinacei*, *Rhipicephalus pumillio*. *H. concinna* саны бойынша басым болды. Облыс үшін екі жаңа түрі анықталды: *Hyalomma scupense* – Шығыс Қазақстан облысында және *H. erinacei* – Павлодар облысында.

Түйінді сөздер: Иксодты кенелер, таратушылар, эктопаразиттер, қансорғыш буынаяқтылар, Ертіс өңірінің акарофаунасы

3.3. Саякова, А.М. Асылбек, А.Б. Есжанов

Республиканское государственное предприятие «Институт зоологии» Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, Алматы, Казахстан

Иксодовые клещи (Acari, Ixodidae) поймы реки Иртыш

Аннотация. Кровососущие клещи являются неотъемлемой частью биоценоза и играют роль в переносе вирусов, бактерий и простейших от одного организма к другому. Во всем мире существует проблема зоонозных инфекций, в том числе и трансмиссивных. В Казахстане функционируют несколько очагов трансмиссивных инфекций, передающихся иксодовыми клещами. В восточном регионе республики это природные очаги туляремии, клещевого энцефалита, риккетсиозов, боррелиозов людей и кровепаразитарных заболеваний домашних животных, основными переносчиками которых являются иксодовые клещи. Несмотря на важное эпидемиологическое и эпизоотологическое значение иксодовых клещей акарофауна Прииртышья до настоящего времени оставалась слабоизученной. Исследованиями, проведенными в 2023 году в пойме реки

Иртыш, на территории Павлодарской и Восточно-Казахстанской области были обнаружены 8 видов иксодовых клещей, принадлежащих к 4 родам. Клещи, в основном, были собраны с домашних и в окрестностях населенных пунктов. Была проведена сравнительная характеристика фаун двух регионов и выявлены некоторые отличия. Фауна клещей Восточно-Казахстанской области была представлена четырьмя видами: *Hyalomma scupense*, *Dermacentor marginatus*, *D. nuttalli*, *Haemaphysalis punctata*. Доминирующим по численности оказался *H. scupense*. В Павлодарской области было отмечено 5 видов: *Dermacentor marginatus*, *D. reticulatus*, *Haemaphysalis concinna*, *H. erinacei*, *Rhipicephalus pumillio*. Доминировал по численности *H. concinna*. Выявлено два новых для территории областей вида: *Hyalomma scupense* – в Восточно-Казахстанской области и *H. erinacei* – в Павлодарской области.

Ключевые слова: иксодовые клещи, переносчики, эктопаразиты, кровососущие членистоногие, акарофауна Прииртышья

References

1. Rahravani M. The epidemiological survey of *Coxiella burnetii* in small ruminants and their ticks in Western Iran, BMC Veterinary Research, 18(1), 292 (2022). DOI: <https://doi.org/10.1186/s12917-022-03396-0>.
2. Kartashov M.Yu. Genotipirovanie vozбудitelej kleshchevyh infekcij i opredelenie vidovogo sostava kleshchej, napadayushchih na lyudej v Novosibirsk i ego prigorodah [Genotyping of pathogens of tick-borne infections and determination of the species composition of ticks attacking people in Novosibirsk and its suburbs], Infekciya i immunitet [Infection and Immunity], 6(12), 1103-1112 (2022). [in Russian]
3. Shit I.Y. Monitoring kleshchej - perenoschikov vozбудitelej infekcij na territorii Ul'yanovskoj oblasti [Monitoring of ticks - carriers of infectious agents on the territory of the Ulyanovsk region], Bakteriologiya [Bacteriology], 1(6), 16-24 (2021). [in Russian]
4. Rocafort-ferrer G., Leblond A., Joulié A., René-martellet M., Sandoz A., Poux V., Pradier S., Barry S., Vial L., Legrand L. Molecular assessment of *Theileria equi* and *Babesia caballi* prevalence in horses and ticks on horses in Southeastern France, Parasitology Research, 121(3), 999-1008 (2022). DOI: <https://doi.org/10.1007/s00436-022-07441-7>.
5. Ömer Orkun. Description of a novel *Babesia* sp. genotype from a naturally infected Eurasian lynx (*Lynx lynx*) in Anatolia, Turkey, with remarks on its morphology and phylogenetic relation to other piroplasmid species, Ticks and Tick-borne Diseases, 6(13), 102026 (2022). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2022.102026>
6. Christova I. TBE in Bulgaria Tick-borne encephalitis, The Book, (2023). <https://tbenews.com/tbe/tbe12b5/>.
7. Talida I., Matei I.A., Novac C.Ş., Kalmár Z., Borşan S.-D., Panait L.-C., Gherman C.M., Ionică A.M., Papuc I., Mihalca A.D. Spotted fever group *Rickettsia* spp. diversity in ticks and the first report of *Rickettsia hoogstraalii* in Romania, Veterinary Sciences, 9(7), 343 (2022). DOI: <https://doi.org/10.3390/vetsci9070343>.
8. Ugleva S.V., Shabalina S.V. Rikketsiozy v regione Nizhnego Povolzh'ya [Rickettsial diseases in the Lower Volga region], Zhurnal mikrobiologii, epidemiologii i immunobiologii [Journal of Microbiology, Epidemiology and Immunobiology], 98(2), 231-238 (2021). [in Russian]
9. Rudakov N.V., Shpynov S.N., Penevskaya N.A., Blokh A.I., Reshetnikova T.A., Samoilenko I.E., Kumpan L.V., Shtreck S.V., Savelyev D. A.A., Abramova N.V., Trankvilevsky D.V. Osobennosti epidemiologicheskoy situacii po kleshchevym rikketsiozam v Rossijskoj Federacii V 2010-2020 gg. i prognoz na 2021 g

[Features of the epidemiological situation regarding tick-borne rickettsioses in the Russian Federation in 2010-2020. and forecast for 2021], Problemy osobo opasnyh infekcij [Problems of especially dangerous infections], 1, 73-80 (2021). [in Russian]

10. Nurmakhanov T.I., Erubaev T.K., Sansyzbaev E.B., Turebekov N.A., Abdieva K.S., Usenbekova D.S., Eskhodzhaev O.U., Aimakhanov B.K., Dalibaev Zh. S.S., Kulemin M.V., Kalmakova M.A., Kopkova A.I. Rezul'taty issledovaniya kleshchej na obnaruzhenie virusov Karshi, Tamdy, Issyk-Kul'skoj lihoradki, lihoradki doliny Syrdar'I [Results of a study of ticks for the detection of viruses of Karshi, Tamda, Issyk-Kul fever, Syrdarya Valley fever], Vestnik Karagandinskogo universiteta. Seriya: Biologiya. Medicina. Geografiya [Bulletin of Karaganda University. Series: Biology. Medicine. Geography], 102(2), 43-50 (2021). [in Russian]

11. Kulemin M.V., Abuova G.N., Sarypbekova L.L., Polukchi T.V., Aliev D.S., Sadykhova D.K., Mavzyutova G.A., Khasanova G.M. Rasprostranennost' kleshchej, perenoschikov virusa Kongo-Krymskoj gemorragicheskoj lihoradki, na territorii Kazahstana [Prevalence of ticks, carriers of the Congo-Crimean hemorrhagic fever virus, on the territory of Kazakhstan], Medicinskij vestnik Bashkortostana [Medical Bulletin of Bashkortostan], 18(104), 84-87 (2023). [in Russian]

12. Nurmakhanov T.I., Turebekov N.A., Tukhanova N.B., Sayakova Z.Z., Aimakhanov B.K., Sadovskaya V.P., Kulemin M.V., Kalmakova M.A., Kopkova A.I., Konyratbaev K.K., Bisenaliev G.K., Kaldybaev T.E., Kamzina Zh.K., Seitpeshov U.A., Kalpakbaev Kh.Kh. Rezul'taty provedeniya skringovogo izucheniya zarazhennosti kleshchej virusom Krym - Kongo gemorragicheskoj lihoradki v yuzhnyh i zapadnyh oblastyah Kazahstana [Results of a screening study of tick infection with the Crimea-Congo hemorrhagic fever virus in the southern and western regions of Kazakhstan], Materialy Mezhdunarodnogo Simpoziuma: Edinoe zdorov'e - vzglyad v budushchee [Materials of the International Symposium: One Health - A Look into the Future], Almaty, 64-65 (2022). [in Russian]

13. Maykanov, N.S. Epidemicheskoe znachenie krovososushchih nasekomyh i paukoobraznyh Zapadnogo Kazahstana [Epidemic significance of blood-sucking insects and arachnids of Western Kazakhstan], Vestnik Zapadno-Kazahstanskogo universiteta [Bulletin of West Kazakhstan University], 2(86), 228-236(2022). [in Russian]

14. Katuova Zh.U., Sayakova Z.Z., Zhaimakhova A.Zh., Koilybaev T.T., Utemisova R.A. Svedeniya o faune iksodovyh kleshchej (Acari, Ixodidae) na severe Aktyubinskoj oblasti [Information about the fauna of ixodid ticks (Acari, Ixodidae) in the north of the Aktobe region], Biologicheskie nauki Kazahstana [Biological Sciences of Kazakhstan], 1, 94-107 (2021). [in Russian]

15. Jia Y., Wang S., Wang Y., Yang M., Ulzhan N., Omarova K., Liu Z., Kazkhan O. First detection of Tacheng Tick Virus 2 in hard ticks from Southeastern Kazakhstan, Kafkas Universitesi Veteriner Fakultesi Dergisi, 28(1), 139-142 (2022). DOI: 10.9775/kvfd.2021.26453.

16. Izbanova U.A., Lukhnova L.Yu., Sayakova Z.Z., Sadovskaya V.P., Kiryanova Yu.S. Retrospektivnyj analiz i sovremennaya prostranstvenno-vremennaya harakteristika ochagov tulyaremii na territorii Vostochno-Kazahstanskoy oblasti [Retrospective analysis and modern spatiotemporal characteristics of tularemia foci on the territory of the East Kazakhstan region], Nauka i zdravooхранenie. Recenziruemyj medicinskij nauchno-prakticheskij zhurnal [Science and healthcare. Peer-reviewed medical scientific and practical journal], 5(25), 112-120 (2023). [in Russian]

17. Sayakova Z.Z. Kazakstandagy iksodty kenelerdin anyktagyshy. Adistemelik kural. [Identification of ixodid ticks in Kazakhstan. Methodological tool]. (Almaty, Kazak universiteti [Almaty, Kazakh University], 2020, 144 p.). [in Russian]

18. Grassi L., Drigo M., Cassini R., Mondin A., Pasotto D., Sinigaglia R., Rocca G., Menandro M.L. High prevalence of *Rickettsia slovaca* in *Dermacentor marginatus* in Euganean Hills Regional Park, International Journal of Infectious Diseases, 12(8), 967 (2022). DOI: <https://doi.org/10.3390/ani12080967>.
19. Barlozzari G. Scalp eschar and neck lymphadenopathy by *Rickettsia slovaca* after *Dermacentor marginatus* tick bite case report: multidisciplinary approach to a tick-borne disease, BMC Infectious Diseases, 21(1), 1-4 (2021). DOI: <https://doi.org/10.1186/s12879-021-05807-3>
20. Matulis G.A., Sakolvaree J., Boldbaatar B., Cleary N., Takhampunya R., Poole-Smith B.K., Lilak A.A., Altantogtokh D., Tsogbadrakh N., Chanarat N., Youngdech N., Lindroth E.J., Fiorenzano J.M., Letizia A.G., von Fricken M.E. Applying next generation sequencing to detect tick-pathogens in *Dermacentor nuttalli*, *Ixodes persulcatus*, and *Hyalomma asiaticum* collected from Mongolia, Ticks and Tick-borne Diseases, 14(5), 102203 (2023). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2023.102203>
21. Gui Zh., Cai H., Qi D., Zhang Sh., Fu Sh., Yu J., Si X., Cai T., Mao R. Identification and genetic diversity analysis of *Rickettsia* in *Dermacentor nuttalli* within inner Mongolia, China, Parasites & Vectors, 15(1), 1-8 (2022). DOI: <https://doi.org/10.1186/s13071-022-05387-4>
22. Jiao J., Lu Z., Yu Y., Ou Y., Fu M., Zhao Y., Wu N., Zhao M., Sun Y., Wen B., Zhou D., Xiong X., Yuan Q., Liu Y. Identification of tick-borne pathogens by metagenomic next-generation sequencing in *Dermacentor nuttalli* and *Ixodes persulcatus* in inner Mongolia, China, Parasites & Vectors, 14(1), 287 (2021). DOI: <https://doi.org/10.1186/s13071-021-04740-3>
23. Gui Z., Yu J., Mu L. Detection of dna in Spotted fever group *Rickettsia* carried by *Dermacentor nuttalli* in partial areas of inner Mongolia and its distribution of genotypes // Journal of Jilin University Medicine Edition, 47(1), 210-215 (2021). DOI: [doi: 10.13481/j.1671-587x.20210129](https://doi.org/10.13481/j.1671-587x.20210129).
24. Zhao Li., Ma Yi.M., Yang Bo., Han W.X., Zhao W.H., Chai H.L., Zhang Zh.Sh., Zhan Y.J., Wang Li.F., Xing Yu., Yu Lu.F., Wang J.L., Ding Yu.L., Liu Y.H. Comparative analysis of microbial communities in different growth stages of *Dermacentor nuttalli*, Frontiers in Veterinary Science, 9, (2022). DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.1021426>
25. Ma H., Ai J., Kang M., Li J., Sun Ya. The life cycle of *Dermacentor nuttalli* from the Qinghai-Tibetan plateau under laboratory conditions and detection of spotted fever group *Rickettsia* spp., Frontiers in Veterinary Science, 10, (2023). DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1126266>
26. Motlokhova E.A., Chernyshov N.A., Voronkova O.V., Yesimova I.E., Khasanova R.R. Analiz zarazhennosti iksodovyh kleshchej *Dermacentor reticulatus* patogennymi rikketsiyami na territorii Tomskoj oblasti [Analysis of infection of ixodid ticks *Dermacentor reticulatus* with pathogenic rickettsia in the Tomsk region], Materialy XXIX vserossijskoj konferencii molodyh uchyonyh s mezhdunarodnym uchastiem: Aktual'nye problemy biomeditsiny [Materials of the XXIX All-Russian Conference of Young Scientists with International Participation: Current problems of biomedicine], Sankt-Peterburg, 306-307 (2023). [in Russian]
27. Sands B., Lihou K., Lait Ph., Wall R. Prevalence of *Babesia* spp. pathogens in the ticks *Dermacentor reticulatus* and *Ixodes ricinus* in the UK, Acta Tropica, 236, 106692 (2022). DOI: [doi: 10.1016/j.actatropica.2022.106692](https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2022.106692).
28. Pawełczyk O., Kotela D., Asman M., Witecka J., Wilhelmsson P., Bubel P., Solarz K. The first records of canine babesiosis in dogs from *Dermacentor reticulatus* - free zone in Poland Pathogens, 11(11), 1329 (2022). DOI: <https://doi.org/10.3390/pathogens11111329>.

29. Glazunov Y., Kabitskaya Ya., Glazunova L., Donnik I., Boyko E., Vinogradova Y. Participation of *Dermacentor reticulatus* imago in the reservation of bovine leukemia virus, *OnLine Journal of Biological Sciences*, 22(4), 456-462 (2022). DOI: <https://doi.org/10.3844/ojbsci.2022.456.462>.
30. Didyk Yu.M., Mangová B., Špitalská E., Derdáková M. Rickettsial infection in *Ixodes ricinus* and *Dermacentor reticulatus* ticks in urban green areas of Ukraine, *Biologia*. 78(8), 2099-2106 (2023). DOI: <https://doi.org/10.1007/s11756-023-01323-8>.
31. Pańczuk A., Tokarska-Rodak M., Teodorowicz P., Pawłowicz-Sosnowska E. Tick-borne pathogens in *Dermacentor reticulatus* collected from dogs in eastern Poland, *Experimental and Applied Acarology*, 86(3), 419-429 (2022). DOI: <https://doi.org/10.1007/s10493-022-00700-3>.
32. Sameroff S., Tokarz R., Jain K., Oleynik A., Yates R.A., Lipkin W.I., Oura C.A.L., Vucelja M., Boljfečić M., Bjedov L., Margaletić J., Krajinović L.C., Markotić A. Virome of *Ixodes ricinus*, *Dermacentor reticulatus*, and *Haemaphysalis concinna* ticks from Croatia, *Viruses*, 14(5), (2022). DOI: <https://doi.org/10.3390/v14050929>.
33. Răileanu C., Tauchmann O., Silaghi C. Sympatric occurrence of *Ixodes ricinus* with *Dermacentor reticulatus* and *Haemaphysalis concinna* and the associated tick-borne pathogens near the German baltic coast, *Parasites & Vectors*. 15(65), (2022). DOI: <https://doi.org/10.1186/s13071-022-05173-2>.
34. Dwuźnik-Szarek D., Mierzejewska E.J., Alsarraf M., Bajer A. Pathogens detected in the tick *Haemaphysalis concinna* in western Poland: known and unknown threats, *Experimental and Applied Acarology*, 84(4), 769-783 (2021). - T. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10493-021-00647-x>.
35. Wang Y.-N., Ding H., Wang N., Zhang Y.-F., Li Y., Chen J.-J., Zhang P.-H., Li H., Jiang J.-F., Wang G., Zhang X.-A., Liu W., Jiang R.-R., Yu M.-B., Zhang X.-L., Liu L.-Z. First detection of Mukawa virus in *Ixodes persulcatus* and *Haemaphysalis concinna* in China, *Frontiers in Microbiology*, 13, 791563 (2022). DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.791563>.
36. Shi M., Qin T., Liu Zh., Feng H., Sun Yi. Molecular detection of *Candidatus Coxiella mudroviae* in *Haemaphysalis concinna* in China, *Zoonoses*, 2(1), (2022). DOI: <https://doi.org/10.15212/ZOONOSES-2022-0041>
37. Qiu H., Lv Q., Chang Q., Ju H., Wu T., Liu Sh., Li X., Yan Y., Gao Ju., Wang Ch. Microbiota community structure and interaction networks within *Dermacentor silvarum*, *Ixodes persulcatus*, and *Haemaphysalis concinna*, *Animals*, 12(23), 32-37 (2022). DOI: <https://doi.org/10.3390/ani12233237>.
38. Kartashov M.Yu., Zaitseva O.A., Ashibokov U.M., Krivosheina E.I., Tupota N.L., Ternovoy V.A., Loktev V.B. Obnaruzhenie novyh geneticheskikh variantov erlichij v kleshchah *Haemaphysalis punctata* na territorii Stavropol'skogo kraja [Detection of new genetic variants of Ehrlichia in the ticks *Haemaphysalis punctata* on the territory of the Stavropol Territory], *Sbornik trudov HIII Ezhegodnogo Vserossijskogo Kongressa po infekcionnym bolezniam imeni akademika V.I. Pokrovskogo; IV Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii; VI Vserossijskogo simpoziuma: Infekcionnye bolezni v sovremennom mire: evolyuciya, tekushchie i budushchie ugrozy* [Proceedings of the XIII Annual All-Russian Congress on Infectious Diseases named after Academician V.I. Pokrovsky; IV All-Russian Scientific and Practical Conference; VI All-Russian Symposium Infectious diseases in the modern world: evolution, current and future threats], *Moscwa*, 71-72 (2021). [in Russian]
39. Phipps L.P., Hansford K.M., Hernández-Triana L.M., Golding M., McGinley L., Folly A.J., Vaux A.G.C., de Marco M.F., Carter D.P., Medlock J.M., Johnson N. Detection of *Borrelia* and *Babesia species* in *Haemaphysalis punctata* ticks sampled in Southern England, *Ticks and Tick-borne Diseases*, 13(2), 101902 (2022). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2022.101902>.

Information about authors:

Sayakova Z.Z. – author for correspondence, candidate of biological sciences, senior researcher at the laboratory of arachnology and other invertebrates, Republican state enterprise “Institute of Zoology” of the Ministry of Higher Education and Science of the Republic of Kazakhstan, Al-Farabi Ave., 93, 050000, Almaty, Kazakhstan.

Asylbek A.M. – Master of Science, researcher at the laboratory of arachnology and other invertebrates, Republican state enterprise “Institute of Zoology” of the Ministry of Higher Education and Science of the Republic of Kazakhstan, Al-Farabi Ave., 93, 050000, Almaty, Kazakhstan.

Yeszhanov A.B. – PhD, head of the Laboratory of arachnology and other invertebrates, Republican state enterprise “Institute of Zoology” of the Ministry of Higher Education and Science of the Republic of Kazakhstan, Al-Farabi Ave., 93, 050000, Almaty, Kazakhstan.

Сведения об авторах:

Саякова З.З. – автор для корреспонденции, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории арахнологии и других беспозвоночных, Республиканское государственное предприятие «Институт зоологии», Министерство науки и высшего образования Республики Казахстан, пр. аль-Фараби, 93, 050000, г. Алматы, Казахстан.

Асылбек А.М. – магистр естественных наук, научный сотрудник лаборатории арахнологии и других беспозвоночных, Республиканское государственное предприятие «Институт зоологии», Министерство науки и высшего образования Республики Казахстан, пр. аль-Фараби, 93, 050000, г. Алматы, Казахстан.

Есжанов А.Б. – PhD, заведующий лабораторией арахнологии и других беспозвоночных, Республиканское государственное предприятие «Институт зоологии», Министерство науки и высшего образования Республики Казахстан, пр. аль-Фараби, 93, 050000, г. Алматы, Казахстан.

Авторлар туралы мәліметтер:

Саяқова З.З. – хат-хабар авторы, биология ғылымдарының кандидаты, Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі, «Зоология институты» Республикалық мемлекеттік кәсіпорын арахнология және басқа да омыртқасыздар зертханасының аға ғылыми қызметкері, Әл-Фараби даңғылы, 93, 050000, Алматы, Қазақстан.

Асылбек А.М. – ғылым магистрі, Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі, «Зоология институты» Республикалық мемлекеттік кәсіпорын арахнология және басқа омыртқасыздар зертханасының ғылыми қызметкері, әл-Фараби даңғылы, 93, 050000, Алматы, Қазақстан.

Есжанов А.Б. – PhD, Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі «Зоология институты» Республикалық мемлекеттік кәсіпорын арахнология және басқа да омыртқасыздар зертханасының меңгерушісі, Әл-Фараби даңғылы, 93, 050000, Алматы, Қазақстан.



ХҒТАР 34.27.19

<https://doi.org/10.32523/2616-7034-2024-149-4-93-109>

Ғылыми мақала

Жаңа пробиотиктерді жасау үшін *Lactobacillus* штаммдарының микробқа қарсы белсенділігі мен стресс факторларына төзімділігін зерттеу

Д.Е. Құрманғали*^{ORCID}, Б.Т.Байқоныс^{ORCID}, А.С. Абилхадиров^{ORCID}, Ж.М. Бекшин^{ORCID},
Г.К. Абитаева^{ORCID}

Республикалық микроорганизмдер коллекциясы, Астана, Қазақстан

*Хат-хабар авторы: d.qurmangali@gmail.com

Аңдатпа. Негізгі құрамдас бөлігі пайдалы сүт қышқылы бактериялары болып табылатын пробиотикалық штаммдар биотехнологиялық өндірісте үлкен қызығушылық тудырады. Әртүрлі пробиотикалық микроорганизмдердің ішінде көптеген жағымды қасиеттерге ие *Lactobacillus*-қа ерекше көңіл бөлінеді. Зерттеу объектісі биологиялық үлгілерден бөлініп алынған *Lactobacillus* тұқымдасының сүт қышқылды бактериялары, сондай-ақ Республикалық микроорганизмдер коллекциясы биобанкінің коллекциялық штаммдары болып табылады. Зерттеудің мақсаты – пробиотиктерді дамыту үшін сүт қышқылы бактерияларының пробиотикалық қасиеттерін оқшаулау және сипаттау. Жұмыс барысында сүт қышқылды бактериялардың 15 пробиотикалық белсенді штаммдары скринингтен өтіп, Республикалық микроорганизмдер коллекциясы биобанк штаммдарының арасынан ең белсенді төрт культура (*Lactobacillus casei* 2LB, *Lactobacillus brevis* 3LB, *Lactobacillus fermentum* BV-4, *Lactobacillus plantarum* 5LB) таңдалды. Осы штаммдардың бастапқы культураларынан консорциум құрылды және әзірленіп жатқан пробиотикке қосу үшін оңтайлы нұсқасы таңдалды. Бактериялардың пробиотикалық потенциалы, соның ішінде рН төмен мәндеріне төзімділігі, осмостық қысым, шартты патогенді микроорганизмдерге автоагрегация және коагрегация сияқты қасиеттері зерттелді. Асқазан-ішек жолдарының дұшпандық ортасында лактобактериялардың тіршілігін, олардың адгезиялық қасиеттерін, микробқа қарсы заттарды өндіру және иммундық жауапты модуляциялау қабілетін анықтау үшін зерттеулер жүргізілді. Нәтижелер *Lactobacillus* штаммдарының патогендік микрофлораны тиімді басуға, ішектерді колонизациялауға және иммундық процестерді ынталандыруға қабілетті екенін көрсетті. Бұл адам денсаулығын жақсарту үшін *Lactobacillus* негізіндегі жаңа пробиотикалық препараттарды әзірлеу перспективаларын ашады. Бұл нәтижелер *Lactobacillus* пробиотикалық потенциалын және олардың функционалдық өнімдерді дамыту үшін маңызды болып табылатын штаммға тән қасиеттерін зерттеудің маңыздылығын көрсетеді.

Түйін сөздер: сүт қышқылы бактериялары, штамм, стресс факторлары, пробиотик, автоагрегация, антагонизм, коагрегация

Түсті: 17.07.2024. Қаралды: 01.11.2024. Қабылданды: 08.11.2024. Онлайн қолжетімді: 20.12.2024

Кіріспе

Сүт қышқылы бактериялары – адамның психологиялық және моральдық денсаулығына қауіпсіз әсер ететін пробиотикалық қасиеттері бар кеңінен зерттелген микроорганизмдердің бірі. СҚБ – грам-позитивті, факультативті анаэробты, қышқылға төзімді және спора түзбейтін пробиотикалық бактериялар. Сүт қышқылы бактерияларында байқалатын морфологияның негізі грам-позитивті кокктар мен таяқшалар болып табылады. Олардың айрықша ерекшеліктерінің бірі – көмірсуларды ашыту кезінде негізгі соңғы өнім ретінде сүт қышқылының өндірісі болып табылады, бұл оларды микробтардың басқа топтарынан ерекшелендіреді. Пробиотиктер бола отырып, СҚБ әртүрлі жағдайларда иесінің денсаулығын жақсартуға қабілетті. Сонымен қатар, сүт қышқылы бактерияларының көптеген түрлері қауіпсіз деп танылған мәртебеге ие, бұл олардың қолдануға жарамдылығын тағы бір рет растайды.

Сүт қышқылы бактерияларының (СҚБ) штамдарының пробиотикалық қасиеттері, атап айтқанда *Lactobacillus*, олардың денсаулыққа тигізетін пайдасына байланысты айтарлықтай қызығушылық тудырады [1,2]. *Lactobacillus*-тен тұратын пробиотиктерді қарастырған кезде олардың тиімділігінде бірнеше негізгі сипаттамалар шешуші рөл атқаратыны анықталды[3].

Қолданылатын *Lactobacillus* штаммының өзіндік ерекшелігі өте маңызды, өйткені әртүрлі штамдар денсаулыққа әртүрлі әсер етуі мүмкін. Лактобактериялардың пробиотикалық қасиеттеріне асқазан-ішек жолдарында, қышқыл ортада өмір сүру қабілеті жатады. Адгезия қабілеті болады, соның арқасында ол асқазан-ішек жолдарының, ішектің эпителий жасушаларына жабысады. Ішек микробиотасының денсаулық үшін маңыздылығын көрсететін зерттеулердің көптігіне байланысты, асқазан-ішек жолындағы лактобактериялардың көп қырлы рөлін түсіну шұғыл қажеттілікке айналды[3].

Төзімділіктен басқа, *Lactobacillus* пробиотиктерінің тағы бір маңызды сипаттамасы патогендік штамдарға қарсы антагонистік белсенділік болып табылады. Бұл белсенділік оларға ішектегі ресурстар үшін зиянды бактериялармен бәсекелесуге мүмкіндік береді, осылайша теңдестірілген және сау ішек микробиотасының қалыптасуына ықпал етеді. Сонымен қатар, *Lactobacillus* штамдарының аутоагрегацияға қабілеттілігі үлкен маңызға ие, өйткені олар агрегаттар түзуге және ішек қабырғасына жабысып, олардың колонизациясын және иесінің денсаулығына потенциалды пайда әкелетін қабілетін арттырады[4].

Қазіргі отырықшы өмір салты, үнемі өзгеріп отыратын ауа-райы, дұрыс емес және тұрақты тамақтанбау, антибиотиктерді қабылдау, стресстің болуы, бәрі адам денсаулығына кері әсер етеді [5-7]. Кем дегенде бір белгінің болуы ішек микрофлорасының нашарлауына әкеледі, нәтижесінде тітіркенген ішек синдромы пайда болады. Пробиотиктерді қолдану бұл ішектегі теңгерімсіздікті қалпына келтіруге және сау ішек микрофлорасын сақтауға арналған перспективалық шешім [8,9].

Зерттеу әдістері

ДНҚ экстракциясы, ПТР амплификациясы, 16rRNA секвенирлеу

Зерттеуде *Lactobacillaceae* тұқымдасының төрт грам-позитивті бактериялары қолданылды. Бактерияларды дені сау адамның биоматериалынан, сондай-ақ қазақтың дәстүрлі ашытылған сүт сусыны – қымыздан, үй сүзбесі сияқты тағамдардан бөлінді (Кесте 1). Оқшауланған бактериялар MRS Broth қоректік ортасында 24 сағат бойы 37°C температурада термостатта инкубацияланды. Барлық сүт қышқылы бактериялары -80°C температурада құрамында 20% глицерині бар De man Sharpa build (MRS) сорпасында сақталды [10].

Кесте 1

Пробиотикалық штаммдардың оқшаулау көздері

Штамм	Жұмыс атауы	Материалдар көздері	PKM коллекциясындағы номері
<i>Lactobacillus casei</i> 2LB	13n-1	Үй қымызы	B-RKM 0545
<i>Lactobacillus brevis</i> 3LB	13b	Үй қымызы	B-RKM 0546
<i>Lactobacillus fermentum</i> BV-4	BV-4	Дені сау адамның биоматериалы	B-RKM 0280
<i>Lactobacillus plantarum</i> 5LB	5LB	Үй сүзбесі	B-RKM 0547

Lactobacillaceae тұқымдасының барлық бактериялары 16s рРНҚ гендерін амплификациялау және секвенирлеу арқылы түрлік деңгейінде таксономиялық сәйкестендірілді. Геномдық ДНҚ 10 мл MRS - те өсірілген түнгі колониялардан алынып, амплификацияланды. ПТР шарттары келесідей болды: ДНҚ-ны алдын-ала денатурациялау үшін үлгілер 5 минут ішінде 95°C температурада инкубацияланады. Содан кейін 35 амплификация циклі орындалады, олардың әрқайсысы келесі кезеңдерді қамтиды: 30 секунд ішінде 95°C температурада денатурация, 40 секунд ішінде 55°C температурада праймерлерді күйдіру және 10 минут ішінде 72°C температурада тізбектерді ұзарту [9]. Алынған барлық ПТР өнімдері ExoSAP-it Express жиынтығымен тазартылып, реттелді. Реттілік талдауы BLAST көмегімен жүргізілді. Бірнеше реттілік тұрақтандыру ClustalW бағдарламасының көмегімен жүргізілді [11]. 16s рРНҚ гендерінің ұзындығы бар лактобактерияларға арналған филогенетикалық ағаш көршілерді қосу әдісімен салынды. Талдау MEGA 11 бағдарламасында жүргізілді. Салыстыру GenBank дерекқорындағы BLAST құралының көмегімен жүргізілді (<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>).

Төмен рН мәндеріне төзімділік

4 штамм және осы штаммдар консорциумы төмен рН концентрациясына төзімділік талдауынан өтті. Ол үшін 10 мкл көлемдегі жаңа түнгі СҚБ культурасы 1N HCl және 1N NaOH көмегімен рН 3,5; 4,5 және 6,2-ге дейін жеткізілген 190 мкл MRS сорпасында араластырылды және 37 °C температурада 2 сағат, 4 сағат және 6 сағат бойы

инкубацияланды. Әрбір 2 сағат сайын 600 нм толқын ұзындығындағы үлгілердің оптикалық тығыздығын өлшеу арқылы спектрофотометрмен төмен рН кезінде бактериялардың өсуі өлшенді [13].

Өтке төзімділік

Өт төзімділігін зерттеу үшін штамдар MRS сорпасында өсірілді. Қаныққан өт ерітіндісі (Ox bile, Himedia) ұнтақтағынан дайындалып MRS Broth-та ерітіліп, 0,3%, 0,5% және 5% дейінгі өт концентрациясына жеткізілді [6,14], шағын модификациямен. 1 мл жаңа түнгі бактериялық культураны центрифугада 7000 айн/мин 5 минут ішінде тұндырылды. Үлгілер 0,9% физиологиялық ерітіндімен 2 рет жуылды. Алынған тұнба құрамында әр түрлі концентрациясы бар өтпен 1: 10 қатынасында MRS Broth-пен араластырылды. 12-13 сағат ішінде 37°C температурадағы инкубациядан кейін өміршең бактериялардың саны Miles & Mirsa әдісімен дәйекті сұйылту арқылы анықталды [15].

NaCl төзімділігі

Оқшауланған бактериялық культуралардың NaCl-ға төзімділігі 2, 4, 6 және 8% NaCl концентрациясы бар MRS сорпасында зерттелді. Жаңа дайындалған СҚБ түнгі культурасы 37°C температурада 24 сағат бойы инкубацияланды, бақылау ретінде тек су мен қоректік орта пайдаланылды [16]. Өсу кинетикасын бақылау үшін оптикалық тығыздық 600 нм-де өлшенді.

Автоагрегациялық және коагрегациялық қабілеті

Сүт қышқылы бактерияларының автоагрегациялық қабілетін талдау үшін Koss et al әдістемесі қолданылды, шағын модификациямен. 37°C температурада өсірілген СҚБ түнгі культурасы 4°C температурада 7000g кезінде 20 минут бойы центрифугалау арқылы жиналды және фосфат-буферлік тұзды ерітіндісінде (PBS) екі рет жуылды. Алынған жасуша суспензиясы құйынды әдіспен 1 минут бойы араластырылды [17].

Жасушалық суспензияның автоагрегациясы бөлме температурасында 3 және 5 сағаттық инкубациядан кейін анықталды. 0,2 мл беткі суспензия 0,8 PBS-та сұйылтылды және бірден оптикалық тығыздығы (OD) өлшенді.

Автоагрегация пайызы $A = 1 - \left(\frac{A_{t5}}{A_{t0}} \right) * 100\%$ түрінде көрсетілді, мұндағы

A_{t5} – 600 нм-де (Microplate reader, biochrom) микропластинаны оқу құрылғысымен өлшенген сіңіруді білдіреді $t = 5$ сағ кезінде және A_{t0} – $t = 0$ кезінде сіңіруді білдіреді.

Коагрегацияны талдау үшін зерттелетін штамдар мен консорциумның суспензиясы автоагрегация әдісіне ұқсас дайындалды. Жаңа дайындалған Lactobacillaceae жасушаларының суспензиясын фосфат-буферлі тұзды ерітіндісінде (PBS) 1×10^8 CFU/мл дейін стандартталды. Барлық Lactobacillus суспензиясынан 2 мл алынып, сондай көлемдегі патогендік штамм жасушаларының суспензиясымен араластырылды (*Escherichia coli*

ATCC 25922V-RKM 0447, *Salmonella typhimurium* TA 98V-RKM 0162, *Staphylococcus aureus* 209PV-RKM 0057, *Candida albicans* ATCC – 885-653 у-RKM 0475). Қоспа араластырылып, өзіндік тұнуы үшін бөлме температурасында қалдырылды. Барлық бактериялық жасушалардың суспензиясынан көлемі 4 мл болатын бақылау пробиркалары дайындалды. Суспензиялардың сіңірілуі 5 сағат 37°C инкубациядан кейін спектрофотометрде 600 нм толқын ұзындығында өлшенді. Коагрегация келесі формула бойынша есептелді:

$$\text{Коагрегация \%} = \frac{\frac{A_x + A_y}{2} - A(x+y)}{A_x + \frac{A_y}{2}}, \text{ мұнда } x \text{ және } y \text{ штаммдардың бақылау пробиркаларына}$$

сіңуін көрсетеді және $(x + y)$ қоспалардың сіңуін көрсетеді [17, 18].

Бактерияға қарсы белсенділікті бағалау

Оқшауланған штаммдардың микробқа қарсы белсенділігі агар ұяшықтарында диффузиялық әдіспен анықталды; индикаторлық бактериялар ретінде *Escherichia coli* ATCC 25922 B-RKM 0447, *Salmonella typhimurium* TA98 B-RKM 0162, *Staphylococcus aureus* 209P B-RKM 0057, *Candida albicans* ATCC-885-653 Y-RKM 0475 пайдаланылды. Петри табақшаларына МРА ортасы құйылып, әрбір индикаторлық микроорганизм газон әдісімен егілді. Содан кейін ыдыстарда диаметрі 1 мм шұңқырлар жасалды, олар әр штаммның 100 мкл түнгі культурасымен толтырылып, 30 минутқа диффузияға қалдырылды. Әрбір индикаторлық штаммдар оңтайлы жағдайда өсу үшін қолайлы температурада түнгі инкубациядан өтті, түнгі инкубациядан кейін планшеттегі ұяшықтардың айналасындағы ореолдардың болуы тексерілді [14].

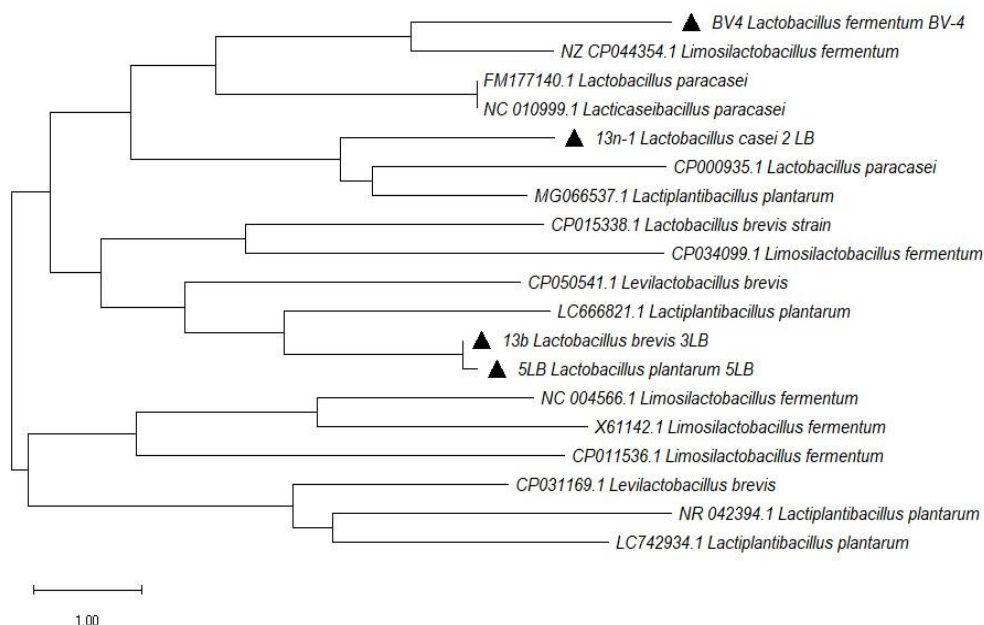
Статистикалық талдау

Статистикалық талдау үшін GraphPad Software ұсынған Prism 9.5.1 бағдарламалық құралы пайдаланылды. Эксперименттік ауытқудың болмауын қамтамасыз ету үшін әрбір эксперимент үш данада орындалды. Тәжірибелердің сенімділігін тексеру үшін Стьюденттің t-тесті қолданылып, орташа мәндердердегі айырмашылығы $p < 0,05$ құрады.

Нәтижелер және талқылау

ДНҚ экстракциясы, ПТР амплификациясы, 16 rRNA секвенирлеу

Грам-позитивті бактериялардан алынған ДНҚ протоколға сәйкес бөлініп алынды және 27F (5'-AGAGTTTGATCCTGGCTCAG-3') және 1492R (5'-ACGGYTACCTTGTTACGACTT-3') праймерлері арқылы амплификацияланды. СҚБ бактериялары 1-суретте көрсетілгендей 16S rRNA талдауы арқылы анықталды. Осылайша, 16S rRNA талдауы мен молекулалық филогенетикалық талдау негізінде оқшауланған штамм *Lactobacillus* кіретін филогенетикалық топқа тағайындалды (Сурет 1).



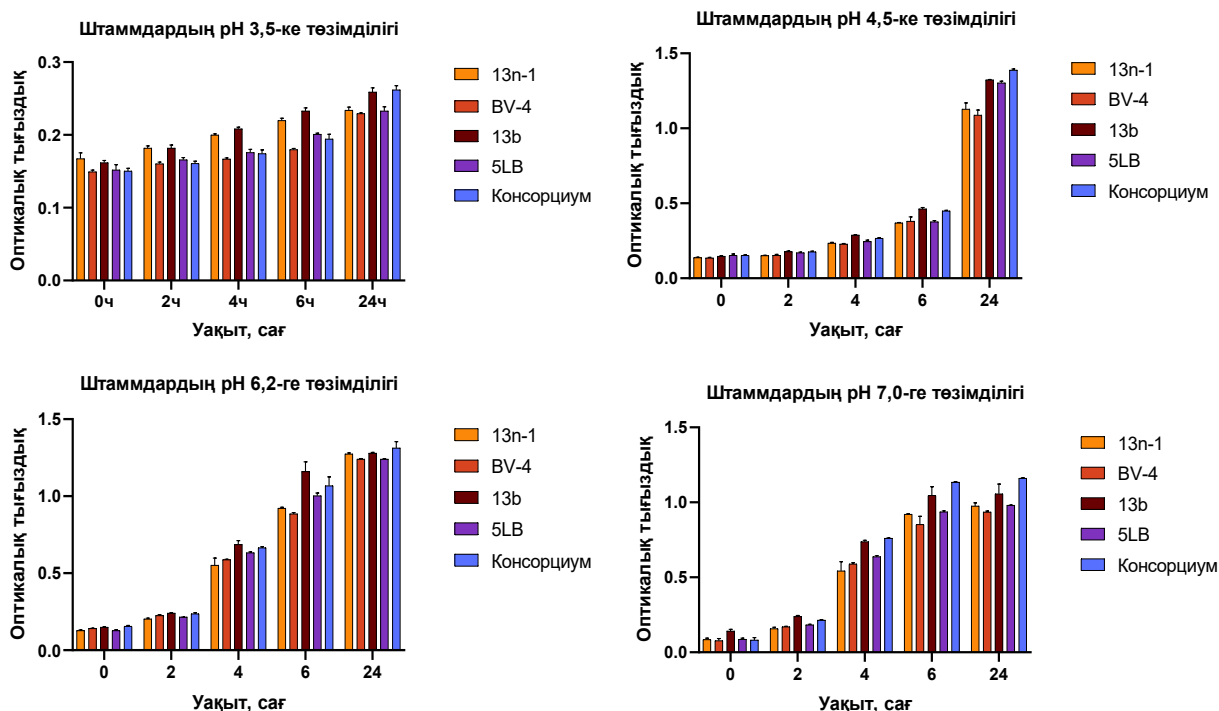
Сурет 1. 16S rRNA тізбегіне негізделген 5LB, 13b, 13n-1 және BV-4 репрезентативті штамдарының салыстырмалы орнын көрсететін филогенетикалық ағаш

Қышқыл рН мәндеріне төзімділік

СҚБ штамдары әдетте қышқыл ортаға сезімтал, қышқыл ортада олардың ішкі гомеостазды сақтау қабілеті нашарлайды, өсу және зат алмасу белсенділігі айтарлықтай төмендейді. *Lactobacillus* түрлерінің көпшілігі үшін, әсіресе адамның асқазан-ішек жолында жиі кездесетіндері үшін оңтайлы рН диапазоны әдетте 5,5 және 6,5 [19] арасында болады.

2-суретте төрт жеке изоляттың және олардың біріктірілген консорциумын 37°C температурада өсірген кезде әртүрлі рН жағдайларында (рН 3,5, рН 4,5 және рН 6,2) тұрақтылығы көрсетілген. Бақылау рН 7 ортасы болды. Изоляттарға әртүрлі рН деңгейлері және 2, 4, 6, 24 сағат инкубациялау әсер еткеннен кейін оптикалық тығыздық (ОТ) мәндерінде елеулі өзгерістер байқалды.

Зерттелген бактериялардың барлық штамдары өсудің айтарлықтай жетіспеушілігін (оптикалық тығыздық 0,3 мәнінен аспады) және рН 3,5 кезінде қышқылдық жағдайда шектеулі төзімділікті көрсетті. рН 4,5 болған кезде бактериялардың айтарлықтай өсуі тек 24 сағаттан кейін ғана байқалды және сол уақыттағы бақылаумен салыстырғанда оптикалық тығыздық мәндері бақылаудан асып түсті. Зерттелген барлық рН деңгейлерінің ішінде тұрақты өсу және бактериялық өнімділіктің жоғарылауы тек рН 6,2-де байқалды. Бір қызығы, эксперименттің соңында барлық зерттелетін объектілер үшін оптикалық тығыздық мәндері жақындасқаны назар аудартады.



Сурет 2. рН мәндері 3,5, 4,5, 6,2 және 7,0 болатын қышқыл ортада 2, 4, 6 және 24 сағат (n = 3) бойы өсірілген және 37°C температурада өсірілген пробиотикалық изоляттардың ОПТИКАЛЫҚ ТЫҒЫЗДЫҒЫ

Осылайша, рН мәнін 6,2-ге дейін оңтайландыру ең қолайлы жағдай болып табылды. Атап айтқанда, 13b штаммы және барлық төрт штаммды қоса алғандағы консорциум, сыналған барлық штаммдар арасында қышқылға төзімділікті көрсетті. Бұл осы штаммдардың, әсіресе қышқыл жағдайларда ықтимал пайдалылығын көрсетеді.

Өтке төзімділік

Зерттеу лактобактериялардың өміршеңдігі мен функционалдылығына әсер ететін ас қорыту жүйесінің құрамдас бөлігі болып табылатын өтке қалай жауап беретінін түсінуге бағытталған. Адам ағзасындағы өт тұздарының концентрациясы орналасу орнына байланысты өзгертіні белгілі және жеке ерекшеліктеріне байланысты болуы мүмкін. Өт қабында өт тұздарының концентрациясы 0,2-0,6% аралығында болады. Islam және т.б.[20], жүргізген зерттеуде аш ішекте өт тұздарының концентрациясы төмендейтіні және 40 мМ-ден 1 мМ-ге дейін өзгертіні атап өтілді, бұл 0,05% - дан 2% - ға дейінгі пайыздық диапазонға сәйкес келеді. Бұл пайыздар өттің жалпы құрамына қатысты өт тұздарының үлесін білдіреді.

Өміршеңдік пен төзімділікті бағалау бактерияларды 24 сағат өсіргеннен кейін жасуша титрлерін (n=3) санау арқылы жүргізілді. 2-ші кестеде өт концентрациясының жоғарылауы және жасуша титрлерінің 1-2 ретке төмендеуі көрсетілген. Бір қызығы,

консорциум ең жоғары төзімділікті көрсетті – 5% өт әсер еткенде жасуша титрі $6,33 \cdot 10^5$ КҚБ/мл болды. Жеке штамдардың ішінде 13b штамы ең жоғары төзімділікті көрсетті ($5,57 \cdot 10^5$ КҚБ/мл), ал BV-4 штамы ең төмен болды, жасуша титрі $2,50 \cdot 10^4$ КҚБ/мл.

Кесте 2

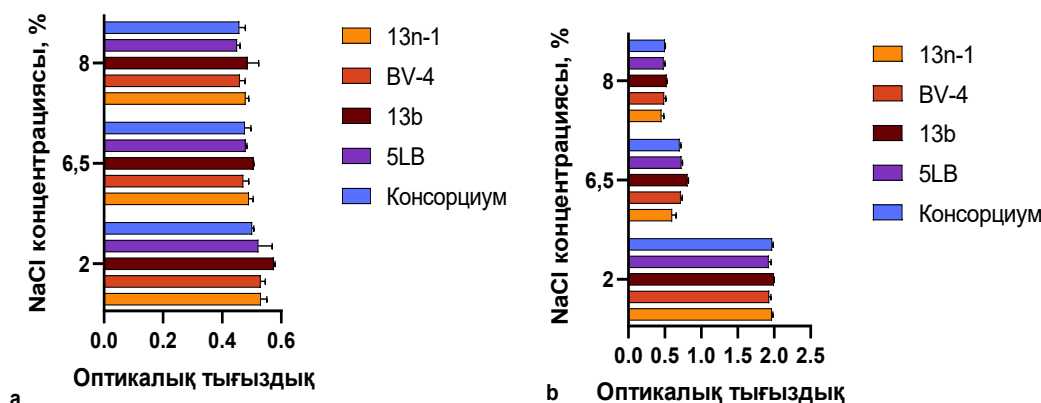
Зерттелетін лактобактериялардың 0,3%, 0,5% және 5% сиыр өті болған жағдайдағы өміршеңдігі

Штаммдар	% Өт	0,3% өт, КҚБ/мл	0,5% өт, КҚБ/мл	5% өт, КҚБ/мл
13b		$3,43 \cdot 10^8$	$4,43 \cdot 10^7$	$5,57 \cdot 10^5$
13n-1		$1,87 \cdot 10^7$	$3,90 \cdot 10^6$	$4,73 \cdot 10^5$
BV-4		$2,00 \cdot 10^7$	$1,23 \cdot 10^6$	$2,50 \cdot 10^4$
5LB		$4,33 \cdot 10^8$	$2,50 \cdot 10^6$	$3,27 \cdot 10^5$
Консорциум		$5,07 \cdot 10^8$	$4,73 \cdot 10^7$	$6,33 \cdot 10^5$

Бактериялардың 5%-дық өтке өміршеңдігі айтарлықтай жоғары екенін және агрессивті асқазан-ішек факторларында төзімділік көрсететінін атап өткен жөн. Бұл нәтижелер осы лактобактериялардың ас қорытуды жақсартуда және пробиотикалық препараттарды жасау үшін, әсіресе өт әсерінің айтарлықтай жағдайында, мысалы, асқазан-ішек жолында қолданылуы туралы құнды түсініктер береді.

NaCl төзімділігі (осмостық қысым)

Зерттеулер көрсеткендей, *Lactobacillus* изоляттары NaCl-ға оң төзімділікті көрсетті, бұл олардың осмостық қысымы жоғары ортада өмір сүру қабілетін көрсетеді. NaCl-ға төзімділіктің болуы өте маңызды, өйткені ол штамдарға осмостық күйзеліске төтеп беруге мүмкіндік береді, осылайша олардың өміршеңдігін және пробиотиктер ретінде қолданылу мүмкіндігін арттырады (сурет 3).

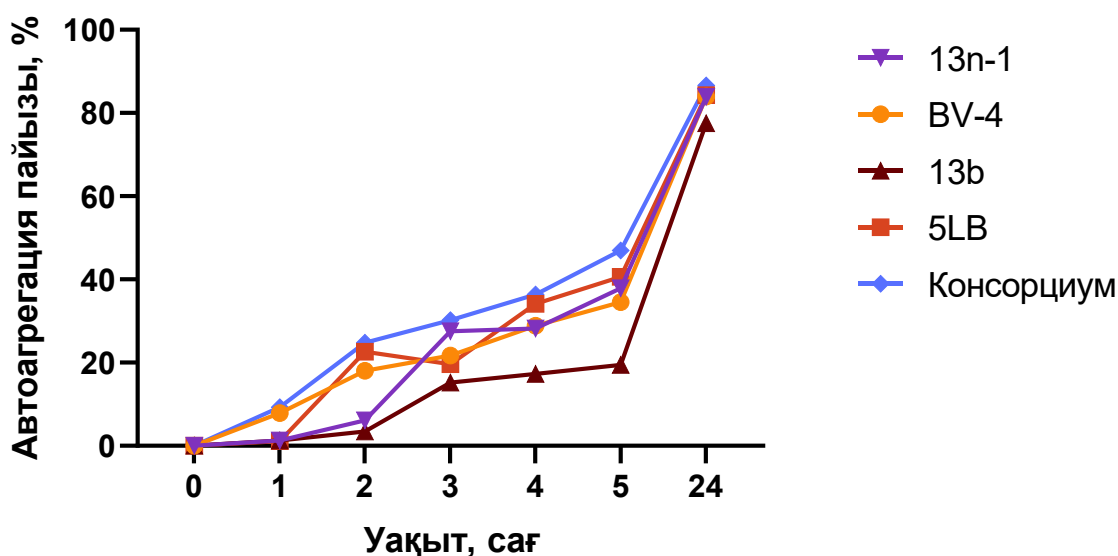


Сурет 3. Осмостық қысымның бактериялардың өсуіне әсері (a-0 сағат, b-24 сағат) барлық деректер орташа ± SD түрінде көрсетіледі

3-суреттен көріп отырғандай барлық изоляттар NaCl-дын кең диапазонына (1-8% w/v) шыдай алатынын 2% NaCl-да жақсы өсуімен анық көрсетті, содан кейін тұз концентрациясы 6,5% және 8% дейін жоғарылаған кезде өсу күрт төмендеді. Мәндер үш қайталанудың орташа мәнін білдіреді, ұқсас емес әріптер айырмашылықтарды көрсетеді ($p < 0,05$).

Автоагрегация қабілеті

Бактериялық жасушалардың ішек эпителийінде бір-бірімен байланысу және агрегаттар түзу қабілеті автоагрегация қабілеті деп аталады. Автоагрегация – пробиотикалық бактериялардың маңызды сипаттамасы болып табылады, өйткені ол олардың беткейлерге жабысып, иесінің асқазан-ішек жолын колонизациялау қабілетіне ықпал етуі мүмкін[21]. Автоагрегациялау қабілеті изоляттардың беткі қасиеттерімен және арнайы молекулалық компоненттерімен байланысты, оның қоршаған ортамен әрекеттесуіне әсер етеді және оның пробиотикалық функцияларына, мысалы, ішектің колонизациясына және иммундық жүйенің модуляциясына потенциалды әсер етеді[4]. Пробиотикалық штаммдардың автоагрегациялық қасиеттері 4-суретте көрсетілген.



Сурет 4. 37 °C температурада 5 сағат және 24 сағат инкубациядан кейінгі автоагрегацияның пайызы. 3 тәжірибеден алынған \pm SD және орташа мағынасы. Әртүрлі әріптері бар үлгілер айтарлықтай ерекшеленеді ($p < 0,05$)

Zawistowska-Rojek A. және т.б. жүргізген зерттеулерде 37°C температурада 2 сағаттық инкубациядан кейін, *Lactobacillaceae* тұқымдастарының автоагрегация мәндері 8,4%-дан 24,82%-ға дейін ауытқыды. Біздің зерттеулеріміз, Zawistowska-Rojek A. және т.б. жүргізген зерттеулермен сәйкес келіп, 3,44%-дан 24,82%-ға дейін ауытқыды [22].

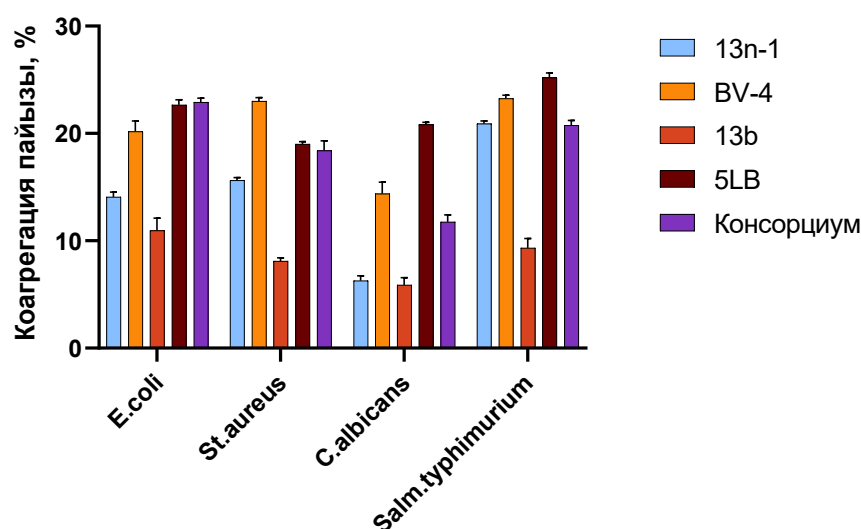
Бір сағаттық инкубациялық кезеңнен кейін консорциум мен 13b штаммы арасындағы шөгу жылдамдығының айырмашылығы байқалды. Барлық штаммдар 3 сағаттық

белгімен (15%-28%) салыстырғанда 5 сағаттық белгіде (19%-дан 47%-ға дейін) автоагрегацияның жоғарылауын көрсетті. 24 сағатта автоагрегация пайызы консорциум үшін 86,66%, 5LB изоляты үшін 84,30% және 13b изолят үшін 77,52% болды. Сонымен қатар, 13n-1 және BV-4 изоляттары сәйкесінше 83,85% және 83,94% жоғары тұрақтылық көрсетті.

Патогендік штаммдармен коагрегация

Ferreira *et al* мәліметтері бойынша, *Lactobacillus* штаммдарының коагрегация арқылы тосқауыл жасау қабілеті патогендік бактериялардың колонизациясының алдын алу үшін өте маңызды болуы мүмкін [23]. Бұл коагрегацияның қорғаныс механизмі ретіндегі маңыздылығын, патогендер үшін дұшпандық орта құру арқылы олардың өсуін азайтуды, патогенді жоюды жеңілдетуді және жергілікті микробиотаны қалпына келтіруді білдіреді, бұл кейіннен асқазан-ішек жолдарының денсаулығын сақтауға көмектеседі.

5-суретте көрсетілгендей барлық сыналған штаммдар үшін 5 сағаттық зерттеуде коагрегация қабілетінде айтарлықтай айырмашылық байқалды, коагрегацияның ең жоғары пайызы 5LB (25,20±0,40%), ал 13b ең төменгі (5,89±0,70%) көрсетті.



Сурет 5. Бес сағат ішінде зерттелген штаммдардың коагрегация пайызы

Барлық культуралар арасындағы коагрегацияның ең аз белсенділігі *Candida albicans* сынақ штаммымен әрекеттесу кезінде көрінді. Барлық төрт культураның ішінде тек *Lactiplantibacillus plantarum* 5LB орташа белсенділікті көрсетіп, 20,85±0,20% мәнін тіркеді, ал қалғандары 15%-дан аспады.

Керісінше, 13B (9,34±0,90%) қоспағанда, дақылдардың ең маңызды агрегациялық белсенділігі *Salm. Typhimurium* сынақ штаммымен жұмыс істеу кезінде байқалды, 20% - ға тең немесе одан жоғары мәндерге жетті.

Yanfeng Tao *et al* жүргізген коагуляцияны зерттеуге байланысты коагуляция мәні *L. plantarum* 24-25% диапазонында. Маңыздысы, бұл мәндер зерттелетін нақты штаммға

байланысты өзгеруі мүмкін. Біздің зерттеуімізде құрады *L. Plantarum* 5LB және Консорциум агрегация пайызы 23-24%-ды құрады, бұл Yanfeng Tao et al зерттеуінде ұсынылған нәтижелерге сәйкес келеді [21].

Антагонистік белсенділік

Lactobacillus пен патогендердің антагонистік өзара әрекеттесуі осы пробиотиктердің әртүрлі жұқпалы аурулардың алдын алу немесе емдеу және ішектің жалпы денсаулығын нығайту үшін потенциалды терапевтік қолданылуын көрсетеді. Дегенмен, тиімділігі *Lactobacillus* нақты штаммына және патогендік ағзалардың сипаттамаларына байланысты өзгеруі мүмкін.

3-кестеде көрсетілген агар ұяшығының диффузиясының нәтижелері консорциумның барлық тексерілген колонияларға қарсы елеулі антагонистік белсенділік танытқанын көрсетті, консорциум үшін тежеу аймағының диаметрі 7 мм-ден астам болды. Жеке штаммдар арасында *L. plantarum* 5LB тежеу аймағының диаметрі 6 мм-ден асатын жоғары антагонистік белсенділікті көрсетті. Керісінше, *Lactobacillus brevis* 13b төмен антагонистік потенциалды көрсетеді.

Кесте 3

Республикалық микроорганизмдер коллекциясының патогенді микроорганизмдерге қарсы төрт штаммының және олардың консорциумының антагонистік белсенділігін зерттеу

№	Штамм атауы	Антагонистік белсенділік (мм)			
		<i>Salmonella typhimurium</i> TA 98 B-RKM 0162	<i>Staphylococcus aureus</i> 209 P B-RKM 0057	<i>Candida albicans</i> ATCC- 885- 653 Y-RKM 0475	<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922
1	13n-1 L.Casei 2LB	B-RKM 0447	6,07±0,51	3,70±0,75*	9,60±1,40
2	13b L.Brevis 3LB	7,17±0,57	6,53±0,40	4,10±2,10	4,60±0,56
3	L.Plantarum 5LB	8,07±0,51	8,87±0,83*	6,67±0,45	9,57±0,60*
4	L.Fermentum BV-4	6,7±0,40	7,27±2,00	2,90±1,30	6,43±0,31*
5	Консорциум	9,5±0,5	11,70±1,50	7,60±0,60	14,23±1,17

Ескерту: *p<0,05

Тежеу аймақтары: 0 мм - нөлдік белсенділік; 1,0-4,9 мм - төмен белсенділік; 5,0-8,9 мм – орташа белсенділік; ≥ 9 мм – жоғары белсенділік

Escherichia coli-ге антагонистік белсенділікке қатысты орташа белсенділікті *Lactobacillus fermentum* BV-4 (6,43±0,31 мм) көрсетсе, *Lactobacillus brevis* 13b (4,60±0,56 мм) төмен белсенділікті, ал қалған штаммдар жоғары белсенділікті көрсетті.

Staphylococcus aureus және *Salmonella typhimurium*-ға келетін болсақ, антагонизм деңгейі зерттелген барлық төрт культура бойынша орташадан жоғары болды. Бір қызығы, тек консорциум сәйкесінше *Staphylococcus aureus* және *Salmonella typhimurium*-ға қарсы 11,70±1,50 және 9,5±0,5 антагонизмнің ерекше жоғары көрсеткішін көрсетті.

Керісінше, барлық мәдениеттердегі антагонистік белсенділіктің ең төменгі көрсеткіштері *Candida albicans* сынақ штаммына қатысты байқалды. Төрт культураның ішінде тек *Lactiplantibacillus plantarum* 5LB орташа белсенділікті $6,67 \pm 0,45$ көрсетті, бұл консорциум белсенділігінің $7,60 \pm 0,60$ деңгейіне сәйкес келеді.

Қорытынды

Зерттеулер көрсеткендей, *Lactobacillus* изоляттары қышқыл рН ортасына, өт тұздары және NaCl-ға оң төзімділік танытады, бұл олардың асқазан-ішек ортасында тіршілік ету және колонизациялау қабілетін көрсетеді. Мысалы, бұл штаммдардың рН-тың кең диапазонына төзетіні және қышқыл рН ортасында (3,5-7,0) жақсы өсетіні, сонымен қатар 2-8% NaCl және 0,3-5% өт тұздарына шыдайтыны анықталды.

Lactobacillus штаммдарының осы пробиотикалық қасиеттерін түсіну оларды пробиотиктер ретінде пайдалану үшін іріктеу және бағалау кезінде қажет. Асқазан-ішек жолдарының қатал жағдайында өмір сүру, патогендермен бәсекелесу және ішек қабырғаларына жабысу қабілетімен *Lactobacillus* пробиотиктері ішек денсаулына және жалпы әл-ауқатты нығайтуға үлкен септігін тигізеді.

Қаржыландыру:

Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім Министрлігінің ғылым комитеті қаржыландырды (грант № AR 19679863)".

Авторлардың қосқан үлесі

Құрманғали Д.Е.: тұжырымдамалау, биоинформатикалық талдау, әдістеме, мақала мәтінін жазу.

Байқоныс Т.Б.: тұжырымдамалау, әдістеме, мақаланы сыни тұрғыдан қайта қарау.

Абилхадиров А.С.: тұжырымдама мен әдіснаманы дайындады.

Бекшин Ж.М.: жобаны басқаруды қадағалады.

Абитаева Г.К.: жобаны әкімшілендіруге жетекшілік етті, тұжырымдама мен әдіснаманы дайындады, мақаланы сыни тұрғыдан қайта қарады.

Барлық авторлар зерттеуге елеулі үлес қосты, қолжазбаның соңғы нұсқасын сыни тұрғыдан қарап, мақұлдады және жұмыстың дәлдігі мен тұтастығын қамтамасыз ете отырып, оның барлық аспектілері үшін жауапкершілікті өз мойнына алуға келісті.

Әдебиеттер тізімі

1. Jose N.M. et al. Short communication: A study of *Lactobacillus* isolates' adherence to and influence on membrane integrity of human Caco-2 cells // J. Dairy Sci. –2017. –Vol. 100, № 10. –P. 7891–7896.
2. Campana R., Van Hemert S., Baffone W. Strain-specific probiotic properties of lactic acid bacteria and their interference with human intestinal pathogens invasion // Gut Pathog. –2017. –Vol. 9, № 1. –P. 12.
3. Bodke H., Jogdand S. Role of Probiotics in Human Health // Cureus. –2022.
4. Hojjati M., Behabhani B.A., Falah F. Aggregation, adherence, anti-adhesion and antagonistic activity properties relating to surface charge of probiotic *Lactobacillus brevis* gp104 against *Staphylococcus aureus* // Microb. Pathog. –2020. –Vol. 147. –P. 104420.

5. Rahayu E.S. et al. Effect of probiotic *Lactobacillus plantarum* Dad-13 powder consumption on the gut microbiota and intestinal health of overweight adults // *World J. Gastroenterol.* –2021. –Vol. 27, № 1. –P. 107–128.
6. Talib et al. Isolation and Characterization of *Lactobacillus* spp. from Kefir Samples in Malaysia // *Molecules.* –2019. –Vol. 24, № 14. –P. 2606.
7. Marasco G. et al. Probiotics, Prebiotics and Other Dietary Supplements for Gut Microbiota Modulation in Celiac Disease Patients // *Nutrients.* –2020. –Vol. 12, № 9. –P. 2674.
8. Bagon B.B. et al. Exploring the Bile Stress Response of *Lactobacillus mucosae* LM1 through Exoproteome Analysis // *Molecules.* –2021. –Vol. 26, № 18. –P. 5695.
9. Li Y. et al. Effects of two strains of *Lactobacillus* isolated from the feces of calves after fecal microbiota transplantation on growth performance, immune capacity, and intestinal barrier function of weaned calves // *Front. Microbiol.* –2023. –Vol. 14. –P. 1249628.
10. Tropcheva R. et al. Antifungal activity and identification of *Lactobacilli*, isolated from traditional dairy product “katak” // *Anaerobe.* –2014. –Vol. 28. –P. 78–84.
11. Larkin M.A. et al. Clustal W and Clustal X version 2.0 // *Bioinformatics.* –2007. –Vol. 23, № 21. –P. 2947–2948.
12. Khushboo, Karnwal A., Malik T. Characterization and selection of probiotic lactic acid bacteria from different dietary sources for development of functional foods // *Front. Microbiol.* –2023. –Vol. 14. –P. 1170725.
13. Jatmiko Y.D., Howarth G.S., Barton M.D. Assessment of probiotic properties of lactic acid bacteria isolated from Indonesian naturally fermented milk. Malang, Indonesia, –2017. –P. 050008.
14. Abitaeva G.K. et al. Harakteristika shtammov probiotikov dlia razrabotki napitkov profilakticheskogo naznacheniia, Mikrobiologiya i virusologiya [Characterization of probiotic strains for the development of preventive drinks, Microbiology and Virology], 4(39), 142-158 (2022). [Характеристика пробиотических штаммов для разработки профилактических напитков, Микробиология и вирусология], 4(39), 142-158 (2022).
15. Miles A.A., Misra S.S., Irwin J.O. The estimation of the bactericidal power of the blood // *Epidemiol. Infect.* –1938. –Vol. 38, № 6. –P. 732–749.
16. Chen Z. et al. Screening and Identification of Probiotic *Lactobacilli* from the Infant Gut Microbiota to Alleviate Lead Toxicity // *Probiotics Antimicrob. Proteins.* –2023. –Vol. 15, № 4. –P. 821–831.
17. Kos B. et al. Adhesion and aggregation ability of probiotic strain *Lactobacillus acidophilus* M92: Adhesion of *L. Acidophilus* M92 // *J. Appl. Microbiol.* –2003. –Vol. 94, № 6. –P. 981–987.
18. Pessoa W.F.B. et al. *In Vitro* Activity of *Lactobacilli* with Probiotic Potential Isolated from Cocoa Fermentation against *Gardnerella vaginalis* // *BioMed Res. Int.* –2017. –Vol. 2017. –P. 1–10.
19. Yamamura R. et al. Intestinal and fecal pH in human health // *Front. Microbiomes.* –2023. –Vol. 2. –P. 1192316.
20. Islam K.B.M.S. et al. Bile Acid Is a Host Factor That Regulates the Composition of the Cecal Microbiota in Rats // *Gastroenterology.* –2011. –Vol. 141, № 5. –P. 1773–1781.
21. Tuo Y. et al. Aggregation and adhesion properties of 22 *Lactobacillus* strains // *J. Dairy Sci.* –2013. –Vol. 96, № 7. –P. 4252–4257.
22. Zawistowska-Rojek A. et al. Adhesion and aggregation properties of *Lactobacillaceae* strains as protection ways against enteropathogenic bacteria // *Arch. Microbiol.* –2022. –Vol. 204, № 5. –P. 285.
23. Ferreira C.L. et al. *In Vitro* Evaluation of *Lactobacillus gasseri* Strains of Infant Origin on Adhesion and Aggregation of Specific Pathogens // *J. Food Prot.* –2011. –Vol. 74, № 9. –P. 1482–1487.

Д.Е. Курманғали*, Б.Т. Байқоныс, А.С. Абилхадиров, Ж.М. Бекшин, Г.К. Абитаева
Республиканская коллекция микроорганизмов, Астана, Казахстан

Изучение антимикробной активности и толерантности к стресс-факторам штаммов *Lactobacillus* для разработки нового пробиотика

Аннотация. Значительный интерес в биотехнологическом производстве представляют пробиотические штаммы, основным компонентом которых являются полезные молочнокислые бактерии. Среди различных пробиотических микроорганизмов особое внимание уделяется *Lactobacillus*, которые обладают множеством положительных свойств. Объектом исследования являются молочнокислые бактерии рода *Lactobacillus*, выделенные из биологических образцов, а также коллекционные штаммы Биобанка Республиканской коллекции микроорганизмов. Цель исследования – выделить и охарактеризовать пробиотические свойства молочнокислых бактерий для разработки пробиотиков. В ходе работы проведен скрининг 15 пробиотически активных штаммов молочнокислых бактерий и отобраны четыре наиболее активные культуры (*Lactobacillus casei* 2LB, *Lactobacillus brevis* 3LB, *Lactobacillus fermentum* BV-4, *Lactobacillus plantarum* 5LB) среди штаммов Биобанка Республиканской коллекции микроорганизмов. Создан консорциум стартовых культур этих штаммов и отобран оптимальный вариант для включения в разрабатываемый пробиотик. Изучался пробиотический потенциал бактерий, в том числе устойчивость к низким значениям pH, осмотическому давлению, такие свойства, как аутоагрегация и коагрегация к условно-патогенным микроорганизмам. Были проведены исследования по изучению выживаемости *Lactobacillus* в агрессивной среде желудочно-кишечного тракта, их адгезивных свойств, способности продуцировать антимикробные вещества и модулировать иммунный ответ. Результаты показали, что штаммы *Lactobacillus* способны эффективно подавлять патогенную микрофлору, колонизировать кишечник и стимулировать иммунные процессы. Это открывает перспективы для разработки новых пробиотических препаратов на основе *Lactobacillus* с целью улучшения здоровья человека. Эти результаты подчеркивают важность изучения пробиотического потенциала *Lactobacillus* и их штаммоспецифических свойств, которые необходимы для разработки функциональных продуктов.

Ключевые слова: молочнокислые бактерии, штамм, стресс-факторы, пробиотик, аутоагрегация, антагонизм, коагрегация

D.E. Kurmangali*¹, B.T. Baykonys², A.S. Abilkhadirov³, J.M. Bekshin⁴, G.K. Abitaeva⁵
Republican Collection of Microorganisms, Astana, Kazakhstan

Study of antimicrobial activity and tolerance to stress factors of *Lactobacillus* strains for the development of new probiotics

Abstract. Probiotic strains, the main component of which are beneficial lactic acid bacteria, are of considerable interest in biotechnological production. Among various probiotic microorganisms, special attention is paid to *Lactobacillus*, which have many positive properties. The object of the study is lactic

acid bacteria of the genus *Lactobacillus* isolated from biological samples, as well as collection strains of the Biobank of the Republican Collection of Microorganisms. The aim of the study is to isolate and characterize the probiotic properties of lactic acid bacteria for the development of probiotics. In the course of work, 15 probiotically active strains of lactic acid bacteria were screened and four most active cultures (*Lactobacillus casei* 2LB, *Lactobacillus brevis* 3LB, *Lactobacillus fermentum* BV-4, *Lactobacillus plantarum* 5LB) were selected among the strains of the Biobank of the Republican Collection of Microorganisms. A consortium of starter cultures of these strains was created and the optimal variant was selected for inclusion in the probiotic under development. The probiotic potential of bacteria was studied, including resistance to low pH values, osmotic pressure, such properties as autoaggregation and coaggregation to opportunistic microorganisms. Studies were conducted to investigate the survival of *Lactobacillus* in the aggressive environment of the gastrointestinal tract, their adhesive properties, ability to produce antimicrobial substances and modulate the immune response. The results showed that *Lactobacillus* strains can effectively suppress pathogenic microflora, colonize the intestine and stimulate immune processes. This holds promise for the development of novel *Lactobacillus*-based probiotic preparations to improve human health. These results emphasize the importance of studying the probiotic potential of *Lactobacillus* and their strain-specific properties, which are essential for the development of functional products.

Keywords: lactic acid bacteria, strain, stress factors, probiotic, autoaggregation, antagonism, coaggregation

References

1. Jose N.M. et al. Short communication: A study of *Lactobacillus* isolates' adherence to and influence on membrane integrity of human Caco-2 cells, *J. Dairy Sci.*, 100(10), 7891–7896 (2017).
2. Campana R., Van Hemert S., Baffone W. Strain-specific probiotic properties of lactic acid bacteria and their interference with human intestinal pathogens invasion, *Gut Pathog.*, 9(1), 12 (2017).
3. Bodke H., Jogdand S. Role of Probiotics in Human Health, *Cureus* (2022).
4. Hojjati M., Behabehani B.A., Falah F. Aggregation, adherence, anti-adhesion and antagonistic activity properties relating to surface charge of probiotic *Lactobacillus brevis* gp104 against *Staphylococcus aureus*, *Microb. Pathog.*, 147, 104420 (2020).
5. Rahayu E.S. et al. Effect of probiotic *Lactobacillus plantarum* Dad-13 powder consumption on the gut microbiota and intestinal health of overweight adults, *World J. Gastroenterol.*, 27(1), 107–128 (2021).
6. Talib et al. Isolation and Characterization of *Lactobacillus* spp. from Kefir Samples in Malaysia, *Molecules*, 24(14), 2606 (2019).
7. Marasco G. et al. Probiotics, Prebiotics and Other Dietary Supplements for Gut Microbiota Modulation in Celiac Disease Patients, *Nutrients*, 12(9), 2674 (2020).
8. Bagon B.B. et al. Exploring the Bile Stress Response of *Lactobacillus mucosae* LM1 through Exoproteome Analysis, *Molecules*, 26(18), 5695 (2021).
9. Li Y. et al. Effects of two strains of *Lactobacillus* isolated from the feces of calves after fecal microbiota transplantation on growth performance, immune capacity, and intestinal barrier function of weaned calves, *Front. Microbiol.*, 14, 1249628 (2023).

10. Tropcheva R. et al. Antifungal activity and identification of Lactobacilli, isolated from traditional dairy product "katak", Anaerobe, 28, 78–84 (2014).
11. Larkin M.A. et al. Clustal W and Clustal X version 2.0, Bioinformatics, 23(21), 2947–2948 (2007).
12. Khushboo, Karnwal A., Malik T. Characterization and selection of probiotic lactic acid bacteria from different dietary sources for development of functional foods, Front. Microbiol., 14, 1170725 (2023).
13. Jatmiko Y.D., Howarth G.S., Barton M.D. Assessment of probiotic properties of lactic acid bacteria isolated from Indonesian naturally fermented milk, Malang, Indonesia, 050008 (2017).
14. Abitaeva G.K. et al. Characterization of probiotic strains for the development of preventive drinks, Microbiology and Virology, 4(39), 142–158 (2022).
15. Miles A.A., Misra S.S., Irwin J.O. The estimation of the bactericidal power of the blood, Epidemiol. Infect., 38(6), 732–749 (1938).
16. Chen Z. et al. Screening and Identification of Probiotic Lactobacilli from the Infant Gut Microbiota to Alleviate Lead Toxicity, Probiotics Antimicrob. Proteins, 15(4), 821–831 (2023).
17. Kos B. et al. Adhesion and aggregation ability of probiotic strain Lactobacillus acidophilus M92: Adhesion of L. Acidophilus M92, J. Appl. Microbiol., 94(6), 981–987 (2003).
18. Pessoa W.F.B. et al. In Vitro Activity of Lactobacilli with Probiotic Potential Isolated from Cocoa Fermentation against Gardnerella vaginalis, BioMed Res. Int., 2017, 1–10 (2017).
19. Yamamura R. et al. Intestinal and fecal pH in human health, Front. Microbiomes, 2, 1192316 (2023).
20. Islam K.B.M.S. et al. Bile Acid Is a Host Factor That Regulates the Composition of the Cecal Microbiota in Rats, Gastroenterology, 141(5), 1773–1781 (2011).
21. Tuo Y. et al. Aggregation and adhesion properties of 22 Lactobacillus strains, J. Dairy Sci., 96(7), 4252–4257 (2013).
22. Zawistowska-Rojek A. et al. Adhesion and aggregation properties of Lactobacillaceae strains as protection ways against enteropathogenic bacteria, Arch. Microbiol., 204(5), 285 (2022).
23. Ferreira C.L. et al. In Vitro Evaluation of Lactobacillus gasseri Strains of Infant Origin on Adhesion and Aggregation of Specific Pathogens, J. Food Prot., 74(9), 1482–1487 (2011).

Information about authors:

Kurmangali D.E. – Master of Natural Sciences, Junior Scientific Associate of "Republican collection of microorganisms" LLP, Sh. Ualikhanov street 13/1, 020000, Astana, Kazakhstan.

Baikonys T.B. – Master of Veterinary Sciences, Junior Scientific Associate, "Republican Collection of Microorganisms" LLP, 13/1 Sh. Ualikhanov Street, 020000, Astana, Kazakhstan.

Abilkhadirov A.S. – Master of Veterinary Sciences, engineer of Republican Collection of Microorganisms LLP, Sh. Ualikhanov street 13/1, 020000, Astana city, Kazakhstan.

Bekshin J.M. – Candidate of Medical Sciences, specialty "Hygiene, epidemiology, sanitation", senior researcher, "Republican Collection of Microorganisms" LLP, 13/1 Sh. Ualikhanov Street, 020000, Astana, Kazakhstan.

Abitaeva G.K. – PhD, Project Manager, Head of Laboratory of Genetics and Biochemistry of Microorganisms, Senior Researcher, "Republican Collection of Microorganisms" LLP, 13/1 Sh. Ualikhanov Street, 020000, Astana, Kazakhstan.

Сведения об авторах:

Құрманғали Д.Е. – магистр естественных наук, младший научный сотрудник ТОО «Республиканская коллекция микроорганизмов», улица Ш. Уалиханова, 13/1, 020000, Астана, Казахстан.

Байқоныс Т.Б. – магистр ветеринарных наук, младший научный сотрудник ТОО «Республиканская коллекция микроорганизмов», улица Ш. Уалиханова, 13/1, 020000, Астана, Казахстан.

Абилхадиров А.С. – магистр ветеринарных наук, инженер ТОО «Республиканская коллекция микроорганизмов», улица Ш. Уалиханова, 13/1, 020000, Астана, Казахстан.

Бекшин Ж.М. – кандидат медицинских наук по специальности «Гигиена, эпидемиология, санитария», старший научный сотрудник ТОО «Республиканская коллекция микроорганизмов», улица Ш. Уалиханова, 13/1, 020000, Астана, Казахстан.

Абитаева Г.К. – PhD, руководитель проекта, заведующий лабораторией генетики и биохимии микроорганизмов, старший научный сотрудник ТОО «Республиканская коллекция микроорганизмов», улица Ш. Уалиханова, 13/1, 020000, Астана, Казахстан.

Авторлар туралы мәлімет:

Құрманғали Д.Е. – жаратылыстану ғылымдарының магистрі, «Республикалық микроорганизмдер коллекциясы» ЖШС кіші ғылыми қызметкері, Ш.Уәлиханов көшесі 13/1, 020000, Астана, Қазақстан

Байқоныс Т.Б. – ветеринария ғылымдарының магистрі, «Республикалық микроорганизмдер коллекциясы» ЖШС кіші ғылыми қызметкері, Ш.Уәлиханов көшесі 13/1, 020000, Астана, Қазақстан

Абилхадиров А.С. – ветеринария ғылымдарының магистрі, «Республикалық микроорганизмдер коллекциясы» ЖШС инженер қызметкері, Ш.Уәлиханов көшесі 13/1, 020000, Астана, Қазақстан

Бекшин Ж.М. – «Гигиена, эпидемиология, санитария» мамандығы бойынша медицина ғылымдарының кандидаты, «Республикалық микроорганизмдер коллекциясы» ЖШС аға ғылыми қызметкері, Ш.Уәлиханов көшесі 13/1, 020000, Астана, Қазақстан

Абитаева Г.К. – PhD, жоба жетекшісі, микроорганизмдердің генетикасы және биохимиясы зертханасының меңгерушісі, «Республикалық микроорганизмдер коллекциясы» ЖШС аға ғылыми қызметкері, 020000, Ш.Уәлиханов көшесі, 13/1, Астана, Қазақстан



IRSTI 34.27.23
Review article

<https://doi.org/10.32523/2616-7034-2024-149-4-110-130>

The Microbiological Aspects of Vermicomposting Organic Waste

I. Khan¹ , A. Kurovsky*¹ , A. Babenko¹ , E. Kornievskaya¹ 

¹Tomsk State University, Tomsk, Russia

*Corresponding author: a.kurovskii@yandex.ru

Abstract. Altering natural waste into abundant nutrient-rich vermicompost is an ecologically sound and sustainable method known as vermicomposting. Abiotic factors such as feeding material, bedding material, acidity level, temperature, moisture content, and air circulation affect the process. Various microorganisms and earthworms are the key players in the process. However, earthworms are the primary agents of the process, as they increase the microbial populations by fragmenting and ingesting fresh organic matter. The synergistic relationship between earthworms and bacteria is crucial, although *Eisenia fetida* is the ideal worm for processing various organic wastes such as plant leaf litter, fruit and vegetable waste, animal manure, and municipal solid waste, etc. In short, the literature reviewed showed multiple techniques, including, molecular and culture-dependent analyses, demonstrating that different bacteria are associated with earthworms and organic fertilizers. These bacterial groups include Proteobacteria, Actinobacteria, Firmicutes, Bacteroidetes, Planctomycetes, Nitrogen-fixing bacteria, and Ammonifiers. Organic fertilizers commonly use Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR), which contain plant growth hormones, nitrogen-fixing bacteria, and "Essential nutrients such as nitrogen, phosphorus, and potassium are required for proper growth and development of plants (NPK), and are highly effective in promoting plant growth and development." Therefore, the contribution of PGPR and nitrogen-fixing bacteria like *Azotobacter* in producing organic fertilizers is significant for sustainable agriculture practices. In conclusion, "This fertilizer improves soil fertility, while also suppressing harmful phytopathogens and pathogens, ultimately promoting healthy plant growth."

Keywords: Vermicompost, Earthworm, Bacteria, Organic waste, Organic fertilizer, Nitrogen-fixing bacteria

Received: 17.07.2024. Reviewed: 05.11.2024. Accepted: 08.11.2024. Available online: 20.12.2024

Introduction

Solid organic waste management (SOW) is a global challenge, with 38 billion tonnes generated annually from various sources. Its complex composition makes it difficult to manage. SOW management can benefit the environment and the economy by reducing emissions and recovering resources [1]. Even though *Vermes* is the Latin term for earthworms and vermicomposting (VC), the method's popularity has increased nowadays since a range of organic wastes (OWs) can be handled by it through the employment of different kinds of earthworms. These organic wastes include weeds, animal excrement, food, and agricultural waste [2]. Earthworms can transform organic matter into nutrient-rich castings by consuming it. [3].

Due to poor waste management, there is abundant agricultural waste and animal excrement, which poses a significant health risk to humans and animals. In short, using earthworms is a suitable method for managing OW and producing organic manure [4]. Therefore, studies have shown that it is possible to manage OW by using different species of earthworms to produce worm manure. This potent biofertilizer can be part of sustainable agriculture to reduce artificial fertilizers [5]. Researchers discovered three types of vermi-bacteria from straw and goat waste that can serve as fertilizers and antagonists. These bacteria were identified using molecular technique such as 16S rRNA sequencing. Most bacteria were found to belong to the genera *Bacillus*, *Pseudomonas*, and *Microbacterium*. Additionally, 49% of them showed antifungal activity against phytopathogenic fungi [6].

Climate change threatens the diverse and complex habitat of soil. Soil microbes play a important role in plant production, nutrient uptake, and ecosystem function while protecting plants from stress [7]. Although, Lyell's idea helped Darwin focus on how worms contribute to creating the earth's surface through their daily activities. Worms help mix the soil and improve nutrient flow in ecosystems [8]. But, inorganic fertilizers (IFs) have been used since the 1950s to provide plants with nutrients quickly. However, their long-term use can be harmful to soil and human health. Livestock manure has long been used, but worm manure is a better alternative because of its high chemical content and the soil-regulating component. It has healthy components like hormones, humic compounds, vitamins, and antioxidants [9]. Finally, this review article discusses the importance of VC in organic waste management for agricultural purposes, focusing on its microbiological aspects.

Vermicomposting

A process where earthworms and microorganisms interact to decompose organic matter, stabilizing it and modifying its properties [10]. Although, the process is an effective way to manage solid organic waste. During the technique, microbes play a crucial role in breaking down complex molecules into simpler compounds with the help of enzymes. In addition, earthworms secrete extracellular polymeric substances that provide nutrients for bacteria to thrive, especially under metal stress [11]. However, the process is a waste management technology that requires a lower price for upkeep and maintenance than alternative approaches. It helps preserve natural balance, safeguards the environment, and creates job possibilities. According to research, this method can clean up soil pollution for recycling organic waste and treating wastewater. It is usually feasible and more eco-friendly than other waste disposal methods [12].

Mechanism of the vermicomposting

By using this method, garbage can be turned into useful items. In order to support microbial communities within the environment, earthworms are essential. They break up and consume fresh organic matter, altering its microbiological structure and physical condition. In the active phase, earthworms look for more recent deposits of undigested waste, which are then broken down by microorganism-produced enzymes. Earthworm castings are rich in minerals and organic debris, but they also provide IFs like ammonium and nitrate that promote plant development [10].

Design of the Vermiculture

Shallow concrete boxes, 0.5 meters high, 0.6 meters wide and 1 meter long, were built inside the house as worm bins, where the worms resided and created compost.

Preparation of the Vermicompost

The goal of the study was to look into the impact of partial fermentation of agricultural residues and animal manure on 11 feed materials. A 20-day fermentation process was used, and the ratio of agricultural residues to animal manure was maintained at 1:2. A variety of substrates, including maize straw, soya beans and grasses, were used to produce the fertilizer, and as a decomposer, *Eisenia fetida* (EF) was employed. The worms were raised in plastic bags that were filled with animal feces and shreds of substrate. Water was sprayed to maintain the ideal humidity levels. Each treatment was provided with a mixture of 3 kg of substrate and 2 kg of dung, and 180 earthworms were added after optimizing moisture levels. The plastic bags were punctured to prevent water accumulation and to keep the worms' food moist [13].

Abiotic Factors Affecting Vermicomposting

This method is dependent on abiotic elements such as temperature, moisture content, acidity, feed material, and bedding material. The feed material is the most important of them to take into account because the physicochemical characteristics of the trash that earthworms eat are vital to the process. These characteristics affect the system's efficiency and must be considered to optimize the process for maximum benefit. Data on abiotic factors and their appropriate range for VC are presented in Table 1. Additionally, a variety of waste materials have been utilized as feedstock for the process, including animal dung, sewage sludge, agricultural waste, and fruit and vegetable waste. However, the right feedstock is necessary for a procedure to be successful [14]. Although, principal component analysis indicated that earthworm distribution positively correlated with pH, moisture, soil texture, and organic carbon content [15].

Table 1

Abiotic factors and their suitable range for vermicomposting [14, 16]

Abiotic Factor	Normal Range
pH	7.5 to 8.0
Moisture	60 to 80%

Temperature	15 to 28 °C.
Stocking density	1.60 kilogram of worms per square meter
C/N ratio	30 or less.
Rate of feeding	1.25 kg feed/kg worm/day

Table 1 displays abiotic factors refer to non-living elements that affect the process of vermicomposting. It is important to ensure that the environmental conditions for vermicomposting fall within their suitable range. This will help to ensure optimal conditions for the worms and microbes involved in the process.

Eco-friendly Earthworms and bacteria associated with vermicomposting

These worms are invertebrates that are members of the phylum Annelida. They are cylindrical, segmented and brownish-black in color, with bilateral symmetry. They have a 3-7 year lifespan and breathe through their moist skin. They can sense light through photoreceptors and are hermaphrodites. During fertilization, two earthworms form a cocoon containing 2-3 young worms [17]. About 3627 species of earthworms live on land around the world. These worms are often called "the farmer's friend" because of the benefits they can bring to agriculture. Earthworms can live in different soil types and comprise 60-80% of the total soil biomass. They can also serve as an indicator of soil health [18]. Based on their habits, earthworm species are divided into three main ecological groups: endogeic, anecic, and epigeic. Epigeic earthworms are most commonly used for VC among these groups. EF, *Eisenia andrei* and *Eudrilus eugeniae* are this group's three most frequently utilized species [19]. Moreover, they facilitate the biological breakdown of organic matter and aid in raising the soil's capacity to retain water. There are many different types of worms, each with its preferred habitat. Table 2 shows a range of ecotypes observed in earthworms, categorized according to their behavioural patterns [20].

Environmentally friendly earthworms are often used to treat waste such as cow dung, rice straw, dry grass clippings, etc. They need certain conditions, such as specific temperatures, humidity and pH levels, to do their job. Still, the chemical analysis confirmed that the nutritional quality of the vermicompost contains all the necessary macro- and micro-nutrients when worm has decomposed these organic wastes [21]. In addition, rice straw and paper waste were studied using earthworms; during the investigation, cow dung was used as a bulking substrate. Also, these wastes were efficiently converted into organic fertilizers. Furthermore, the worm manure has more nutrients and metals but less organic carbon and carbon-nitrogen ratio. Earthworm reproduction and growth are highly dependent on the bulking substrate used [22]. Finally, as bedding, market wastes such as rice straw, cabbage, banana peel, pineapple, and cow dung were used for composting and VC. Though, the process was more effective than regular composting in reducing OW. Composting with cabbage and banana peel produced better nitrogen and potassium levels, while vermicompost made with pineapple and banana peel and *Eudrillus eugeniae* had better absolute phosphorus levels [23]. Table 2 displays that there are various species of earthworms, each exhibiting a preference for a particular habitat type. It is worth noting that the ecological niche occupied by these organisms plays a vital role

in determining their distribution and abundance. Understanding the habitat requirements of different earthworm species is crucial in developing effective management strategies for these organisms.

Table 2

Earthworms are alienated into four ecotypes on its behavior [20]

Ecotype	Species
Compost earthworms	<i>Eisenia fetida, Eisenia andrei and Dendrobaena veneta.</i>
Epigeic earthworms	<i>Dendrodriulus rubidus, Lumbricus rubellus, Lumbricus friendi, Eiseniella tetraedra etc.</i>
Endogeic earthworms	<i>Apporectodea icterica, Allolobophora chlorotica, Ap. caliginosa, Ap. rosea, etc.</i>
Anecic earthworms	<i>Lumbricus terrestris, Ap. longa.</i>

Association of the bacteria with earthworms and worm manure

Bacteria are microorganisms found in plants and animals with specific associations with particular hosts. Researchers have discovered bacteria in the gut of earthworms, with a consistent and specific association in the nephridia of Lumbricidae earthworms. They found bacteria from four different orders, such as Sphingobacteriales, Burkholderiales, Rhodospirillales, and Rhizobiales, commonly found in the nephridia of basal Crassiditellata by analyzing 16S RNA sequences [24]. In addition, earthworms depend on microbes to their growth and vice versa. When earthworms eat, they also consume rhizosphere bacteria such as Pseudomonas, Rhizobium, Bacillus, Azospirillum, Azotobacter, etc., which promote plant growth. These bacteria can increase their population in the worm gut and enhance plant growth. *Proteobacteria, Actinobacteria, Firmicutes, Bacteroidetes, and Planctomycetes* were identified when the bacterial population of organic fertilizer was analyzed using both molecular and culture-dependent techniques. The relationship between earthworms and microbes is complex but essential for both to thrive [25]. Although, analysis of microorganisms in earthworm guts indicated a notable rise in bacteria and actinomycetes compared to the soil [26]. Worm manure has been synthesized from organic materials, including farm-derived components such as cow dung and agricultural residues such as rice and wheat straw. The vermicompost produced by earthworm activity naturally contains cellulose-degrading, phosphate- and zinc-solubilizing bacteria as part of their digestive processes. This integrated approach significantly increases the nutrient content compared to vermicompost produced by earthworm activity alone [27]. However, studying bacterial colonization during cocoon production is important because it significantly affects earthworm fitness. This study looked at the microbiomes of two types of worm cocoons, *Eisenia andrei* and EF. A total of 275 and 176 bacterial species were found in the cocoons, respectively. It was discovered that three symbionts Verminephrobacter, Candidatus Nephrothrix, and Microbacteriaceae – were dominant and transmitted vertically [28]. Table 3 shows the diversity of bacteria linked to various worm species during the VC, including EF, *E. andrei, E. eugeniae, P. excavatus, and L. terrestris.*

Table 3

Diversity of bacteria associated with worm manure and earthworms

Earthworm	Name of bacteria	Function	References
<i>E. fetida</i>	<i>B. subtilis</i> , <i>Staphylococcus hominis</i> , <i>B. thuringiensis</i> , <i>B. mycoides</i> , etc.	Vermi-bacteria	[29]
<i>E. andrei</i>	<i>Clostridium</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Acinetobacter</i> , <i>Anaerobacter</i> , etc.	Vermi-bacteria	[30]
<i>E. eugeniae</i>	<i>Clostridium</i> , <i>Aeromonas</i> , <i>Burkholderia</i> , <i>Cellulomonas</i> , <i>Flavobacterium</i> , <i>Aquihabitans</i> , <i>Roseomonas</i> , <i>Rhodobacter</i> .	Nitrogen cycle. Organic substances.	[31]
<i>P. excavatus</i>	Nitrate-reducing bacteria, nitrifying bacteria, asymbiotic nitrogen-fixing, phosphate solubilizing, and <i>Azotobacter</i> .	Phosphate solubilization, Nitrogen-fixing bacteria	[32]
<i>L. terrestris</i>	Verrucomicrobia, actinobacteria, firmicutes, proteobacteria, Acidobacteria, planctomycetes.	Vermi-bacteria.	[33]

Table 3 displays the data about the diversity of bacteria associated with vermicompost and earthworms. This information can be of great significance in environmental science, as it sheds light on the role of earthworms in promoting microbial diversity in soil. The findings presented in this table may be crucial for researchers and practitioners interested in exploring the intricate relationship between soil health and biodiversity.

Fungi associated with vermicomposting

Fungi are crucial for supplying enzymes and being a food source for worms. The earthworm's eating habits can affect fungal populations, but the evidence conflicts regarding the impact on fungal communities. Some worms can survive on fungi only, and the vermicompost they produce has the same or more fungal biomass and diversity than the initial substrates. Earthworms' presence increases fungal biomass, while their absence reduces it [34]. Though, the study also examined the fungal communities in VC treatments and identifies dominant species and potential pathogens. The presence of worms enhances the fungal community, indicating maturity, and worm manure lack pathogenic species, demonstrating their efficacy. Organic fertilizers contain *Streptomyces* spp. with antagonistic properties, but also beneficial fungi such as *Paecilomyces* spp. and *Trichoderma* spp., which caution against their use in agriculture due to reported fungal pathogens in VC products [35]. Although, earthworms are crucial in promoting fungal diversity in vermicompost, which could have significant impacts on agricultural practices and sustainability. Studies indicate that fungi are present in worm manure and earthworms, with some populations identified including *Paecilomyces* spp. and *Trichoderma* spp. Fungal diversity was significantly greater in organic fertilizers than in compost after worm treatment

[33]. However, this study investigated how the fungal community changes during vermiculture and how certain fungal species can transform organic compounds while exhibiting inhibiting qualities against both human and phytopathogens. The researchers used Metabarcoding and the Plating technique to describe the taxonomic structure of the fungal community at different stages of vermiculture. The study found a decrease in fungal species richness in the early stages of vermiculture, followed by a significant increase in species richness in the resulting worm manure [36].

Development in organic waste management to overcome the limitations by using vermicomposting

Vermicomposting of Plant Leaf litter waste

According to a recent study, leaf litter waste can be treated with the white rot fungus, *Oligoporus placenta*, followed by VC with cow dung to reduce its harmful contents significantly. This innovative waste management approach mitigates environmental concerns and generates nutrient-rich biological fertilizers through worm-microbe-induced mineralization. Therefore, it presents promising opportunities for sustainable and eco-friendly practices [37]. In addition, Neem leaves can be converted into valuable organic fertilizer using high-rate VC, which is efficient and productive. This also helps avoid air pollution caused by conventional disposal methods like piling and burning [38]. Although, *Populus nigra* leaf litter was used in both composting and VC. During the study, horse manure was used as a control in composting and VC, but EF was used as the earthworm species. Nitrogen-fixing bacteria were higher in organic fertilizer than in horse manure. Ammonifiers, Inorganic nitrogen consumers, and Oligotrophs were present in all treatments. Moreover, *Azotobacter* activity was only observed in worm manure and was absent in compost, however, compared to vermicompost manure, this activity was more substantial in vermicompost leaf litter. This means all these bacteria indicate good organic fertilizer, rich in nitrogen [39].

Vermicomposting of Fruits and Vegetables waste

More than 50% of fruit and vegetables are wasted due to high consumption. A study was conducted to compare two methods of fruit and vegetable waste (FVW) decomposition, with and without worms, to determine their effect on physicochemical properties and microbial profiles. The study showed that decomposing FVW with worms rapidly reduced electrical conductivity and total C and N losses. However, earthworms greatly changed the structure of bacteria and fungi and increased their populations. These results were confirmed by quantitative PCR, gradient gel electrophoresis, and sequence analysis [40]. Though, the study investigated the production of biohydrogen through fermentative processes using a mixture of vermicompost and pre-treated FVW. The study investigated the effect of mild heat pre-treatment, substrate concentration and biological processes on biohydrogen production and biochemical oxygen demand (BOD₅) removal. The results showed high levels of BOD₅ elimination (50%) and biohydrogen production (63.0 mL/g VS). The experiment provided a suitable environment for the inoculation of microorganisms, particularly *Clostridium* species, and the most prominent

microbes in the process [41]. The study investigated the effects of worms and the ammonia oxidation during VC of FVW. Two dry systems and one fresh system were compared over 60 days. It was found that earthworms promote the process of ammonia oxidation by increasing both the abundance and diversity of ammonia oxidizing archaea and bacteria [42].

Vermicomposting of Animal manure waste

Overproduction of animal manure needs to be stabilized before it results in health and environmental problems. The study examined how rabbit manure's chemical and microbiological properties changed throughout the course of a continuous operation. The experiment was carried out under precise settings in a controlled setting, including a pH level of 8.3, decreasing to 7.6, and a moisture range of 66% to 76%. Over the course of the 200-day trial, microbial activity measures and phospholipid fatty acid profiles (PLFA) revealed alterations in the microbial population. Bacteria and fungi populations decreased, but there was no change in the electrical conductivity of the profile layers [43]. Though, utilizing the earthworm *E. andrei*, cow manure was utilized in the procedure to track how time affected earthworm biomass as well as the physical, chemical, and biological characteristics of worm manure. There were two stages to the process: a preliminary phase lasting 0-44 days and a final phase lasting 45-120 days. High microbial activity was investigated in the first phase, and the physicochemical alterations in organic fertilizer and a boost in worm density were investigated in the last phase. Finally, high quality organic fertilizer was obtained after 120 days of process. In short, the technique time played a significant part in changing the biological, chemical and physical attributes of the vermicompost [44]. Table 4 presents information on the bacterial diversity of vermicompost made from an assortment of organic waste, including poplar leaf litter, fruits and vegetables, animal manure (cow dung), grass and earthworm (*E. fetida*).

Table 4

Association of different bacteria with vermicompost and *E. fetida*

Organic wastes	Earthworm	Vermicompost associated bacteria	References
Poplar leaf litter	<i>Eisenia fetida</i>	<i>Azotobacter</i> , Ammonifiers, Oligotrophs, Inorganic nitrogen utilizers.	[39]
Fruit and Vegetable	<i>Eisenia fetida</i>	<i>Bacillus reticulotermis</i> , <i>Sphingobacterium</i> , <i>Pectobacterium carotovorum</i> , and <i>Actinobacterium</i> .	[40]
Animal manure (Cow dung)	<i>Eisenia fetida</i>	Proteobacteria, Bacteroidota, Firmicutes, and Actinobacteria.	[45]
Grass	<i>Eisenia fetida</i>	Actinomycetes, and <i>Azotobacter</i>	[46]

Table 4 displays the relationships between organic wastes, the species of VC worm (*E. fetida*), and the bacteria involved in VC. It addresses the advantages of employing EF in the VC process to break down organic materials and the symbiotic relationships that occur, as well as the function of related bacteria in improving the quality of compost.

Benefits of the Vermicomposting

Importance of the vermicompost as a plant growth promoter

Excessive chemical fertilizer usage has harmed soil properties. Organic fertilizer, rich in plant growth-promoting Rhizobacteria (PGPR), was examined alongside worm manure and humic acid effects on basil. Worm manure + PGPR significantly affected height, chlorophyll a, shoot dry weight, shoot wet weight, and essence yield, according to the results, which also showed substantial effects on plant growth. The study applied PGPR via inoculation/non-inoculation, vermicompost through application/non-application, and humic acid via non-application, seed treatment, and foliar application, revealing their combined influence on basil's growth and flavor [47]. On the other hand, when worm manure rich in humic acid was used for plant growth, the density and variety of bacteria and fungi increased. The synergistic role of humic acid-rich vermicompost, *Rhizobium*, and arbuscular mycorrhizal fungi resulted in an increase in total height, fresh weight, and dry weight when compared to chemical fertilizers and control. This enhanced soil enrichment, boosted microbial diversity, and stimulated soil enzyme activity [48]. Furthermore, the usage of chemical fertilizers had detrimental effects on the environment, crop yield, and soil. Organic fertilizer amendment, on the other hand, provides a sustainable method of plant nutrition by enhancing soil fertility and health. The study's main conclusions centered on vermicompost's ability to boost crop yield and guard against biotic stressors like disease and pest assault as well as abiotic stressors like soil salinity and drought [49].

Importance of the vermicompost against phytopathogens and pathogen suppression

Compost and worm manure can provide sustainable sources of nutrients and microbial communities. Through biotic and abiotic variables, these sources can reduce plant illnesses, increase the availability of nutrients in the soil, and encourage plant growth [50]. Moreover, the study tested 16 treatments for mixed organic waste to determine if biochar and microalgal biomass could make vegetable seeds more resistant to phytopathogens. The EF, 6% biochar, and *Navicula* biomass were the most effective treatments, resulting in mature organic fertilizer with a pH of 7, a cation exchange capacity of 70 cmol kg⁻¹, and a C: N ratio of 9.5. This product was tested on three vegetable species and found to boost disease resistance in seeds, promote plant growth, reduce the incidence of disease, and increase plant resilience. This treatment also effectively reduced phytopathogens in the worm manure [51]. Decomposing bacteria, vermicompost, and vermiwash work together to combat fungal infections. Worm manure's antifungal properties might stem from bioactive substances found in mucus, skin secretions, and coelomic fluid from earthworms, and metabolites produced by microorganisms that break down organic manure. The coelomic fluid of earthworms, which is naturally protective, inhibits several fungal pathogens. *Bacillus subtilis* in vermicompost produces significant antifungal chemicals, potentially helping plants to resist fungal infections [52]. In short, Arugula vermicompost is an effective way to suppress *Meloidogyne javanica* and reduce its damage to crops. The fertilizer contains a chitinolytic and PGPR detoxification system, making it an environmentally friendly method of controlling root-knot nematodes [53].

Vermicompost's contribution to soil fertility

By increasing important parameters including pH, soil aeration, organic carbon content, and bulk density, organic fertilizers can improve soil quality and promote plant growth. Humic acids, plant growth hormones, and vital minerals like calcium, magnesium, phosphorus, nitrogen, and potassium are all present in it [54]. Earthworms, prevalent in soil, form tubular pathways or caves as they move, enhancing soil porosity by allowing more air and water entry. By lowering bulk density, this enhanced porosity, promotes root development. Rich in Mg and NPK, vermicasts improve soil fertility. Worm castings contain microorganisms whose numbers rise as organic waste breaks down in their gut, promoting nutrient recirculation and microbe growth, facilitating plant growth [55]. Moreover applying these fertilizers as organic amendments improved soil nutritional status, increased cation exchange capacity, microbial activities, microbial biomass carbon and enzymatic activities [56]. Finally, animal waste contains nutrients that can be used to make fertilizers that are rich in nutrients. These fertilizers have an impact on the electrical conductivity, and pH of the soil, as well as plant development when applied to crops. By enhancing the soil's capacity to retain water, drain, and allow air to flow through, organic fertilizer helps to improve the soil. This results in better conditions for plant growth [57].

Conclusions

Vermicomposting, which involves the use of earthworms, bacteria, archaea, and fungi, is an exceptional solution for managing organic waste. This process not only promotes environmental benefits but also provides an effective way to recycle nutrients. When it comes to vermicomposting, two earthworm species, *Eisenia fetida* and *Eisenia andrei*, are widely preferred due to their ability to produce essential bio-nutrients. In fact, over 50% of trials rely on these species for their remarkable nutrient production capabilities. Recent studies have delved into the bacterial community found in worm castings and earthworms, using both molecular and culture-dependent methods. These studies have revealed the presence of various beneficial bacteria, including rhizobacteria that promote plant growth, phosphate solubilizers, vermi bacteria, and nitrogen-fixing bacteria such as *Azotobacter*. These bacteria play a crucial role in enhancing the quality of vermicompost. One of the key advantages of vermicompost is that it makes essential elements like nitrogen, phosphorus, and potassium more readily available to plants. This availability of vital nutrients ensures that plants receive the nourishment they need for strong and healthy growth. Consequently, vermicompost offers growers and farmers a highly efficient means of producing the highest quality fertilizer, leading to robust crop yields.

Acknowledgment

We would like to express my sincere gratitude for the invaluable contributions and unwavering support extended by Mr. Siraj Uddin. The article's proofreading and the guidance he provided proved to be an indispensable contribution in facilitating the successful completion of this review paper.

Conflict of interests

The authors declare that they have no conflict of interest.

Authors contribution

Khan I.: contributed as the author and editor of the review article.

Kurovsky A.: contributed as the general supervisor of the article.

Babenko A.: worked as a consultant in the field of *Eisenia fetida* and earthworm.

Kornievskaya E.: worked as the data curator for the review article.

References

1. Katiyar R.B., Sundaramurthy S., Sharma A.K., Arisutha S., Khan M.A., Sillanpää M. Optimization of engineering and process parameters for vermicomposting // Sustainability. – 2023. – Vol. 15(10). – P. 8090. <https://doi.org/10.3390/su15108090>
2. Singh S., Singh J., Kandoria A., Quadar J., Bhat S. A., Chowdhary A. B., Vig A. P. Bioconversion of different organic waste into fortified vermicompost with the help of earthworm: A comprehensive review // International journal of recycling organic waste in agriculture. – 2020. – Vol. 9(4). – P. 423-439. <https://doi.org/10.30486/IJROWA.2020.1893367.1037>
3. Dume B., Hanc A., Svehla P., Michal P., Chane A. D., Nigussie A. Composting and vermicomposting of sewage sludge at various C/N ratios: technological feasibility and end-product quality // Ecotoxicology and Environmental Safety. – 2023. – Vol. 263. – P. 115255. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115255>
4. Chauhan H. K., Singh K. Effect of tertiary combinations of animal dung with agrowastes on the growth and development of earthworm *Eisenia fetida* during organic waste management // International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture. – 2013. – Vol. 2. – P. 1-7. <https://doi.org/10.1186/2251-7715-2-11>
5. Bhat S. A., Singh J., Vig A. P. Earthworms as organic waste managers and biofertilizer producers // Waste and biomass valorization. – 2018. – Vol. 9. – P. 1073-1086. <https://doi.org/10.1007/s12649-017-9899-8>
6. Pathma J., Sakthivel N. Molecular and functional characterization of bacteria isolated from straw and goat manure based vermicompost // Applied soil ecology. – 2013. – Vol. 70. – P. 33-47. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.03.011>
7. Dubey A., Malla M. A., Khan F., Chowdhary K., Yadav S., Kumar A., Sharma S., Khare P. K., Khan M. L. Soil microbiome: a key player for conservation of soil health under changing climate // Biodiversity and Conservation. – 2019. – Vol. 28. – P. 2405-2429. <https://doi.org/10.1007/s10531-019-01760-5>
8. Clark B., York R., Bellamy Foster J. Darwin's worms and the skin of the earth: an introduction to Charles Darwin's the formation of vegetable Mould, through the action of worms, with observations on their habits (selections) // Organization & environment. – 2009. – Vol. 22(3). – P. 338-350. <https://doi.org/10.1177/1086026609344322>
9. Ceritoğlu M., Şahin S., Erman M. Effects of vermicompost on plant growth and soil structure // Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences. – 2018. – Vol. 32(3). – P. 607-615. <https://doi.org/10.15316/SJAFS.2018.143>
10. Domínguez J., Aira M., Gómez-Brandón, M. Vermicomposting: earthworms enhance the work of microbes // Microbes at work: from wastes to resources. – 2010. – P. 93-114. https://doi.org/10.1007/978-3-642-04043-6_5,

11. Alshehrei F., Ameen F. Vermicomposting: A management tool to mitigate solid waste // Saudi journal of biological sciences. 2021. – Vol. 28(6). – P. 3284-3293. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.02.072>
12. Singh A., Singh G. S. Vermicomposting: A sustainable tool for environmental equilibria // Environmental Quality Management. – 2017. – Vol. 27(1). – P. 23-40. <https://doi.org/10.1002/tqem.21509>
13. Wako R. E. Preparation and characterization of vermicompost made from different sources of materials // Open Journal of Plant Science. – 2021. – Vol. 6(1). – P. 42-48. <https://doi.org/10.17352/OJPS.000031>
14. Sharma K., Garg V. Vermicomposting: a green technology for organic waste management // Waste to wealth. – 2018. – P. 199-235. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7431-8_10
15. Singh S., Singh J., Vig A. P. Effect of abiotic factors on the distribution of earthworms in different land use patterns // The Journal of Basic & Applied Zoology. – 2016. – Vol. 74. – P. 41-50. <https://doi.org/10.1016/j.jobaz.2016.06.001>
16. Ali U., Sajid N., Khalid A., Riaz L., Rabbani M. M., Syed J. H., Malik R. N. A review on vermicomposting of organic wastes // Environmental Progress & Sustainable Energy. – 2015. – Vol. 34(4). – P. 1050-1062. <https://doi.org/10.1002/ep.12100>
17. Kumar R., Sharma P., Gupta R., Kumar S., Sharma M. M. M., Singh S., Pradhan G. Earthworms for eco-friendly resource efficient agriculture // Resources use efficiency in agriculture. – 2020. – P. 47-84. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6953-1_2
18. Pathma J., Sakthivel N. Microbial and functional diversity of vermicompost bacteria // Bacterial Diversity in Sustainable Agriculture. – Springer, 2014. – P. 205-225. https://doi.org/10.1007/978-3-319-05936-5_9
19. Ratnasari A., Syafiuddin A., Mehmood M. A., Boopathy R. A review of the vermicomposting process of organic and inorganic waste in soils: additives effects, bioconversion process, and recommendations // Bioresource Technology Reports. – 2023. – P. 101332. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101332>
20. Siddiqui S. Interaction of Earthworm Activity with Soil Structure and Enzymes // Biology of Composts. – 2020. – P. 87-106. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39173-7_5
21. Ramnarain Y.I., Ansari A.A., Ori L. Vermicomposting of different organic materials using the epigeic earthworm *Eisenia fetida* // International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture. – 2019. – Vol. 8. – P. 23-36. <https://doi.org/10.1007/s40093-018-0225-7>
22. Sharma K., Garg V. Comparative analysis of vermicompost quality produced from rice straw and paper waste employing earthworm *Eisenia fetida* (Sav.) // Bioresource technology. – 2018. – Vol. 250. – P. 708-715. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.11.101>
23. Syarifinnur S., Nuraini Y., Prasetya B., Handayanto E. Comparing compost and vermicompost produced from market organic waste // International journal of recycling organic waste in agriculture. – 2023. – Vol. 12(3). – P. 279-289. <https://doi.org/10.30486/ijrowa.2022.1944251.1368>
24. Davidson S. K., Powell R., James S. A global survey of the bacteria within earthworm nephridia // Molecular phylogenetics and evolution. – 2013. – Vol. 67(1). – P. 188-200. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2012.12.005>
25. Khyade V. B. Bacterial diversity in the alimentary canal of earthworms // J Bacteriol Mycol Open Access. – 2018. – Vol. 6(3). – P. 183-185. <https://doi.org/10.15406/jbmoa.2018.06.00200>

26. Munnoli P. M. Role of microbes in vermicomposting: a review // Bioprospects of Coastal Eubacteria: Ecosystems of Goa. – 2015. – P. 241-262. https://doi.org/10.1007/978-3-319-12910-5_14
27. Aslam Z., Ahmad A., Ibrahim M., Iqbal N., Idrees M., Ali A., Ahmad I., Bellitürk K., Nawaz, M., & Aslam, M. Microbial enrichment of vermicompost through earthworm *Eisenia fetida* (Savigny, 1926) for agricultural waste management and development of useful organic fertilizer // Pak. J. Agric. Sci. – 2021. – Vol. 58. – P. 851-861. <https://doi.org/10.21162/PAKJAS/21.1378>
28. Aira M., Pérez-Losada M., Domínguez J. Diversity, structure and sources of bacterial communities in earthworm cocoons // Scientific reports. – 2018. – Vol. 8(1). – P. 6632. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-25081-9>
29. Andleeb S., Shafique I., Naseer A., Abbasi W. A., Ejaz S., Liaqat I., Ali S., Khan M. F., Ahmed F., Ali N. M. Molecular characterization of plant growth-promoting vermi-bacteria associated with *Eisenia fetida* gastrointestinal tract // Plos one. – 2022. – Vol. 17(6). – P. e0269946. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269946>
30. Aira M., Olcina J., Pérez-Losada M., Domínguez J. Characterization of the bacterial communities of casts from *Eisenia andrei* fed with different substrates // Applied soil ecology. – 2016. – Vol. 98. – P. 103-111. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.10.002>
31. Thakur S. S., Lone A. R., Yellaboina S., Tambat S., Yadav A. N., Jain S. K., Yadav S. Metagenomic insights into the gut microbiota of *Eudrilus eugeniae* (Kinberg) and its potential roles in agroecosystem // Current Microbiology. – 2022. – Vol. 79(10). – P. 295. <https://doi.org/10.1007/s00284-022-02988-1>
32. Ghosh S., Sarkar Paria D., Chatterjee S. Comparative Study on Bacterial Population Dynamics of Foregut, Midgut, and Hindgut Content of *Perionyx excavatus* (Perrier) Isolated from Eco-friendly, Non-hazardous Vermicompost // Applied biochemistry and biotechnology. – 2022. – Vol. 194(12). – P. 6126-6139. <https://doi.org/10.1007/s12010-022-03970-0>
33. Vijayabharathi R., Sathya A., Gopalakrishnan S. Plant growth-promoting microbes from herbal vermicompost // Plant-growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and medicinal plants. – 2015. – P. 71-88. https://doi.org/10.1007/978-3-319-13401-7_4
34. Wright C., Gryganskyi A. P., Bonito G. Fungi in composting // Fungal Applications in Sustainable Environmental Biotechnology. – 2016. – P. 3-28. https://doi.org/10.1007/978-3-319-42852-9_1
35. Huang K., Li F., Wei Y., Chen X., Fu X. Changes of bacterial and fungal community compositions during vermicomposting of vegetable wastes by *Eisenia fetida* // Bioresource technology. – 2013. – Vol 150. – P. 235-241. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.10.006>
36. Kurakov A., Bilanenko E. Structure of the Fungal Community during the Transformation of Organic Waste by *Eisenia Fetida* Worms // Contemporary Problems of Ecology. – 2023. – 16(4). – P. 426-439. <https://doi.org/10.1134/S1995425523040054>
37. Singh N.K., Shahi K., Kumar K., Suthar S. Enhanced vermicomposting of leaf litter by white-rot fungi pretreatment and subsequent feeding by *Eisenia fetida* under a two-stage process // Bioresource Technology Reports. – 2021. – Vol. 13. – P. 100609. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2020.100609>
38. Nayeem-Shah M, Gajalakshmi S, Abbasi S. Direct, rapid and sustainable vermicomposting of the leaf litter of neem (*Azadirachta indica*) // Applied biochemistry and biotechnology. – 2015. – Vol. 175. – P. 792-801. <https://doi.org/10.1007/s12010-014-1339-7>
39. Kornievskaya E., Kurovsky A., Babenko A., Petrochenko K., Sechko, O. Microbial structure of nitrogen utilizers in *Populus nigra* L. compost and vermicompost // IOP Conference Series:

Earth and Environmental Science. – 2020. – Vol. 433. – P. 012001. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/433/1/012001>

40. Huang K., Li F., Wei Y., Fu X., Chen, X. Effects of earthworms on physicochemical properties and microbial profiles during vermicomposting of fresh fruit and vegetable wastes // *Bioresource technology*. – 2014. – Vol. 170. – P. 45-52. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.07.058>

41. Pascualone M. J., Gómez Costa M. B., Dalmasso P. R. Fermentative biohydrogen production from a novel combination of vermicompost as inoculum and mild heat-pretreated fruit and vegetable waste // *Biofuel Research Journal*. – 2019. – Vol. 6(3). – P. 1046-1053. <https://doi.org/10.18331/BRJ2019.6.3.5>

42. Huang K., Xia H., Cui G., Li F. Effects of earthworms on nitrification and ammonia oxidizers in vermicomposting systems for recycling of fruit and vegetable wastes // *Science of the Total Environment*. – 2017. – Vol. 578. – P. 337-345. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.172>

43. Gómez-Brandón M., Lores M., Domínguez J. Changes in chemical and microbiological properties of rabbit manure in a continuous-feeding vermicomposting system // *Bioresource technology*. – 2013. – Vol. 128. – P. 310-316. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.10.112>

44. Ramos R. F., Santana N. A., de Andrade N., Romagna I. S., Tirloni B., de Oliveira Silveira A., Domínguez J., Jacques R. J. S. Vermicomposting of cow manure: Effect of time on earthworm biomass and chemical, physical, and biological properties of vermicompost // *Bioresource technology*. – 2022. – Vol. 345. – P. 126572. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126572>

45. Li Z., Chen C., Zhang K., Zhang Z., Zhao R., Han B., Yang F., Ding Y. Response of antibiotic resistance genes and related microorganisms to arsenic during vermicomposting of cow dung // *International journal of environmental research and public health*. – 2022. – Vol. 19(21). – P. 14475. <https://doi.org/10.3390/ijerph192114475>

46. Ansari A., Hanief A. Microbial degradation of organic waste through vermicomposting // *International Journal of Sustainable Agricultural Research*. 2015. – Vol. 2(2). – P. 45-54. <https://doi.org/10.18488/journal.70/2015.2.2/70.2.45.54>

47. Befrozfar M. R., Habibi D., Asgharzadeh A., Sadeghi-Shoae M., Tookallo M. Vermicompost, plant growth promoting bacteria and humic acid can affect the growth and essence of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Ann Biol Res*, 4(2), 8-12.

48. Maji D., Misra P., Singh S., Kalra A. Humic acid rich vermicompost promotes plant growth by improving microbial community structure of soil as well as root nodulation and mycorrhizal colonization in the roots of *Pisum sativum* // *Applied soil ecology*. – 2017. – Vol. 110. – P. 97-108. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.10.008>

49. Rehman S. u., De Castro F., Aprile A., Benedetti M., Fanizzi F. P. Vermicompost: Enhancing plant growth and combating abiotic and biotic stress // *Agronomy*. – 2023. – Vol. 13(4). – P. 1134. <https://doi.org/10.3390/agronomy13041134>

50. Sarma B. K., Singh P., Pandey S. K., Singh, H. B. Vermicompost as modulator of plant growth and disease suppression // *Dynamic Soil, Dynamic Plant*. – 2010. – Vol. 4(Spl. Issue 1). – P. 58-66.

51. Alshehrei F., Al-Enazi N. M., Ameen F. Vermicomposting amended with microalgal biomass and biochar produce phytopathogen-resistant seedbeds for vegetables // *Biomass Conversion and Biorefinery*. – 2021. – P. 1-8. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01770-w>

52. Gudeta K., Bhagat A., Julka J. M., Sinha R., Verma R., Kumar A., Kumari S., Ameen F., Bhat S. A., Amarowicz R. Vermicompost and its derivatives against phytopathogenic fungi in the soil: a review // *Horticulturae*. – 2022. – Vol. 8(4). – P. 311. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8040311>

53. Rostami M., Karegar A., Taghavi S. M., Ghasemi-Fasaei R., Ghorbani A. Effective combination of arugula vermicompost, chitin and inhibitory bacteria for suppression of the root-knot nematode *Meloidogyne javanica* and explanation of their beneficial properties based on microbial analysis // *Plos one*. – 2023. – Vol. 18(8). – P. e0289935. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0289935>

54. Lim S. L., Wu T. Y., Lim P. N., Shak K. P. Y. The use of vermicompost in organic farming: overview, effects on soil and economics // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. – 2015. – Vol. 95(6). – P. 1143-1156. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6849>

55. Akhila A., Entoori K. Role of earthworms in soil fertility and its impact on agriculture: A review // *International journal of fauna and biological studies*. – 2022. – Vol. 9. – P. 55-63. <https://doi.org/10.22271/23940522.2022.v9.i3a.907>

56. Kumar A., Prakash C. B., Brar N. S., Kumar B. Potential of vermicompost for sustainable crop production and soil health improvement in different cropping systems // *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. – 2018. – Vol. 7(10). – P. 1042-1055. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.710.116>

57. Devi P. R., Sai G. P., Stuti, Piparotar V. R., Aaqhil pasha M, & Singh, A. Potential of vermicomposting technology in soil and waste management // *J. Pharm. Innov.* – Vol. 11. – P. 948-953.

И. Хан, А. Куровский, А. Бабенко, Е. Корниевская

Томск мемлекеттік университеті, Томск, Ресей

Органикалық қалдықтарды вермикомпосттаудың микробиологиялық аспектілері

Аңдатпа. Табиғи қалдықтарды қоректік заттарға бай вермикомпостқа айналдыру вермикомпосттау деп аталатын экологиялық таза және тұрақты әдіспен жүзеге асырылады. Бұл процеске, мысалы, тамақ субстратының түрі, төсеме материалы, рН, температура, ылғалдылық және қоршаған ортаның аэрация дәрежесі сияқты абиотикалық факторлар әсер етеді. Вермикомпостингте шешуші рөлді жауын құрттары атқарады, олар басқалармен қатар әртүрлі микроорганизмдердің өмір сүруіне жағдай жасайды. Жауын құрттары мен бактериялар арасындағы синергетикалық қатынастар ерекше маңызды. Бұл *Eisenia fetida* түрлеріне де қатысты, ол әлемдегі әртүрлі органикалық қалдықтарды мысалы, өсімдік жапырағының қоқысы, жемістер мен көкөністердің қалдықтары, жануарлардың көңі, тұрмыстық қатты қалдықтар және т.б. өңдеу үшін ең көп қолданылады. Тұтастай алғанда, бұл шолу әртүрлі сәйкестендіру әдістерінің, соның ішінде молекулалық-генетикалық және селективті орта әдісінің әртүрлі бактериялардың жауын құрттарымен және органикалық субстраттармен байланысын көрсететінін көрсетті. Жалпы, бұл шолу әртүрлі сәйкестендіру әдістерінің, соның ішінде молекулалық-генетикалық және селективті орта әдісінің әртүрлі бактериялардың жауын құрттарымен және органикалық субстраттармен байланысын көрсететінін көрсетті. Бактериялардың бұл топтарына протеобактериялар, актинобактериялар, фирмикуттар, бактериоидтар, планктомицеттер, азотты бекітетін бактериялар және аммонификаторлар жатады. Органикалық тыңайтқыштарда әдетте өсімдіктердің өсуіне ықпал ететін (PGPR) ризобактериялар, субстраттарда өсімдіктердің өсу гормондары, азотты бекітетін бактериялар

және өсімдіктердің дұрыс өсуі мен дамуы үшін қажет азот, фосфор және калий сияқты қоректік заттар болады. Бұл үйлесім өсімдіктердің өсуі мен дамуын ынталандыруда өте тиімді. Осылайша, PGPR және *Azotobacter* сияқты азотты бекітетін бактериялардың органикалық тыңайтқыштар өндірісіне қосқан үлесі тұрақты ауылшаруашылық тәжірибелері үшін өте маңызды. Вермикомпост тыңайтқыш ретінде топырақтың құнарлылығын жақсартады, сонымен қатар фитопатогендерді тежейді, нәтижесінде өсімдіктердің сау өсуіне ықпал етеді.

Түйін сөздер: Вермикомпост, жауын құрттары, бактериялар, органикалық қалдықтар, органикалық тыңайтқыш, азотты бекітетін бактериялар

И. Хан, А. Куровский, А. Бабенко, Е. Корниевская
Томский государственный университет, Томск, Россия

Микробиологические аспекты вермикомпостирования органических отходов

Аннотация. Преобразование природных отходов в богатый питательными веществами вермикомпост осуществляется экологически безопасным и устойчивым методом, известным как вермикомпостирование. На данный процесс влияют абиотические факторы, такие, как вид пищевого субстрата, вид базового субстрата, рН, температура, влажность и степень аэрации среды. Ключевую роль в вермикомпостировании играют дождевые черви, которые также создают условия для жизнедеятельности различных микроорганизмов. Особенно важное значение принадлежит синергическим отношениям между дождевыми червями и бактериям. Это справедливо и в отношении вида *Eisenia fetida*, который является самым широко используемым в мире для переработки различных органических отходов, таких, как опад из листьев растений, отходы фруктов и овощей, навоз животных, твердые бытовые отходы и т.д. В целом данный обзор показал, что множество методов идентификации, в том числе молекулярно-генетический и метод селективных сред, демонстрируют связь различных бактерий с дождевыми червями и органическими субстратами. К этим группам бактерий относятся Proteobacteria, Actinobacteria, Firmicutes, Bacteroidetes, Planctomycetes, азотфиксирующие бактерии и аммонификаторы. В органических удобрениях обычно присутствуют ризобактерии, способствующие росту растений (PGPR), субстраты также содержат гормоны роста растений, азотфиксирующие бактерии и питательные вещества, такие, как азот, фосфор и калий, необходимые для правильного роста и развития растений. Это сочетание является очень эффективным в стимулировании роста и развития растений. Таким образом, вклад PGPR и азотфиксирующих бактерий, таких, как *Azotobacter*, в производство органических удобрений имеет важное значение для устойчивых методов ведения сельского хозяйства. Вермикомпост как биоудобрение улучшает плодородие почвы, а также подавляет фитопатогены, в конечном итоге способствуя здоровому росту растений.

Ключевые слова: вермикомпост, дождевые черви, бактерии, органические отходы. органическое удобрение, азотфиксирующие бактерии

Список литературы

1. Katiyar R. B., Sundaramurthy S., Sharma A. K., Arisutha S., Khan M. A., Sillanpää M. Optimization of engineering and process parameters for vermicomposting, *Sustainability*, 15(10), 8090 (2023). <https://doi.org/10.3390/su15108090>
2. Singh S., Singh J., Kandoria A., Quadar J., Bhat S.A., Chowdhary A.B., Vig A.P. Bioconversion of different organic waste into fortified vermicompost with the help of earthworm: A comprehensive review, *International Journal of Recycling Organic Waste in Agriculture*, 9(4), 423-439 (2020). <https://doi.org/10.30486/IJROWA.2020.1893367.1037>
3. Dume B., Hanc A., Svehla P., Michal P., Chane A. D., Nigussie A. Composting and vermicomposting of sewage sludge at various C/N ratios: technological feasibility and end-product quality, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 263, 115255 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115255>
4. Chauhan H. K., Singh K. Effect of tertiary combinations of animal dung with agrowastes on the growth and development of earthworm *Eisenia fetida* during organic waste management, *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 2, 1-7 (2013). <https://doi.org/10.1186/2251-7715-2-11>
5. Bhat S. A., Singh J., Vig A. P. Earthworms as organic waste managers and biofertilizer producers, *Waste and Biomass Valorization*, 9, 1073-1086 (2018). <https://doi.org/10.1007/s12649-017-9899-86>.
6. Pathma J., Sakthivel N. Molecular and functional characterization of bacteria isolated from straw and goat manure based vermicompost, *Applied Soil Ecology*, 70, 33-47 (2013). <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.03.011>
7. Dubey A., Malla M. A., Khan F., Chowdhary K., Yadav S., Kumar A., Sharma S., Khare P. K., Khan M. L. Soil microbiome: a key player for conservation of soil health under changing climate, *Biodiversity and Conservation*, 28, 2405-2429 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10531-019-01760-5>
8. Clark B., York R., Bellamy Foster J. Darwin's worms and the skin of the earth: an introduction to Charles Darwin's *The Formation of Vegetable Mould, Through the Action of Worms, with Observations on Their Habits* (selections), *Organization & Environment*, 22(3), 338-350 (2009). <https://doi.org/10.1177/1086026609344322>
9. Ceritoğlu M., Şahin S., Erman M. Effects of vermicompost on plant growth and soil structure, *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 32(3), 607-615 (2018). <https://doi.org/10.15316/SJAFS.2018.143>
10. Domínguez J., Aira M., Gómez-Brandón M. Vermicomposting: earthworms enhance the work of microbes, *Microbes at Work: From Wastes to Resources*, 93-114 (2010). https://doi.org/10.1007/978-3-642-04043-6_5
11. Alshehrei F., Ameen F. Vermicomposting: A management tool to mitigate solid waste, *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(6), 3284-3293 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.02.072>
12. Singh A., Singh G. S. Vermicomposting: A sustainable tool for environmental equilibria, *Environmental Quality Management*, 27(1), 23-40 (2017). <https://doi.org/10.1002/tqem.21509>
13. Wako R. E. Preparation and characterization of vermicompost made from different sources of materials, *Open Journal of Plant Science*, 6(1), 42-48 (2021). <https://doi.org/10.17352/OJPS.000031>
14. Sharma K., Garg V. Vermicomposting: a green technology for organic waste management, *Waste to Wealth*, 199-235 (2018). https://doi.org/10.1007/978-981-10-7431-8_10
15. Singh S., Singh J., Vig A. P. Effect of abiotic factors on the distribution of earthworms in different land use patterns, *The Journal of Basic & Applied Zoology*, 74, 41-50 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.jobaz.2016.06.001>

16. Ali U., Sajid N., Khalid A., Riaz L., Rabbani M. M., Syed J. H., Malik R. N. A review on vermicomposting of organic wastes, *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 34(4), 1050-1062 (2015). <https://doi.org/10.1002/ep.12100>
17. Kumar R., Sharma P., Gupta R., Kumar S., Sharma M. M. M., Singh S., Pradhan G. Earthworms for eco-friendly resource efficient agriculture, *Resources Use Efficiency in Agriculture*, 47-84 (2020). https://doi.org/10.1007/978-981-15-6953-1_2
18. Pathma J., Sakthivel N. Microbial and functional diversity of vermicompost bacteria, *Bacterial Diversity in Sustainable Agriculture*, Springer, 205-225 (2014). https://doi.org/10.1007/978-3-319-05936-5_9
19. Ratnasari A., Syafiuddin A., Mehmood M. A., Boopathy R. A review of the vermicomposting process of organic and inorganic waste in soils: additives effects, bioconversion process, and recommendations, *Bioresource Technology Reports*, 101332 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101332>
20. Siddiqui S. Interaction of earthworm activity with soil structure and enzymes, *Biology of Composts*, 87-106 (2020). https://doi.org/10.1007/978-3-030-39173-7_521
21. Ramnarain Y. I., Ansari A. A., Ori L. Vermicomposting of different organic materials using the epigeic earthworm *Eisenia fetida*, *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8, 23-36 (2019). <https://doi.org/10.1007/s40093-018-0225-7>
22. Sharma K., Garg V. Comparative analysis of vermicompost quality produced from rice straw and paper waste employing earthworm *Eisenia fetida* (Sav.), *Bioresource Technology*, 250, 708-715 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.11.101>
23. Syarifinnur S., Nuraini Y., Prasetya B., Handayanto E. Comparing compost and vermicompost produced from market organic waste, *International Journal of Recycling Organic Waste in Agriculture*, 12(3), 279-289 (2023). <https://doi.org/10.30486/ijrowa.2022.1944251.1368>
24. Davidson S.K., Powell R., James S. A global survey of the bacteria within earthworm nephridia, *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 67(1), 188-200 (2013). <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2012.12.005>
25. Khyade V. B. Bacterial diversity in the alimentary canal of earthworms, *J. Bacteriol. Mycol. Open Access*, 6(3), 183-185 (2018). <https://doi.org/10.15406/jbmoa.2018.06.00200>
26. Munnoli P. M. Role of microbes in vermicomposting: a review, *Bioprospects of Coastal Eubacteria: Ecosystems of Goa*, 241-262 (2015). https://doi.org/10.1007/978-3-319-12910-5_14
27. Aslam Z., Ahmad A., Ibrahim M., Iqbal N., Idrees M., Ali A., Ahmad I., Bellitürk K., Nawaz M., & Aslam M. Microbial enrichment of vermicompost through earthworm *Eisenia fetida* (Savigny, 1926) for agricultural waste management and development of useful organic fertilizer, *Pak. J. Agric. Sci.*, 58, 851-861 (2021). <https://doi.org/10.21162/PAKJAS/21.1378>
28. Aira M., Pérez-Losada M., Domínguez J. Diversity, structure and sources of bacterial communities in earthworm cocoons, *Scientific Reports*, 8(1), 6632 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-25081-9>
29. Andleeb S., Shafique I., Naseer A., Abbasi W. A., Ejaz S., Liaqat I., Ali S., Khan M. F., Ahmed F., Ali N. M. Molecular characterization of plant growth-promoting vermi-bacteria associated with *Eisenia fetida* gastrointestinal tract, *PLoS One*, 17(6), e0269946 (2022). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269946>

30. Aira M., Olcina J., Pérez-Losada M., Domínguez J. Characterization of the bacterial communities of casts from *Eisenia andrei* fed with different substrates, *Applied Soil Ecology*, 98, 103-111 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.10.002>
31. Thakur S. S., Lone A. R., Yellaboina S., Tambat S., Yadav A. N., Jain S. K., Yadav S. Metagenomic insights into the gut microbiota of *Eudrilus eugeniae* (Kinberg) and its potential roles in agroecosystem, *Current Microbiology*, 79(10), 295 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00284-022-02988-1>
32. Ghosh S., Sarkar Paria D., Chatterjee S. Comparative Study on Bacterial Population Dynamics of Foregut, Midgut, and Hindgut Content of *Perionyx excavatus* (Perrier) Isolated from Eco-friendly, Non-hazardous Vermicompost, *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 194(12), 6126-6139 (2022). <https://doi.org/10.1007/s12010-022-03970-0>
33. Vijayabharathi R., Sathya A., Gopalakrishnan S. Plant growth-promoting microbes from herbal vermicompost, *Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) and Medicinal Plants*, 71-88 (2015). https://doi.org/10.1007/978-3-319-13401-7_4
34. Wright C., Gryganskyi A. P., Bonito G. Fungi in composting, *Fungal Applications in Sustainable Environmental Biotechnology*, 3-28 (2016). https://doi.org/10.1007/978-3-319-42852-9_1
35. Huang K., Li F., Wei Y., Chen X., Fu X. Changes of bacterial and fungal community compositions during vermicomposting of vegetable wastes by *Eisenia fetida*, *Bioresource Technology*, 150, 235-241 (2013). <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.10.006>
36. Kurakov A., Bilanenko E. Structure of the fungal community during the transformation of organic waste by *Eisenia fetida* worms, *Contemporary Problems of Ecology*, 16(4), 426-439 (2023). <https://doi.org/10.1134/S1995425523040054>
37. Singh N.K., Shahi K., Kumar K., Suthar S. Enhanced vermicomposting of leaf litter by white-rot fungi pretreatment and subsequent feeding by *Eisenia fetida* under a two-stage process, *Bioresource Technology Reports*, 13, 100609 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2020.100609>
38. Nayeem-Shah M., Gajalakshmi S., Abbasi S. Direct, rapid and sustainable vermicomposting of the leaf litter of neem (*Azadirachta indica*), *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 175, 792-801 (2015). <https://doi.org/10.1007/s12010-014-1339-7>
39. Kornievskaya E., Kurovsky A., Babenko A., Petrochenko K., Sechko O. Microbial structure of nitrogen utilizers in *Populus nigra* L. compost and vermicompost, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 433, 012001 (2020). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/433/1/012001>
40. Huang K., Li F., Wei Y., Fu X., Chen X. Effects of earthworms on physicochemical properties and microbial profiles during vermicomposting of fresh fruit and vegetable wastes, *Bioresource Technology*, 170, 45-52 (2014). <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.07.058>
41. Pascualone M. J., Gómez Costa M. B., Dalmasso P. R. Fermentative biohydrogen production from a novel combination of vermicompost as inoculum and mild heat-pretreated fruit and vegetable waste, *Biofuel Research Journal*, 6(3), 1046-1053 (2019). <https://doi.org/10.18331/BRJ2019.6.3.5>
42. Huang K., Xia H., Cui G., Li F. Effects of earthworms on nitrification and ammonia oxidizers in vermicomposting systems for recycling of fruit and vegetable wastes, *Science of the Total Environment*, 578, 337-345 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.172>
43. Gómez-Brandón M., Lores M., Domínguez J. Changes in chemical and microbiological properties of rabbit manure in a continuous-feeding vermicomposting system, *Bioresource Technology*, 128, 310-316 (2013). <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.10.112>
44. Ramos R.F., Santana N.A., de Andrade N., Romagna I.S., Tirloni B., de Oliveira Silveira A., Domínguez J., Jacques R.J. S. Vermicomposting of cow manure: Effect of time on earthworm biomass and chemical,

physical, and biological properties of vermicompost, *Bioresource Technology*, 345, 126572 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126572>

45. Li Z., Chen C., Zhang K., Zhang Z., Zhao R., Han B., Yang F., Ding Y. Response of antibiotic resistance genes and related microorganisms to arsenic during vermicomposting of cow dung, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(21), 14475 (2022). <https://doi.org/10.3390/ijerph192114475>

46. Ansari A., Hanief A. Microbial degradation of organic waste through vermicomposting, *International Journal of Sustainable Agricultural Research*, 2(2), 45-54 (2015). <https://doi.org/10.18488/journal.70/2015.2.2/70.2.45.54>

47. Befrozfar M. R., Habibi D., Asgharzadeh A., Sadeghi-Shoae M., Tookallo M. Vermicompost, plant growth-promoting bacteria and humic acid can affect the growth and essence of basil (*Ocimum basilicum* L.), *Annals of Biological Research*, 4(2), 8-12 (2012).

48. Maji D., Misra P., Singh S., Kalra A. Humic acid-rich vermicompost promotes plant growth by improving microbial community structure of soil as well as root nodulation and mycorrhizal colonization in the roots of *Pisum sativum*, *Applied Soil Ecology*, 110, 97-108 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.10.008>

49. Rehman S. U., De Castro F., Aprile A., Benedetti M., Fanizzi F. P. Vermicompost: Enhancing plant growth and combating abiotic and biotic stress, *Agronomy*, 13(4), 1134 (2023). <https://doi.org/10.3390/agronomy13041134>

50. Sarma B. K., Singh P., Pandey S. K., Singh H. B. Vermicompost as modulator of plant growth and disease suppression, *Dynamic Soil, Dynamic Plant*, 4(Spl. Issue 1), 58-66 (2010).

51. Alshehrei F., Al-Enazi N. M., Ameen F. Vermicomposting amended with microalgal biomass and biochar produce phytopathogen-resistant seedbeds for vegetables, *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-8 (2021). <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01770-w>

52. Gudeta K., Bhagat A., Julka J. M., Sinha R., Verma R., Kumar A., Kumari S., Ameen F., Bhat S. A., Amarowicz R. Vermicompost and its derivatives against phytopathogenic fungi in the soil: a review, *Horticulturae*, 8(4), 311 (2022). <https://doi.org/10.3390/horticulturae8040311>

53. Rostami M., Karegar A., Taghavi S. M., Ghasemi-Fasaee R., Ghorbani A. Effective combination of arugula vermicompost, chitin, and inhibitory bacteria for suppression of the root-knot nematode *Meloidogyne javanica* and explanation of their beneficial properties based on microbial analysis, *PLoS One*, 18(8), e0289935 (2023). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0289935>

54. Lim S. L., Wu T. Y., Lim P. N., Shak K. P. Y. The use of vermicompost in organic farming: overview, effects on soil and economics, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(6), 1143-1156 (2015). <https://doi.org/10.1002/jsfa.6849>

55. Akhila A., Entoori K. Role of earthworms in soil fertility and its impact on agriculture: A review, *International Journal of Fauna and Biological Studies*, 9, 55-63 (2022). <https://doi.org/10.22271/23940522.2022.v9.i3a.907>

56. Kumar A., Prakash C. B., Brar N. S., Kumar B. Potential of vermicompost for sustainable crop production and soil health improvement in different cropping systems, *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(10), 1042-1055 (2018). <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.710.116>

57. Devi P. R., Sai G. P., Stuti, Piparotar V. R., Aaqhil Pasha M., & Singh A. Potential of vermicomposting technology in soil and waste management, *J. Pharm. Innov.*, 11, 948-953 (2022).

Information about the authors:

Khan I. – master’s student at the Institute of Biology, Ecology, Soil Science, Agriculture and Forestry, Tomsk State University, Lenin Avenue, 36, Tomsk, Russia.

Kurovsky A. – corresponding author, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Agricultural Biology, Institute of Biology, Ecology, Soil Science, Agriculture and Forestry, Tomsk State University, Lenin Avenue, 36, Tomsk, Russia.

Babenko A. – Doctor of Biological Sciences, Head of the Department of Agricultural Biology, Institute of Biology, Ecology, Soil Science, Agriculture and Forestry, Tomsk State University, Lenina Avenue, 36, Tomsk, Russia.

Kornievskaya E. – postgraduate student of the Department of Agricultural Biology, Institute of Biology, Ecology, Soil Science, Agriculture and Forestry, Tomsk State University, Lenina Avenue, 36, Tomsk, Russia.

Сведения об авторах:

Хан И. – студент магистратуры Института биологии, экологии, почвоведения, сельского и лесного хозяйства, Томский государственный университет, проспект Ленина, 36, Томск, Россия.

Куровский А. – автор для корреспонденции, кандидат биологических наук, доцент кафедры сельскохозяйственной биологии Института биологии, экологии, почвоведения, сельского и лесного хозяйства, Томский государственный университет, проспект Ленина, 36, Томск, Россия.

Бабенко А. – доктор биологических наук, заведующий кафедрой сельскохозяйственной биологии Института биологии, экологии, почвоведения, сельского и лесного хозяйства, Томский государственный университет, проспект Ленина, 36, Томск, Россия

Корниевская Е. – аспирант кафедры сельскохозяйственной биологии Института биологии, экологии, почвоведения, сельского и лесного хозяйства, Томский государственный университет, проспект Ленина, 36, Томск, Россия.

Авторлар туралы мәліметтер:

Хан И. – Томск мемлекеттік университетінің Биология, экология, топырақтану, ауыл шаруашылығы және орман шаруашылығы институтының магистранты, Ленин даңғылы, 36, Томск, Ресей.

Куровский А. – хат-хабар авторы, биология ғылымдарының кандидаты, Томск мемлекеттік университетінің Биология, экология, топырақтану, ауыл шаруашылығы және орман шаруашылығы институты, ның ауыл шаруашылығы биологиясы кафедрасының доценті, Ленин даңғылы, 36, Томск қ., Ресей.

Бабенко А. – биология ғылымдарының докторы, Томск мемлекеттік университетінің Биология, экология, топырақтану, ауыл шаруашылығы және орман шаруашылығы институтының ауыл шаруашылығы биологиясы бөлімінің меңгерушісі, Ленин даңғылы, 36, Томск, қ. Ресей.

Корниевская Е. – Томск мемлекеттік университетінің Биология, экология, топырақтану, ауыл шаруашылығы және орман шаруашылығы институты, ауыл шаруашылығы биологиясы кафедрасының аспиранты, Ленин даңғылы, 36, Томск, қ. Ресей.

Редакторы: Р.І. Берсімбаі

Авторларға арналған нұсқаулықтар,
жарияланым этикасы журнал сайтында енгізілген: <http://bulbio.enu.kz/>

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Хабаршысы.

Биологиялық ғылымдар сериясы.

– 4(149)/2024 – Астана: ЕҰУ. – 131 б.

Шартты б.т. 16,4 . Таралымы – сұраныс бойынша

Басуға қол қойылды: 31.12.2024

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 баспасында басылды