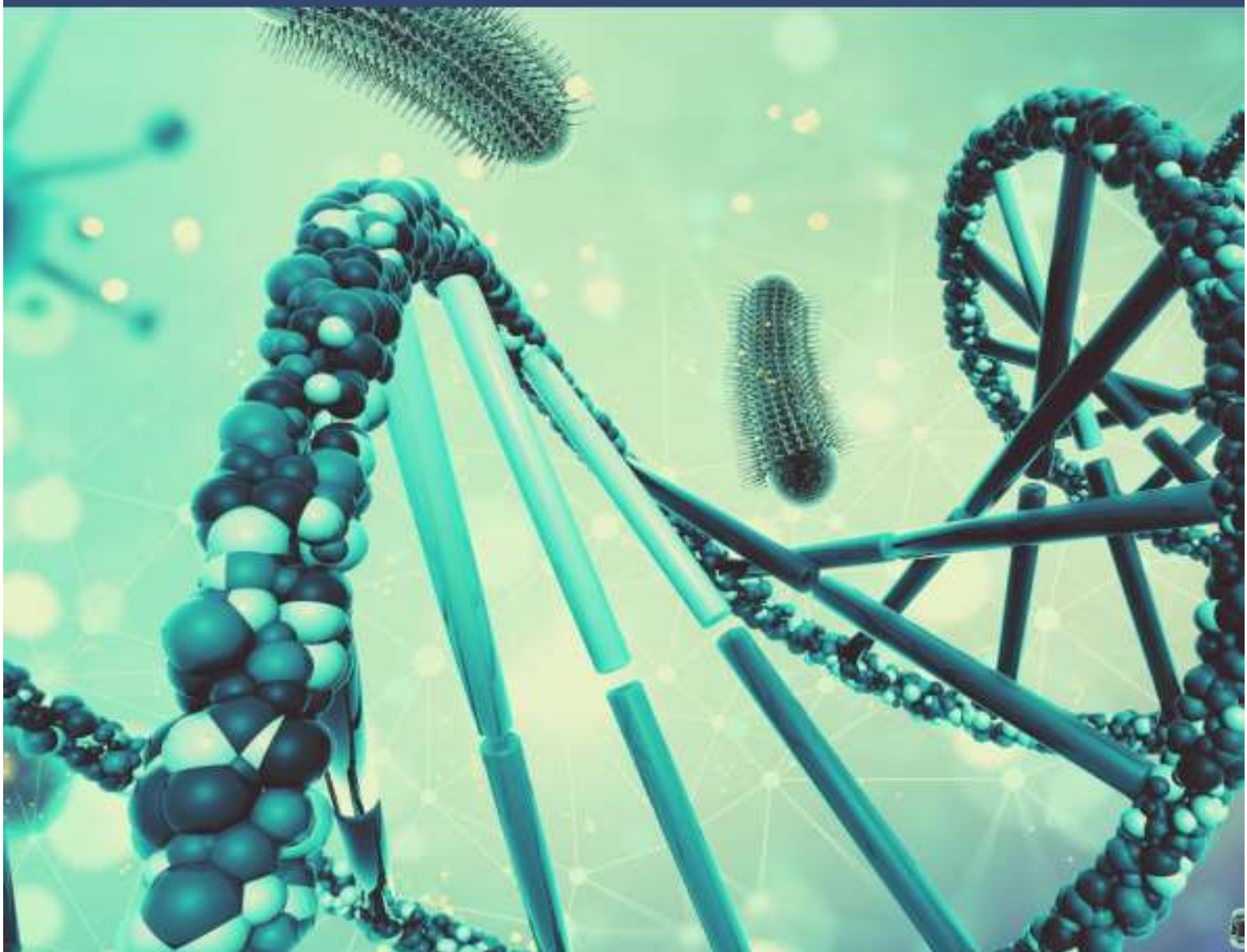
ISSN 2372-4811 (PRINT)
ISSN 2372-482X (ONLINE)

ABAI JOURNAL OF BIOLOGICAL SCIENCES

№1, ISSUE 1 – 2026



Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті
Казахский национальный педагогический университет имени Абая
Abai Kazakh national pedagogical university

Abai Journal of Biological Sciences

№1 (1), 2026

Алматы, 2026

Абай атындағы
Қазақ ұлттық педагогикалық университеті

«Абай атындағы биологиялық ғылымдар журналы»,
№ 1, 2026
Шығару жиілігі – жылына 4 нөмір.
2001 ж. бастап шығады

Бас редактор
PhD, **А.Д. Майматаева**

Бас редактордың орынбасары
PhD., қауымд.профессор
М.Б. Аманбаева

Ғылыми редактор:
б.ғ.д., профессор
З.Б. Тунгушбаева

Атқарушы хатшы:
PhD, **Ж.А. Орынбаева**

Техникалық хатшы:
Магистр, **М.А. Башенова**

Редакция алқасы:
PhD., қауымд.профессор **Қ. Ғалымбек;**
б.ғ.к., доцент **Б.К. Есимов;**
б.ғ.к., профессор **К.Ы. Шалабаев;**
б.ғ.к., доцент **С.Н. Абдрешов;**
б.ғ.д.,профессор **А.П.Богоявленский**;
б.ғ.д., профессор ***Б.М. Дженбаев*** *(*Қырғызстан);
б.ғ.д., профессор **Н.П. Бгатова** (Ресей);
п.ғ.д., профессор **Н.Д. Андреева** *(*Ресей);
п.ғ.д., профессор **С.В. Суматохин** (Ресей);
б.ғ.д., профессор **Г.А. Шахмурова** (Өзбекстан);
PhD, **Л. Давид** (Венгрия);
б.ғ.к., профессор **И.Э. Дигель** (Германия);
PhD, б.ғ.д., профессор **А. Аксой** (Туркия);
Профессор, **Л. Дини** (Италия);
PhD., қауымд.профессор **К. Акан** (Туркия)

© Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, 2026

Қазақстан Республикасының мәдениет және ақпарат министрлігінде 2009 жылы мамырдың 8-де тіркелген
№10107-Ж

Басуға 15.11.2022 қол қойылды.
Пішімі 60x84 $^{1}/_{8}$. Көлемі 18,9 е.б.т.
Таралымы 300 дана.
Тапсырыс 668.

050010, Алматы қаласы,
Достық даңғылы, 13.

Абай атындағы ҚазҰПУ
Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университетінің
«Ұлағат» баспасы

МАЗМҰНЫ

Абай атындағы биологиялық ғылымдар журналы

Акан К., Ходжаоглу О., Чат А., Кечели А., Кара К., Эрол Т., Текин М., Коч К. 5
Бастапқы өнімділік сынақтарындағы жұмсақ бидай генотиптерінің қатты қаракүйеге төзімділігін бағалау

Бгатова Н.П., Карпов М.А., Надеев А.П. 17
Эксперименттік құрсақ қуысының жабысу процесі кезіндегі макрофагтардың морфофункционалдық ерекшеліктері

Ғалымбек Қ., Бакиров С.Б., Джунусова Р.Ж., Аманбай Б.Б., Тұрсын А.Б. 27
Қазақстанның оңтүстік – шығыс аймағында бидай үлгілерінің қатты қара күйе (Tilletia caries (DC.) Tul) ауруына төзімділігін анықтау

Орынбаева Ж.А., Тунгушбаева З.Б. 33
Тұрақты биотехнология: ферменттелеген кебек негізіндегі пробиотиктердің экологиялық тиімділігі

Казахский национальный педагогический университет имени Абая

«Журнал биологических наук имени Абая»
№ 1, 2026

Периодичность издания – 4 раза в год.
Издается с 2001 года.

Главный редактор:
PhD, **А.Д. Майматаева**

Заместитель главного редактора:
PhD, ассоциированный профессор
М.Б. Аманбаева

Научный редактор:
д.б.н., профессор
З.Б. Тунгушбаева

Ответственный секретарь:
PhD, **Ж.А. Орынбаева**

Технический секретарь:
Магистр, **М.А. Башенова**

Редакционная коллегия:
PhD, ассоциированный профессор
К. Галымбек;
к.б.н., доцент **Б.К. Есимов;**
к.б.н., профессор **К.Ы. Шалабаев;**
к.б.н., доцент **С.Н. Абдрешов;**
д.б.н., профессор **А.П. Богоявленский;**
д.б.н., профессор **Б.М. Дженбаев** (Кыргызстан);
д.б.н., профессор **Н.П. Бгатова** (Россия);
д.п.н., профессор **Н.Д. Андреева** (Россия);
д.п.н., профессор **С.В. Суматохин** (Россия);
д.б.н., профессор **Г.А. Шахмурова** (Узбекистан);
PhD, **Л. Давид** (Венгрия);
к.б.н., профессор **И.Э. Дигель** (Германия);
PhD, д.б.н., профессор **А. Аксой** (Турция);
Профессор **Л. Дини** (Италия);
PhD, ассоциированный профессор **К. Акан** (Турция).

© Казахский национальный педагогический университет имени Абая, 2026

Зарегистрировано в Министерстве культуры и информации Республики Казахстан 8 мая 2009 г. №10107-Ж

Подписано в печать 15.11.2022.
Формат 60x84 $^{1}/_{8}$.Объем 18,9
уч.-изд.л. Тираж 300 экз.
Заказ 668.

050010, г.Алматы,
пр.Достык, 13. КазНПУ имени Абая
Издательство «Ұлағат»

Казахского национального педагогического университета имени Абая

СОДЕРЖАНИЕ

Журнал биологических наук имени Абая

Акан К., Ходжаоглу О., Чат А., Кечели А., Кара К., Эрол Т., Текин М., Коч К. 5
Оценка устойчивости генотипов мягкой пшеницы к твёрдой головне в предварительных сортоиспытаниях

Бгатова Н.П., Карпов М.А., Надеев А.П.
Макрофагтардың эксперименттік құрсақ қуысының жабысу процесі кезіндегі морфофункционалдық ерекшеліктері 17

Галымбек К., Бакиров С.Б., Джунусова Р.Ж., Аманбай Б.Б., Турсын А.Б.
Определение устойчивости образцов пшеницы к заболеванию твердой головней (Tilletia Caries (dc.) tul.) в юга-восточном регионе Казахстана 27

Орынбаева Ж.А., Тунгушбаева З.Б.
Устойчивая биотехнология: экологическая жффективность пробиотиков на основе ферментированных отрубей 33

Kazakh National Pedagogical University named after Abai

"Abai Journal of Biological Sciences" № 1, 2026

Publication frequency – 4 issues per year.
Published since 2001.

Editor-in-Chief:
PhD, **A.D. Maimatayeva**

Deputy Editor-in-Chief:
PhD, Associate Professor
M.B. Amanbayeva

Scientific Editor:
Doctor of Biological Sciences, Professor
Z.B. Tungushbayeva

Executive Secretary:
PhD, **Zh.A. Orynbayeva**

Technical Secretary:
Master's Degree, **M.A. Bashenova**

Editorial Board:
PhD, Associate Professor **K. Galymbek;**
Candidate of Biological Sciences, *Associate Professor* **B.K. Yessimov;**
Candidate of Biological Sciences, Professor **K.Y. Shalabayev;**
Candidate of Biological Sciences, Associate Professor **S.N. Abdreshov;**
Doctor of Biological Sciences, Professor **A.P. Bogoyavlensky;**
Doctor of Biological Sciences, Professor **B.M. Dzhenbaev** (Kyrgyzstan);
Doctor of Biological Sciences, Professor **N.P. Bgatova** (Russia);
Doctor of Pedagogical Sciences, Professor **N.D. Andreeva** (Russia);
Doctor of Pedagogical Sciences, Professor **S.V. Sumatokhin** (Russia);
Doctor of Biological Sciences, Professor **G.A. Shakhmurova** (Uzbekistan);
PhD, **L. David** *(*Hungary*);*
Candidate of Biological Sciences, Professor **I.E. Digel** (Germany);
PhD, Doctor of Biological Sciences, **Professor A. Aksoy** (Turkey);
Professor **L. Dini** (Italy);
PhD, Associate Professor **K. Akan** (Turkey).

©Abai Kazakh National Pedagogical University, 2026

The journal is registered by the Ministry of Culture and Information RK
8 May 2009. №10107-Z

Signed to print 15.11.2022.
Format 60x84 $^{1}/_{8}$. Volume – 18,9 publ.literature.
Edition 300 num. Order 668.
050010, Almaty, Dostykave., 13

Abai KazNPU
Publishing house «Ulagat» Abai Kazakh National Pedagogical University

CONTENT

Abai Journal of Biological Sciences

Akan K., Hocaoglu O., Çat A., Keçeli A., Kara K., Erol T., Tekin M., Koç K.
Evaluation of common bunt resistance in bread wheat genotypes from primary yield trials 5

Bgatova N.P., Karpov M.A., Nadeev A.P.
Morphofunctional Features of Macrophages in Experimental Peritoneal Adhesion Formation 17

Galymbek K., Bakirov S.B., Dzhunusova R.Zh., Amanbay B.B., Tursyn A.B.
Determination of resistance of wheat samples to common bunt (Tilletia caries (DC.) Tul.) in the south-eastern region of Kazakhstan 27

Orynbayeva Zh.A., Tungushbayeva Z.B.
Sustainable biotechnology: environmental efficiency of probiotics based on fermented bran 33

IRSTI: 34.29.25 https://doi.org/10.51889/AJBS.2026.1.1.001

Kadir AKAN[1]*, Onur HOCAOĞLU[2], Ahmet ÇAT[3], Alaettin KEÇELİ[4], Kamil KARA[5], Taşkın EROL[6], Mehmet TEKİN[7], Kander KOÇ[8]

[1]Kırşehir Ahi Evran University, Faculty of Agriculture, Department of Plant Protection, Kırşehir, Türkiye.
[2]Çanakkale Onsekiz Mart University, Faculty of Agriculture, Department of Field Crops, Çanakkale, Türkiye.
[3]Siirt University, Faculty of Agriculture, Department of Plant Protection, Siirt, Türkiye.
[4]Pamukkale University, Faculty of Applied Sciences, Department of Organic Farming Management, Çivril/Denizli, Türkiye.
[5]Kırıkkale University, Delice Vocational School, Department of Plant and Animal Production, Plant Protection Program, Kırıkkale, Türkiye.
[6]Kırıkkale Vocational School, Department of Plant and Animal Production, Organic Agriculture Program, Delice/Kırıkkale, Türkiye.
[7]Akdeniz University, Faculty of Agriculture, Department of Field Crops, Antalya, Türkiye.
[8]Yenice, Tarsus/Mersin, Türkiye.
* *e-mail:* kadir.akan@ahievran.edu.tr

EVALUATION OF COMMON BUNT RESISTANCE IN BREAD WHEAT GENOTYPES FROM PRIMARY YIELD TRIALS

This study was conducted to determine the reactions of 50 bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes at the preliminary yield trial stage against common bunt (*Tilletia foetida*) across seven different locations in Türkiye, including Antalya, Çanakkale, Denizli, Kırıkkale, Kırşehir, Mersin, and Siirt under artificial epidemic conditions during the 2024-2025 growing season. The pathogen population was virulent on *Bt-0*, *Bt-2*, *Bt-3*, *Bt-4*, *Bt-6* and *Bt-7* resistance genes, but avirulent on *Bt-1*, *Bt-5*, *Bt-8*, *Bt-9*, *Bt-10*, *Bt-8,9,10*, *Bt-11*, *Bt-12*, *Bt-13*, *Bt-14* and *Bt-15*. The high disease severity (85-100%) in the susceptible controls, Little Club and Yakar-99, confirmed successful infection across all locations. Among the tested genotypes, 94% (46 genotypes) were in the susceptible reaction group, while only 6% (3 genotypes) showed moderately resistant reactions. The crosses of Esperia/Sönmez 2001 (line 10), Bezostaja-1/Sönmez 2001 (line 17), and Tosunbey/Sönmez 2001 (line 31) showed the highest resistance, with maximum disease severity values of 12%, 13%, and 14%, respectively. Disease severity varied across locations, with Kırşehir showing the highest infection rate (95%), while infection remained relatively low in Antalya, likely due to climatic conditions. The findings show that genetic diversity for resistance to common bunt is limited in the tested wheat gene pool and reveal that Sönmez 2001 can be used as a donor in resistance breeding programs.

Keywords: *Tilletia laevis*, *Bt* resistance genes, Artificial epidemic, Breeding material, Genetic resistance

Кадир АКАН[1]*, Онур ХОДЖАОҒЛУ[2], Ахмет ЧАТ[3], Алаеттин КЕЧЕЛІ[4], Камил КАРА[5], Ташкын ЕРОЛ[6], Мехмет ТЕКИН[7], Кандер КОЧ[8]

[1] Kırşehir Ahi Evran University, Ауыл шаруашылығы факультеті, Өсімдіктерді қорғау кафедрасы, Кыршехир, Түркия.
[2] Çanakkale Onsekiz Mart University, Ауыл шаруашылығы факультеті, Далалық дақылдар кафедрасы, Чанаккале, Түркия.
[3] Siirt University, Ауыл шаруашылығы факультеті, Өсімдіктерді қорғау кафедрасы, Сиирт, Түркия.

[4] Pamukkale University, Қолданбалы ғылымдар факультеті, Органикалық егіншілік менеджменті кафедрасы, Чиврил/Денизли, Түркия.
[5] Kırıkkale University, Делидже кәсіптік мектебі, Өсімдік және мал шаруашылығы бөлімі, Өсімдіктерді қорғау бағдарламасы, Кырыккале, Түркия.
[6] Kırıkkale Vocational School, Өсімдік және мал шаруашылығы бөлімі, Органикалық ауыл шаруашылығы бағдарламасы, Делидже/Кырыккале, Түркия.
[7] Akdeniz University, Ауыл шаруашылығы факультеті, Далалық дақылдар кафедрасы, Анталия, Түркия.
[8] Йенидже, Тарсус/Мерсин, Түркия.
*e-mail: kadir.akan@ahievran.edu.tr

Бастапқы өнімділік сынақтарындағы жұмсақ бидай генотиптерінің қатты қаракүйеге төзімділігін бағалау

Бұл зерттеу 2024–2025 жылғы вегетациялық маусымда жасанды індет жағдайында Түркияның жеті түрлі аймағында — Анталия, Чанаккале, Денизли, Кырыккале, Кыршехир, Мерсин және Сииртте — бастапқы өнімділік сынағы кезеңіндегі 50 жұмсақ бидай (Triticum aestivum L.) генотипінің қатты қаракүйеге (Tilletia foetida) реакциясын анықтау мақсатында жүргізілді. Патоген популяциясы Bt-0, Bt-2, Bt-3, Bt-4, Bt-6 және Bt-7 төзімділік гендеріне вирулентті, ал Bt-1, Bt-5, Bt-8, Bt-9, Bt-10, Bt-8,9,10, Bt-11, Bt-12, Bt-13, Bt-14 және Bt-15 гендеріне авирулентты болды. Сезімтал бақылау сорттары — Little Club және Yakar-99 — бойынша аурудың жоғары даму деңгейі (85–100%) барлық аймақтарда жұқтырудың сәтті өткенін растады. Зерттелген генотиптердің ішінде 94%-ы (46 генотип) сезімтал реакция тобына жатқызылды, ал тек 6%-ы (3 генотип) орташа төзімді реакция көрсетті. Esperia/Sönmez 2001 (10-линия), Bezostaja-1/Sönmez 2001 (17-линияя) және Tosunbey/Sönmez 2001 (31-линия) будандары ең жоғары төзімділікті көрсетті; олардың аурудың ең жоғарғы даму деңгейі тиісінше 12%, 13% және 14% болды. Аурудың даму деңгейі аймақтарға байланысты өзгеріп отырды: ең жоғары залалдану деңгейі Кыршехирде (95%) байқалса, Анталиядаа климаттық жағдайларға байланысты аурудың таралуы салыстырмалы түрде төмен болды. Алынған нәтижелер зерттелген бидай генофондында қатты қаракүйеге төзімділік бойынша генетикалық әртүрліліктің шектеулі екенін көрсетті және Sönmez 2001 сортының төзімділік селекциясы бағдарламаларында донор ретінде пайдаланылуы мүмкін екенін анықтады.

Түйін сөздер*: Tilletia laevis, Bt* төзімділік гендері, жасанды індет, селекциялық материал, генетикалық төзімділік.

Кадир АКАН[1]*, Онур ХОДЖАОГЛУ[2], Ахмет ЧАТ[3], Алаэттин КЕЧЕЛИ[4], Камиль КАРА[5], Ташкын ЭРОЛ[6], Мехмет ТЕКИН[7], Кандер КОЧ[8]

[1] Kırşehir Ahi Evran University, сельскохозяйственный факультет, кафедра защиты растений, Кыршехир, Турция.
[2] Çanakkale Onsekiz Mart University, сельскохозяйственный факультет, кафедра полевых культур, Чанаккале, Турция.
[3] Siirt University, сельскохозяйственный факультет, кафедра защиты растений, Сиирт, Турция.
[4] Pamukkale University, факультет прикладных наук, кафедра управления органическим земледелием, Чиврил/Денизли, Турция.
[5] Kırıkkale University, профессиональная школа Делидже, отделение растениеводства и животноводства, программа защиты растений, Кырыккале, Турция.
[6] Kırıkkale Vocational School, отделение растениеводства и животноводства, программа органического сельского хозяйства, Делидже/Кырыккале, Турция.
[7] Akdeniz University, сельскохозяйственный факультет, кафедра полевых культур, Анталья, Турция.
[8] Йенидже, Тарсус/Мерсин, Турция.

*e-mail: kadir.akan@ahievran.edu.tr

Оценка устойчивости генотипов мягкой пшеницы к твёрдой головне в предварительных сортоиспытаниях

Данное исследование было проведено с целью определения реакции 50 генотипов мягкой пшеницы (Triticum aestivum L.) на твёрдую головню (Tilletia foetida) на этапе предварительного сортоиспытания в условиях искусственного инфекционного фона в течение вегетационного сезона 2024–2025 гг. в семи различных регионах Турции: Анталья, Чанаккале, Денизли, Кырыккале, Кыршехир, Мерсин и Сиирт. Популяция патогена была вирулентна к генам устойчивости Bt-0, Bt-2, Bt-3, Bt-4, Bt-6 и Bt-7, но авирула к генам Bt-1, Bt-5, Bt-8, Bt-9, Bt-10, Bt-8,9,10, Bt-11, Bt-12, Bt-13, Bt-14 и Bt-15. Высокая степень развития болезни (85–100%) у восприимчивых контрольных сортов Little Club и Yakar-99 подтвердила успешное заражение во всех пунктах испытаний. Среди исследованных генотипов 94% (46 генотипов) были отнесены к группе восприимчивых, тогда как только 6% (3 генотипа) проявили умеренно устойчивую реакцию. Наибольшую устойчивость показали гибридные комбинации Esperia/Sönmez 2001 (линия 10), Bezostaja-1/Sönmez 2001 (линия 17) и Tosunbey/Sönmez 2001 (линия 31), максимальная степень поражения у которых составила соответственно 12%, 13% и 14%. Степень развития болезни варьировала в зависимости от региона: наибольший уровень заражения был отмечен в Кыршехире (95%), тогда как в Анталье распространение болезни оставалось сравнительно низким, вероятно, из-за климатических условий.

Полученные результаты показывают, что генетическое разнообразие по устойчивости к твёрдой головне в исследованном генофонде пшеницы ограничено, а также свидетельствуют о возможности использования сорта Sönmez 2001 в качестве донора устойчивости в селекционных программах.

Ключевые слова: Tilletia laevis, гены устойчивости Bt, искусственный инфекционный фон, селекционный материал, генетическая устойчивость.

Introduction

Bread wheat (*Triticum aestivum* L.) is a strategic crop used for both human and animal nutrition and one of the most widely produced cereals worldwide. Breeding studies have contributed significantly to increasing yield per unit area worldwide (Tekin et al., 2022). In recent years, particularly following developments related to global climate change and geopolitical instability in major wheat-producing countries, further exacerbated by the COVID-19 pandemic, the strategic importance of wheat has increased. Wheat is also one of the most important agricultural products in international trade, and the demand for sustainable food security continues to rise, as cereals, especially wheat, can be stored for long periods under suitable conditions. However, abiotic and biotic stress factors causing yield and quality losses in global wheat production pose a significant threat to food security, potentially leading to unpredictable price fluctuations. It is clear that challenges arising from food insecurity may have serious consequences for both social stability and public health.

It has been reported that six species associated with common bunt have been described, among which the fungal pathogens *Tilletia laevis* (syn. *Tilletia foetida*) and *Tilletia caries* (syn. *Tilletia tritici*) are the primary causal agents. Common bunt is a seed-borne disease that causes varying levels of yield and quality losses in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) (Goates, 2012). In addition to yield losses, the disease is among the critical diseases that cause a trimethylamine odor in the grain and a dark color in the flour in the milling sector (Aydoğdu and Kaya, 2020).

It is important to reduce, and if possible, completely eliminate, economic losses caused by common bunt at all levels. Seed treatment is the adopted method for controlling the disease on a near-global scale. It has been reported that, in the absence of seed treatment, yield losses in susceptible cultivars average 15-20%, and disease incidence can reach up to 96% (Dodov and Todorova, 1974; Aktaş, 2001). Given the effectiveness of seed treatments in disease control, selection for genetic resistance has not been a primary selection criterion in global and Türkiye

wheat breeding programs (Barroga-Matanguihan et al., 2011; Akçura and Akan, 2018; Akan et al., 2026).

As in other breeding studies, the classification of common bunt reactions is critically important. In cases where the susceptible control cultivar shows 100% susceptibility, the resistant and moderately resistant reactions of the tested genotype are more critical. However, previous studies have examined different evaluation scales, assigning varying percentage ranges to reaction groups such as resistant, moderately resistant, moderately susceptible, and susceptible when classifying host reactions in breeding materials. For example, Hoffman and Metzger (1976), Dumalasová and Bartoš (2007), Dumalasová and Bartoš (2010), and Dumalasová et al. (2014) classified pathogen virulence as 0-10% disease incidence (avirulent) and 11-100% (virulent). Similarly, Dodoff and Todorova (1974) defined reaction classes as 1-10% (Resistant), 11-30% (Moderately Resistant), 30-50% (Susceptible), and 51-100% (Highly Susceptible). Szunics and Szunics (1990) and Veisz et al. (2000) proposed a more detailed scale: 0.0% (Highly resistant), 0.1-5.0% (Resistant), 5.1-10.0% (Moderately resistant), 10.1-30.0% (Moderately susceptible), 30.1-50.0% (Susceptible), and 50.1-100.0% (Highly susceptible). More recently, Akçura and Akan (2018) and Akan et al. (2026) classified reactions as 0% (Immune), 0.1-10.0% (Resistant), 10.1-25.0% (Moderately resistant), 25.1-40.0% (Moderately susceptible), 40.1-70.0% (Susceptible), and ≥ 70.1% (Very susceptible).

The main objectives of this study are (i) to determine the disease reactions of bread wheat genotypes at the preliminary yield trial stage against common bunt (*Tilletia foetida*) across multiple locations Türkiye, including Antalya, Çanakkale, Denizli, Kırıkkale, Kırşehir, Mersin and Siirt; (ii) to evaluate these reactions according to the most recent classification scale proposed by Akçura and Akan (2018) and Akan et al. (2026), to classify genotypes.

Material and Method

Plant Material

The plant material used in this study consisted of 50 bread wheat genotypes at the preliminary yield trial stage, provided by Tasaco Tarım (Antalya, Türkiye) (Table 1). In addition, a differential set of 17 genotypes was used to confirm the pathogen's race and to determine its virulence/avirulence pattern against specific resistance genes. The differential set includes the genotypes: Heines VI (*Bt-0*), SEL 2092 (*Bt-1*), SEL 1102 (*Bt-2*), Ridit (*Bt-3*), Turkey 1558 (*Bt-4*), Hohenheimer (*Bt-5*), Rio (*Bt-6*), Sel 50077 (*Bt-7*), M78-9496 (*Bt-8*), M82-2098 (*Bt-9*), M82-2102 (*Bt-10*), P.I. 178383 (*Bt-8,9,10*), M82-2123 (*Bt-11*), P.I. 119333 (*Bt-12*), P.I. 181463 (*Bt-13*), Doubbi (*Bt-14*) and Carleton (*Bt-15*).

Table 1. Breeding and origin of tested materials and maximum bunt reaction

No	Pedigree	Average of maximum scores for all environments (%)	Maximum disease score (%)	Reaction group	Ranking*
1	Esperia / Alcione // Esperia	55	77	Susceptible	21
2	Esperia / Bezostaja-1	54	73	Susceptible	6
3	Esperia / Flamura 85	57	86	Susceptible	38
4	Esperia / İkizce 96	55	86	Susceptible	39
5	Esperia / Kate A-1	58	89	Susceptible	46
6	Esperia / Konya-2002	58	74	Susceptible	9
7	Esperia / Pehlivan	58	74	Susceptible	10
8	Esperia / TSCK-9	57	88	Susceptible	43
9	Esperia / TSCK-10	55	75	Susceptible	12
10	Esperia / Sönmez 2001	9	12	Moderately Resistant	1 (Most Resistant)
11	Esperia / Tosunbey	54	74	Susceptible	11

12	Genesi/ Kate A-1	58	77	Susceptible	22
13	Genesi/ Pehlivan	60	87	Susceptible	40
14	Kate A-1 / Aldane	60	77	Susceptible	23
15	Kate A-1 / Tosunbey	61	88	Susceptible	44
16	Bezostaja-1 / Kate A-1	53	75	Susceptible	13
17	Bezostaja-1 / Sönmez 2001	9	13	Moderately Resistant	2
18	Bezostaja-1 / Flamura 85	57	78	Susceptible	26
19	Bezostaja-1 / Konya-2002	58	75	Susceptible	14
20	Bezostaja-1 / İkizce 96 // Bezostaja-1	57	88	Susceptible	45
21	Bezostaja-1 / Esperia // Esperia	57	90	Susceptible	48
22	Tosunbey / TSCK-9	61	79	Susceptible	27
23	Tosunbey / Bezostaja-1	59	77	Susceptible	24
24	Tosunbey / Konya-2002	59	77	Susceptible	25
25	Tosunbey / Flamura 85 // Esperia	58	76	Susceptible	15
26	Tosunbey / Esperia // Esperia	60	76	Susceptible	16
27	Tosunbey / Ahmetağa	57	76	Susceptible	17
28	Tosunbey / Sagittario	60	76	Susceptible	18
29	Tosunbey / Genesi// Genesi	60	90	Susceptible	49
30	Tosunbey / Cömert	60	84	Susceptible	37
31	Tosunbey / Sönmez 2001	9	14	Moderately Resistant	3
32	Tosunbey / TSCK-10	61	87	Susceptible	41
33	Tosunbey / Bora	60	87	Susceptible	42
34	Bora/ Rumeli	58	69	Susceptible	4
35	Bora/ Adana-99	61	90	Susceptible	50 (Most Susceptible)
36	Bora/ Ahmetağa	60	83	Susceptible	35
37	Bora/ Axum	60	76	Susceptible	19
38	Ahmetağa / Bora	57	73	Susceptible	7
39	Ahmetağa / Bezostaja-1 // Ahmetağa	60	89	Susceptible	47
40	Ahmetağa / Genesi	60	81	Susceptible	32
41	Ahmetağa / Cömert	61	82	Susceptible	34
42	Ahmetağa / Bayraktar 2000	60	79	Susceptible	28
43	Ahmetağa / Altındane	61	83	Susceptible	36
44	Ahmetağa / Rebelde	59	79	Susceptible	29
45	Ahmetağa / Sagittario	60	79	Susceptible	30
46	Bayraktar 2000 / Tosunbey	59	81	Susceptible	33
47	Bayraktar 2000 / Adana-99	59	80	Susceptible	31
48	Bayraktar 2000 / Sagittario	58	76	Susceptible	20
49	Bayraktar 2000 / Axum	58	72	Susceptible	5
50	Bayraktar 2000 / Ahmetağa	58	73	Susceptible	8

*The ranking of tested materials from the most resistant (1) to the most susceptible (50) considering the "Maximum disease score (%)

Disease Inoculation

The inoculum source for the common bunt pathogen consisted of a fresh spore population of *Tilletia laevis* (syn. *Tilletia foetida*), which was collected annually and used in a previous study by Akçura and Akan (2018). The spores used in this study were collected on July 30, 2024, from infected spikes obtained from the experimental fields of Kırşehir Ahi Evran University, where disease reaction tests were conducted under artificial epidemic conditions. The collected material was stored at +4°C until inoculation.

Prior to inoculation, random samples were taken from infected wheat spikes, and the pathogen was re-identified as *T. laevis* based on teliospore morphology, as described by Goates (1996). Diseased grains were crushed in a sterile mortar, and teliospores were separated from plant debris using a sterile sieve. Approximately 4 g of teliospores for each test genotype were placed in new paper envelopes. Inoculation was carried out prior to sowing at all locations by mixing teliospores with healthy seeds at approximately 0.5% (w/w), following the method described by Akan et al. (2026).

The experiments were conducted in multiple locations in Türkiye, including Antalya, Çanakkale, Denizli, Kırıkkale, Kırşehir, Mersin, and Siirt during the 2024-2025 growing season. All genotypes were sown manually between October and December 2024, in a randomized design with three replications. Sowing was carried out at a depth of 5-7 cm, in 1 m rows with 33 cm row spacing. The cultivar Little Club (LC) was used as a susceptible control and was sown after every 10 test genotypes. Along with LC, the susceptible control cultivar Yakar-99 was also sown in four border rows around the experiments. No chemical or organic fertilizers were applied, and all experiments were conducted under rainfed conditions without irrigation.

Disease Evaluation

The spikes of each tested genotype were evaluated between May and July 2025 at Zadoks growth stage 91 or later, according to the Zadoks development scale (Zadoks et al., 1974). In this context, the number of healthy and infected spikes was recorded separately for all test materials and genotypes in the differential set. Based on these data, the disease infection rate (%) was calculated using Equation 1 (Akan et al., 2006; Dumalasová and Bartoš, 2007, 2010; Dumalasová et al., 2014; Akçura and Akan, 2018; Aydoğdu and Kaya, 2020)

Infection rate (%) = (Number of diseased spikes/Total number of spikes) x 100

To evaluate the results, genotypes were grouped based on the maximum disease rate (%) observed at each location. Disease reactions were categorized according to the classification scale proposed by Akçura and Akan (2018) and Akan et al. (2026): 0% (Immune), 0.1-10.0% (Resistant), 10.1-25.0% (Moderately resistant), 25.1-40.0% (Moderately susceptible), 40.1-70.0% (Susceptible), and over 70.1% (Very susceptible).

In evaluating the differential set, the highest disease reaction observed for each genotype was considered. According to the method of Hoffman and Metzger (1976), a disease rate of 0-10% was considered resistant (pathogen avirulent), whereas 10.1-100% was considered susceptible (pathogen virulent).

The pedigree information of tested materials, along with the mean of maximum disease scores across all environments (%), the maximum disease score (%), reaction group, and the ranking of genotypes from the most resistant (1) to the most susceptible (50) for common bunt, are presented in Table 1.

Results

Common bunt developed under artificial epidemic conditions in all locations. Disease reactions of the susceptible control genotypes LC and Yakar-99 ranged from 85% to -100% across all locations. These high reaction rates in the susceptible controls confirmed the effectiveness of the inoculation and the reliability of the disease evaluation.

It was determined that the pathogen population was virulent on the *Bt-0*, *Bt-2*, *Bt-3*, *Bt-4*, *Bt-6,* and *Bt-7* resistance genes, while it was avirulent on *Bt-1*, *Bt-5*, *Bt-8*, *Bt-9*, *Bt-10*, *Bt-8,9,10*, *Bt-11*, *Bt-12*, *Bt-13*, *Bt-14,* and *Bt-15*.

The grouping of the test materials based on their reactions to common bunt is presented in Tables 1 and 2.

Table 2. Grouping of the reactions of test materials to common bunt

Test Location	Material											
	First group		Second group		Third group		Fourth group		Fifth group		Sixth group	
	Immune		Resistant		Moderately resistant		Moderately susceptible		Susceptible		Very susceptible	
	%0		%0.1-10.0		%10.1-25.0		%25.1-45		%45.1-70.0		>%70.1	
	Number	%	Number	%	Number	%	Number	%	Number	%	Number	%
Antalya	0	0	1	2	2	4	0	0	4	8	43	86
Çanakkale	0	0	3	6	0	0	5	10	42	84	0	0
Denizli	0	0	0	0	4	8	9	18	36	72	1	2
Kırıkkale	0	0	3	6	0	0	0	0	38	76	9	18
Kırşehir	0	0	0	0	3	6	0	0	1	2	46	92
Mersin	0	0	3	6	0	0	0	0	47	94	0	0
Siirt	0	0	3	6	0	0	0	0	47	94	0	0
Total	**0**	**0**	**0**	**0**	**3**	**6**	**0**	**0**	**1**	**2**	**46**	**92**

Common Bunt Reaction Evaluations of Test Materials

Evaluation of the 50 genotypes at the tested preliminary yield trial stage revealed that the majority of the population was highly susceptible. According to Table 1, 46 genotypes (92%) were classified as susceptible, whereas only 3 genotypes (6%) showed moderately resistant reaction.

Among the test materials, the most resistant reactions were observed in genotypes derived from crosses involving the Sönmez 2001 cultivar. The genotype Esperia/Sönmez 2001 (line number 10) stood out as the most resistant line, with a mean disease rate of 9% and a maximum of 12%. This line was followed by Bezostaja-1/Sönmez 2001 (line number 17) and Tosunbey / Sönmez 2001 (line number 31), with maximum disease rates of 13% and 14%, respectively. These three genotypes were classified as moderately resistant (Table 1).

The most susceptible reactions were observed in genotypes involving Bora and Adana-99. The genotype Bora/Adana-99 (line number 35) was found to be the most susceptible, ranking 50th with a maximum disease rate of 90%. Similarly, Bezostaja-1/Esperia//Esperia (line number 21) and Tosunbey/Genesi//Genesi (line number 29) were also among the most susceptible genotypes, with a disease rate of 90%.

The results showed that genotypes derived from widely used parents such as Esperia and Tosunbey generally showed high disease rates, with reactions typically exceeding 70% (Table 2).

Evaluation of Common Bunt Reactions of Test Materials on a Location Basis

Studies conducted across different locations revealed that common bunt reaction levels varied significantly depending on ecological conditions. According to Table 2, the highest disease rate was observed in Kırşehir and Antalya. In Kırşehir, 92% of tested genotypes were classified as highly susceptible, compared with 86% in Antalya (Table 2).

At the Mersin and Siirt locations, 94% of the genotypes were classified as susceptible (Table 2). A clear contrast was observed between locations: while 46 genotypes showed a very susceptible reaction in Kırşehir, only 1 genotype was in the very susceptible reaction group in Denizli, highlighting substantial variation among environments. Overall, 46 of the 50 genotypes were in the very susceptible reaction group.

When the highest disease scores were evaluated across all locations, no genotype was classified as immune or resistant at any location. Genotypes derived from Sönmez 2001 had relatively lower disease scores than other genotypes and were identified in the moderately resistant group (Table 2).

The susceptible controls LC and Yakar-99 showed reactions ranging from 85% to -100% across all locations, confirming the effectiveness of inoculation and disease evaluation. The maximum disease reaction observed in the test materials was 58% in Antalya and 69% in

Çanakkale. In Denizli, Kırıkkale, Mersin, and Siirt, the highest disease rate reached to 70%, whereas Kırşehir had the highest disease severity, with a rate of 95%.

Since no chemical or organic fertilizers were applied during the experimental period, it was concluded that plant nutrients had no possible effect on disease reactions. Climate data indicated that temperatures were generally above, and precipitation below, long-term averages during the winter and spring seasons across all locations.

Discussion

The findings of this study, which analyzed the common bunt (*Tilletia foetida*) reactions and genotype × environment interactions of the bread wheat breeding materials, are comprehensively discussed in light of the current literature. Within the scope of the study conducted in Antalya, Çanakkale, Denizli, Kırıkkale, Kırşehir, Mersin, and Siirt provinces during the 2024-2025 growing season, common bunt reactions were successfully determined under artificial epidemic conditions. The methodological validity of the study was confirmed by the susceptible control genotypes LC and Yakar-99, which showed disease reactions ranging from 85% to 100% across all locations. This result indicates that inoculation and disease reaction tests were successfully conducted in accordance with scientific standards (Akçura and Akan, 2018; Tekin, 2023; Akan et al., 2026).

When the effectiveness of the pathogen population on the differential set was evaluated, it was determined to be virulent on *Bt-0*, *Bt-2*, *Bt-3*, *Bt-4*, *Bt-6,* and *Bt-7* resistance genes, whereas it was avirulent on *Bt-1*, *Bt-5*, *Bt-8*, *Bt-9*, *Bt-10*, *Bt-8,9,10*, *Bt-11*, *Bt-12*, *Bt-13*, *Bt-14,* and *Bt-15*. The results are consistent with those of Akçura and Akan (2018), Tekin (2023), and Akan et al. (2026), indicating that the pathogen population has not changed significantly. Similarly, Mourad et al. (2023) reported that *Bt-10*, *Bt-11*, *Bt-12,* and *Btp* resistance genes are effective against common bunt races in the USA and Türkiye. Furthermore, it has been reported that the *Bt-10* gene is widely used in breeding programs worldwide due to its effectiveness against many races of *T. laevis* and *T. caries* (Menzies et al., 2006). The use of differential sets to identify pathogen races and evaluate the effectiveness of resistance genes, as proposed by Goates (2012), was found to be methodologically consistent with this study's findings.

In a similar study conducted by Akan et al. (2026), genotype, environment, and genotype × environment interaction were highly significant ($p < 0.01$) for common bunt reactions, as indicated by variance analysis. In another study, Tekin (2023) reported a broad-sense heritability of 0.92 for reaction groups among 102 Turkish bread wheat cultivars, indicating substantial genetic variation. In the present study, only 3 out of 50 genotypes (6%) were in the moderately resistant reaction group, indicating that the tested breeding materials have limited resistance potential against common bunt. Aydoğdu and Kaya (2020) reported that 77.41% of Turkish spring wheat cultivars showed a very susceptible reaction. These findings confirm that resistance sources are limited in modern breeding materials and suggest that genotypes such as Sönmez 2001 can be considered as strategic gene sources in breeding programs for resistance to common bunt (Tekin, 2023).

Variation in disease reactions among locations reflects the pathogen's environmental adaptation and infection success. The high infection level observed in Kırşehir (up to 95%) indicates that this environment is highly conducive to the common bunt epidemic (Akan et al., 2026). In contrast, relatively lower disease reactions in Antalya, a region more suitable for spring production, were directly associated with climatic factors.

During the growing season, winter and spring temperatures were above long-term averages, accelerating plant phenology and causing genotypes to reach the Zadoks 91+ stage earlier than expected. This rapid development process temporally limited the systemic progression of the pathogen toward the spike (Zadoks et al., 1974; Akan et al., 2026). Environmental factors in these locations, especially soil temperature and moisture content during the sowing period, are

thought to increase the pathogen's ability to penetrate. Previous studies have shown that climatic factors influence common bunt infection; for example, Johnsson (1992) reported that climatic factors influence common bunt infection in winter wheat, while Liatukas and Ruzgas (2009) found a positive correlation between low temperatures and disease incidence. However, in this study, it was found that the phenological escape mechanism had a more dominant limiting effect on pathogen penetration.

It is thought that these climatic conditions could accelerate plant phenology, leading to test materials maturing earlier. It is estimated that this rapid development process, depending on climate conditions, temporarily negatively affected the pathogen's systemic development and limited disease progression. This situation is thought to have prevented the disease's severity from becoming more severe, especially in the Antalya area.

As previous studies have indicated, the availability of resistance sources to common bunt within the modern wheat gene pool remains limited (Tekin et al., 2022). Nevertheless, Türkiye is recognized as one of the gene centers of wheat, and it has been stated that it hosts genetic resources that can provide resistance against many diseases, including different cultivars, landraces, and wild relatives, and a significant portion of these resources has been characterized (İpek et al., 2023; Tekin et al., 2022).

Conclusion

In conclusion, line 10 was identified as resistant among the 50 lines evaluated and represents a promising donor for breeding programs to develop new resistant varieties to common bunt. In the absence of chemical or organic fertilization, the observed reactions largely reflect the genetic resistance of the tested materials. Keeping resistant lines derived from genitor parents, such as Sönmez 2001, in the gene pool and enhancing their resistance through marker-assisted pyramiding strategies targeting avirulent pathogen genotypes is of great importance for sustainable management of common bunt.

Acknowledgements

This study was supported by the Kırşehir Ahi Evran University Scientific Research Projects Coordination Unit (Project No: ZRT.A4.25.008). The authors also thank Tasaco Tarım Co. (Antalya, Türkiye) for providing the bread wheat materials.

Ethics Committee Approval

There is no requirement for ethics committee permission for this study.

Conflict of Interest Statement

As the authors of the article, we declare that there is no conflict of interest.

Author Contribution Statement

Planning and Coordination K. Akan. Material and Method K. Akan and O. Hocaoğlu. Data Collection and Processing K. Akan, A. Çat, A. Keçeli, K. Kara, T. Erol, O. Hocaoğlu, M. Tekin, and K. Koç. Statistical Analysis O. Hocaoğlu. Manuscript Writing, Review, and Editing K. Akan, O. Hocaoğlu, A. Çat, and M. Tekin.

References

1. Akan K., Çat A., Hocaoğlu O., Keçeli A., Kara K., Erol T., Yavaş İ., Tekin M., Koç K. (2026). Evaluation of reactions of different wheat genotypes to bunt (*Tilletia foetida*) disease using GGE biplot analysis. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty, 23*(1): 50-60.

2. Akçura, M., & Akan, K. (2018). Assessment of the reactions of pure lines selected from Turkish bread wheat landraces against bunt disease (*Tilletia foetida*) with the GGE-biplot method. *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization, 16*(4), 325-333. https://doi.org/10.1017/S147926211700028X

3. Aktaş, H. (2001). Önemli Hububat Hastalıkları ve Sürvey Yöntemleri. T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı. Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü. Bitki Sağlığı Araştırmaları Daire Başkanlığı, Ankara, Türkiye.

4. Aydogdu, M., ve Kaya, Y. (2020). Reactions of spring wheat varieties to common bunt (*Tilletia laevis*) in Turkey. *Cereal Research Communications*, *48*, 333-339. https://doi.org/10.1007/s42976-020-00040-1

5. Barroga-Matanguihan, J., Murphy, K. M., & Jones, S. S. (2011). Control of common bunt in organic wheat. *Plant Disease, 95*(2), 92-103. https://doi.org/10.1094/PDIS-09-10-0620

6. Dodov, D., & Todorova, V. (1974). Physiological specialization of common bunt of wheat (*Tilletia levis* (Kuhn) and *Tilletia tritici* (Bjerk.) Wint.) in Bulgaria. Izvestiya na Botanicheskiya Institut, 25, 181-197.

7. Dumalasová, V. and Bartoš, P. (2007). Reaction of winter wheat cultivars to common bunt Tilletia tritici (Bjerk.) Wint. and *T. laevis* Kühn. Plant Protection Science, 43(4): 138.

8. Dumalasová, V. and Bartoš, P. (2010). Reaction of wheat, alternative wheat and triticale cultivars to common bunt. Czech Journal of Genetics and Plant Breeding, 46(1): 14-20.

9. Dumalasova, V., Leiova-Svobodova, L. and Bartos P (2014). Common bunt resistance of Czech and European winter wheat cultivars and breeder lines. Czech Journal of Genetics and Plant Breeding 50: 201-207.

10. Goates, B. J. (2012). Identification of new pathogenic races of common bunt and dwarf bunt fungi, and evaluation of known races using an expanded set of differential wheat lines.*Plant Disease*,*96*(3), 361-369. https://doi.org/10.1094/PDIS-04-11-0339

11. Hoffman, J. A. and Metzger, R. J. (1976). Current status of virulence genes and pathogenic races of the wheat bunt fungi in the northwestern USA. *Phytopathology, 66*: 657-660.

12. Ipek, E., Tekin, M., Cat, A. ve Akar, T. (2023). Resistance to stripe rust in Turkish durum wheat varieties and wild emmer genotypes. *Cereal Research Communications*, *51*, 147-154. https://doi.org/10.1007/s42976-022-00293-6

13. Johnsson, L. (1992). Climate factors influencing attack of common bunt (*Tilletia caries* (DC) Tul) in winter wheat in 1940-1988 in Sweden. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, 99*, 21-28.

14. Liatukas, Z., ve Ruzgas, V. (2009). Effect of air temperature on common bunt (*Tilletia caries*) infection in winter wheat. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, *59*(3), 225-232. https://doi.org/10.1080/09064710802102146

15. Madenova, A., Sapakhova, Z., Bakirov, S., Galymbek, K., Yernazarova, G., Kokhmetova, A., ve Keishilov, Z. (2021). Screening of wheat genotypes for the presence of common bunt resistance genes. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *28*(5), 2816-2823. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.02.015

16. Menzies, J. G., Knox, R. E., Popovic, Z., and Procunier, J. D. (2006). Common bunt resistance gene *Bt-10* located on wheat chromosome 6D. *Canadian Journal of Plant Science*, *86*(5), 1409-1412. https://doi.org/10.4141/P06-039

17. Mourad, A. M. I., Morgounov, A., Baenziger, P. S., and Esmail, S. M. (2023). Genetic variation in common bunt resistance in synthetic hexaploid wheat. *Plants*, *12*(1), 2. https://doi.org/10.3390/plants12010002

18. Szunics, L. and Szunics, L. (1990). Data on the bunt infection of wheat varieties. Növénytermelés, 39: 297-304.

19. Tekin, M. (2023). Genetic variation in Turkish bread wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties for resistance to common bunt. *Agronomy*, *13*(10), 2491. https://doi.org/10.3390/agronomy13102491

20. Tekin, M., Emiralioglu, O., Yeken, M. Z., Nadeem, M. A., Ciftci, V., and Baloch, F. S. (2022). Wild relatives and their contributions to wheat breeding. N. Zencirci, H. Ulukan, F. S. Baloch, S. Mansoor ve A. Rasheed (Ed.), *Ancient Wheats* içinde (s. 197-233). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91048-8_9

21. Veisz, O., Szunics, L., and Szunics, L. (2000). Effect of common bunt on the frost resistance and winter hardiness of wheat (*Triticum aestivum* L.) lines containing *Bt* genes. *Euphytica, 114*: 159-164.

22. Zadoks, J. C., Chang, T. T., and Konzak, C. F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals.*Weed research*,*14*(6), 415-421.

***Information about authors**:*

Kadir AKAN - Kırşehir Ahi Evran University, Faculty of Agriculture, Department of Plant Protection, Kırşehir, Türkiye. ORCID 0000-0001-5133-0032

Onur HOCAOĞLU - Çanakkale Onsekiz Mart University, Faculty of Agriculture, Department of Field Crops, Çanakkale, Türkiye. ORCID 0000-0001-9439-8969

Ahmet ÇAT - Siirt University, Faculty of Agriculture, Department of Plant Protection, Siirt, Türkiye. ORCID 0000-0002-5638-0319

Alaettin KEÇELİ - Pamukkale University, Faculty of Applied Sciences, Department of Organic Farming Management, Çivril/Denizli, Türkiye. ORCID 0000-0003-1263-8952

Kamil KARA - Kırıkkale University, Delice Vocational School, Department of Plant and Animal Production, Plant *Protection Program, Kırıkkale, Türkiye. ORCID 0000-0002-7729-4532*

Taşkın EROL - Kırıkkale Vocational School, Department of Plant and Animal Production, Organic Agriculture Program, Delice/Kırıkkale, Türkiye. ORCID 0000-0002-4263-3776

Mehmet TEKİN - Akdeniz University, Faculty of Agriculture, Department of Field Crops, Antalya, Türkiye. ORCID 0000-0002-3447-1586

Kander KOÇ - Yenice, Tarsus/Mersin, Türkiye. ORCID 0000-0002-6784-8423

Сведения об авторах:

Кадир АКАН — Kırşehir Ahi Evran University, сельскохозяйственный факультет, кафедра защиты растений, Кыршехир, Турция. ORCID: 0000-0001-5133-0032

Онур ХОДЖАОГЛУ — Çanakkale Onsekiz Mart University, сельскохозяйственный факультет, кафедра полевых культур, Чанаккале, Турция. ORCID: 0000-0001-9439-8969

Ахмет ЧАТ — Siirt University, сельскохозяйственный факультет, кафедра защиты растений, Сиирт, Турция. ORCID: 0000-0002-5638-0319

Алаэттин КЕЧЕЛИ — Pamukkale University, факультет прикладных наук, кафедра управления органическим земледелием, Чиврил/Денизли, Турция. ORCID: 0000-0003-1263-8952

Камиль КАРА — Kırıkkale University, профессиональная школа Делидже, отделение растениеводства и животноводства, программа защиты растений, Кырыккале, Турция. ORCID: 0000-0002-7729-4532

Ташкын ЭРОЛ — Kırıkkale Vocational School, отделение растениеводства и животноводства, программа органического сельского хозяйства, Делидже/Кырыккале, Турция. ORCID: 0000-0002-4263-3776

Мехмет ТЕКИН — Akdeniz University, сельскохозяйственный факультет, кафедра полевых культур, Анталья, Турция. ORCID: 0000-0002-3447-1586

Кандер КОЧ — Йениджe, Тарсус/Мерсин, Турция. ORCID: 0000-0002-6784-8423

Авторлар туралы мәлімет:

Кадир АКАН — Kırşehir Ahi Evran University, Ауыл шаруашылығы факультеті, Өсімдіктерді қорғау кафедрасы, Кыршехир, Түркия. ORCID: 0000-0001-5133-0032

Онур ХОДЖАОҒЛУ — Çanakkale Onsekiz Mart University, Ауыл шаруашылығы факультеті, Далалық дақылдар кафедрасы, Чанаккале, Түркия. ORCID: 0000-0001-9439-8969

Ахмет ЧАТ — Siirt University, Ауыл шаруашылығы факультеті, Өсімдіктерді қорғау кафедрасы, Сиирт, Түркия. ORCID: 0000-0002-5638-0319

Алаеттин КЕЧЕЛІ — Pamukkale University, Қолданбалы ғылымдар факультеті, Органикалық егіншілік менеджменті кафедрасы, Чиврил/Денизли, Түркия. ORCID: 0000-0003-1263-8952

Камил КАРА — Kırıkkale University, Делидже кәсіптік мектебі, Өсімдік және мал шаруашылығы бөлімі, Өсімдіктерді қорғау бағдарламасы, Кырыккале, Түркия. ORCID: 0000-0002-7729-4532

Ташкын ЕРОЛ — Kırıkkale Vocational School, Өсімдік және мал шаруашылығы бөлімі, Органикалық ауыл шаруашылығы бағдарламасы, Делидже/Кырыккале, Түркия. ORCID: 0000-0002-4263-3776

Мехмет ТЕКИН — Akdeniz University, Ауыл шаруашылығы факультеті, Далалық дақылдар кафедрасы, Анталия, Түркия. ORCID: 0000-0002-3447-1586

Кандер КОЧ — Йениджe, Тарсус/Мерсин, Түркия. ORCID: 0000-0002-6784-8423

МРНТИ 34.19.27 https://doi.org/10.51889/AJBS.2026.1.1.002

Н.П. Бгатова[1], М.А. Карпов[2], А.П. Надеев[3]

[1]НИИ клинической и экспериментальной лимфологии –
филиал ФИЦ Институт цитологии и генетики СО РАН
630117, г. Новосибирск, ул. Арбузова, 6
[2]ФИЦ фундаментальной и трансляционной медицины
630060, г. Новосибирск, ул. Тимакова, 2
[3]Новосибирский государственный медицинский университет Минздрава России
630091, г. Новосибирск, Красный пр., 52
**e-mail: nataliya.bgatova@yandex.ru*

МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МАКРОФАГОВ ПРИ ЭКСПЕРИЕНТАЛЬНОМ СПАЕЧНОМ ПРОЦЕССЕ БРЮШНОЙ ПОЛОСТИ

Спаечный процесс брюшной полости представляет собой сложное биологическое явление, связанное с развитием воспалительных реакций, изменением клеточной активности и ремоделированием соединительной ткани. Важную роль в данных процессах играют макрофаги — клетки врождённого иммунитета, участвующие в регуляции воспаления, фагоцитозе и тканевой регенерации. Целью настоящего литературного обзора является анализ современных научных данных о функциональной активности макрофагов и их участии в патогенезе спаечного процесса. Рассмотрены механизмы активации макрофагов, особенности их фенотипической дифференцировки, а также влияние цитокинов и факторов роста на формирование соединительнотканных структур. Анализ литературы показывает, что макрофаги являются важным компонентом клеточного микроокружения, регулирующим процессы воспаления, фиброзирования и восстановления тканей.

Ключевые слова: макрофаги, спаечный процесс, брюшная полость, воспаление, фиброз, цитокины, фагоцитоз, соединительная ткань.

N.P. Bgatova[1], M.A. Karpov[2], A.P. Nadeev[3]

[1] Research Institute of Clinical and Experimental Lymphology –
Branch of the Federal Research Center Institute of Cytology and Genetics,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (SB RAS)
6 Arbuzova Street, Novosibirsk 630117, Russian Federation
[2] Federal Research Center for Fundamental and Translational Medicine
2 Timakov Street, Novosibirsk 630060, Russian Federation
[3] Novosibirsk State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation
52 Krasny Avenue, Novosibirsk 630091, Russian Federation
**e-mail: nataliya.bgatova@yandex.ru*

Morphofunctional Features of Macrophages in Experimental Peritoneal Adhesion Formation

Peritoneal adhesion formation is a complex biological process associated with inflammatory responses, changes in cellular activity, and remodeling of connective tissue. Macrophages—cells of the innate immune system—play a key role in these processes by regulating inflammation, phagocytosis, and tissue regeneration. The aim of this literature review is to analyze current scientific data on the functional activity of macrophages and their involvement in the pathogenesis of adhesion formation. Mechanisms of macrophage activation, features of their phenotypic differentiation, and the influence of cytokines and growth factors on the formation of connective tissue structures are considered. The literature analysis demonstrates that macrophages are an important component of the cellular microenvironment, regulating inflammation, fibrosis, and tissue repair processes.

Keywords: macrophages, adhesion formation, peritoneal cavity, inflammation, fibrosis, cytokines, phagocytosis, connective tissue.

Н.П. Бгатова[1], М.А. Карпов[2], А.П. Надеев[3]

[1] Клиникалық және эксперименттік лимфология ғылыми-зерттеу институты – Ресей ғылым академиясы Сібір бөлімшесінің Цитология және генетика институты Федералдық зерттеу орталығының филиалы
630117, Новосибирск қ., Арбузов көшесі, 6, Ресей Федерациясы
[2] Фундаменталдық және трансляциялық медицина федералдық зерттеу орталығы
630060, Новосибирск қ., Тимаков көшесі, 2, Ресей Федерациясы
[3] Ресей Федерациясы Денсаулық сақтау министрлігінің Новосибирск мемлекеттік медицина университеті
630091, Новосибирск қ., Қызыл даңғылы, 52, Ресей Федерациясы
**e-mail: nataliya.bgatova@yandex.ru*

Макрофагтардың эксперименттік құрсақ қуысының жабысу процесі кезіндегі морфофункционалдық ерекшеліктері

Құрсақ қуысының жабысу процесі — қабыну реакцияларымен, жасушалық белсенділіктің өзгеруімен және дәнекер тіннің қайта құрылуымен сипатталатын күрделі биологиялық құбылыс. Бұл процестерде туа біткен иммунитет жасушалары болып табылатын макрофагтар маңызды рөл атқарады, олар қабынуды реттеуге, фагоцитозға және тіндердің регенерациясына қатысады. Осы әдеби шолудың мақсаты — макрофагтардың функционалдық белсенділігі және олардың жабысу процесінің патогенезіндегі рөлін қазіргі ғылыми деректер негізінде талдау. Макрофагтардың белсену механизмдері, олардың фенотиптік дифференциациясының ерекшеліктері, сондай-ақ цитокиндер мен өсу факторларының дәнекер тін құрылымдарының түзілуіне әсері қарастырылған. Әдебиеттерді талдау макрофагтардың қабыну, фиброз және тіндердің қалпына келу процестерін реттейтін жасушалық микроортақтың маңызды компоненті екенін көрсетеді.

Түйін сөздер: макрофагтар, жабысу процесі, құрсақ қуысы, қабыну, фиброз, цитокиндер, фагоцитоз, дәнекер тін.

Введение

Формирование спаек в брюшной полости сопровождается развитием абдоминального болевого синдрома, нарушением функции органов брюшной полости и малого таза, а также возникновением различных осложнений, способных существенно ухудшать качество жизни организма [1, 2]. Развитие спаечного процесса наблюдается как при воспалительных заболеваниях органов брюшной полости и малого таза, так и после хирургических вмешательств [3].

Основу формирования спаек составляет накопление фибрина и воспалительного экссудата в брюшной полости с последующей организацией соединительной ткани и развитием фиброзирования [4]. Существенную роль в регуляции данных процессов играют клетки иммунной системы, прежде всего макрофаги. Благодаря фагоцитарной

активности макрофаги способны удалять продукты тканевого распада, фибрин и экссудат, ограничивая развитие спаечного процесса [5, 6].

Однако компенсаторные возможности фагоцитов не всегда обеспечивают полное устранение воспалительного субстрата, вследствие чего создаются условия для дальнейшего формирования соединительнотканных структур [7]. Кроме того, активированные макрофаги могут участвовать в стимуляции фиброгенеза посредством синтеза провоспалительных цитокинов и факторов роста, поддерживая хроническое воспаление и процессы ремоделирования тканей [8, 9].

Функциональная активность макрофагов тесно связана с их морфологическим и ультраструктурным состоянием. Несмотря на значительное количество исследований, особенности морфофункционального статуса макрофагов при развитии спаечного процесса брюшной полости до настоящего времени остаются недостаточно изученными.

Спаечный процесс брюшной полости является результатом сложных клеточных и молекулярных взаимодействий, возникающих в ответ на повреждение тканей и воспалительные реакции [10]. Формирование спаек сопровождается накоплением фибрина, активацией клеток иммунной системы и усилением процессов синтеза компонентов внеклеточного матрикса [11]. В нормальных физиологических условиях после повреждения тканей образовавшийся фибриновый слой подвергается постепенному лизису под действием системы фибринолиза. Однако при нарушении данного механизма происходит избыточное накопление соединительной ткани и формирование стойких спаечных структур [12].

По данным зарубежных исследований, начальные этапы спайкообразования связаны с повреждением мезотелиальных клеток брюшины и развитием локальной воспалительной реакции. T. Diamond и M. Freeman отмечают, что травматизация тканей сопровождается повышением сосудистой проницаемости и миграцией иммунных клеток в очаг повреждения, что способствует активации клеточных медиаторов воспаления [13]. В исследованиях Liakakos и соавторов показано, что ключевое значение в патогенезе спаек имеет нарушение баланса между процессами синтеза и деградации внеклеточного матрикса [14].

Особое внимание исследователи уделяют роли макрофагов как центральных регуляторов воспаления и тканевого ремоделирования. Согласно данным T. Wynn и K. Vannella, макрофаги участвуют в координации межклеточных взаимодействий посредством секреции цитокинов, хемокинов и факторов роста, регулирующих активность фибробластов [15]. При этом функциональная активность макрофагов зависит от их фенотипической поляризации.

Как указывают S. Gordon и F.O. Martinez, макрофаги фенотипа M1 синтезируют провоспалительные цитокины и активные формы кислорода, усиливая воспалительную реакцию [16]. В противоположность этому, M2-макрофаги участвуют в процессах репарации тканей, стимулируют пролиферацию фибробластов и синтез коллагена. Избыточная активация M2-макрофагов может приводить к усиленному фиброзированию и формированию плотных соединительнотканных спаек [17].

Исследования Krishnan и соавторов показали, что макрофаги способны регулировать активность плазминогеновой системы, оказывающей влияние на процессы фибринолиза [18]. Снижение фибринолитической активности приводит к сохранению фибриновых отложений, которые в дальнейшем становятся основой для образования зрелых спаек. По мнению Koh и DiPietro, длительная активация макрофагов сопровождается хроническим воспалением и нарушением нормального течения тканевой регенерации [19].

Кроме того, современные исследования демонстрируют участие макрофагов в регуляции синтеза компонентов внеклеточного матрикса. В работах Wynn отмечается, что данные клетки способны стимулировать выработку трансформирующего фактора роста β (TGF-β), который является одним из основных индукторов фиброзирования тканей [20].

Повышенная экспрессия TGF-β активирует фибробласты и способствует усиленному синтезу коллагеновых волокон.

Согласно исследованиям Nathan и Ding, хроническая воспалительная реакция сопровождается постоянной продукцией провоспалительных цитокинов TNF-α, IL-1β и IL-6, поддерживающих клеточную инфильтрацию и процессы ремоделирования тканей [21]. Аналогичные результаты представлены в исследованиях Ghosn и соавторов, где подчёркивается важная роль макрофагов в регуляции взаимодействия между иммунными клетками и соединительной тканью [22].

Таким образом, современные литературные данные свидетельствуют о том, что макрофаги являются ключевыми клетками, участвующими в патогенезе спаечного процесса брюшной полости. Они регулируют интенсивность воспаления, процессы фибринолиза, синтез внеклеточного матрикса и развитие фиброзирования тканей, обеспечивая сложную взаимосвязь между клеточными и молекулярными механизмами формирования спаек.

Материалы и методы

Экспериментальное исследование выполнено в соответствии с положениями Директивы Европейского сообщества 86/609/EEC по защите животных, используемых в научных целях, а также в соответствии с принципами Хельсинкской декларации, регулирующей проведение биомедицинских исследований с участием экспериментальных животных. Содержание животных осуществлялось в стандартных условиях вивария при естественном световом режиме, свободном доступе к воде и корму и соблюдении санитарно-гигиенических норм.

Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России (протокол № 161 от 15.10.2024 г.).

В эксперименте использовали половозрелых самцов крыс линии Wistar массой 215 ± 22 г, полученных из вивария ФГБОУ ВО НГМУ. Животные были разделены на две группы: экспериментальную группу со смоделированным спаечным процессом брюшной полости и интактную контрольную группу.

Моделирование спаечного процесса осуществляли в условиях общей анестезии. Для наркоза использовали внутримышечное введение раствора тилетамина гидрохлорида и золазепама. В асептических условиях выполняли срединную лапаротомию. После вскрытия брюшной полости петли кишечника осторожно выводили на стерильные салфетки. На париетальной брюшине и большом сальнике с помощью скарификатора наносили множественные поверхностные повреждения длиной около 0,5 см. Дополнительно петли кишечника подвергали кратковременной воздушной сушке для усиления повреждения мезотелиального слоя и индукции воспалительного процесса.

После завершения манипуляций операционную рану ушивали послойно стерильным шовным материалом с соблюдением правил асептики и антисептики. В послеоперационном периоде животные находились под ежедневным наблюдением и содержались в стандартных условиях вивария.

Выведение животных из эксперимента осуществляли на 7-е и 21-е сутки после моделирования спаечного процесса путем декапитации под общей анестезией (по пять животных в каждой подгруппе). Для морфологического исследования забирали участки спаек брюшной полости, фрагменты брыжейки и кишечника.

Полученный биологический материал фиксировали в 10%-м нейтральном забуференном формалине, после чего проводили стандартную гистологическую проводку и заливку в парафин. С помощью ротационного микротома получали серийные срезы толщиной 5 мкм. Для оценки морфологических изменений применяли окраску гематоксилином и эозином.

Иммуногистохимическое исследование выполняли с использованием стандартного пероксидазного метода. Для оценки воспалительной активности и функционального состояния клеток применяли моноклональные антитела к цитокинам TNF-α, IL-1β, IFN-γ, IL-10 и TGF-β в соответствии с инструкциями производителя.

Морфометрический анализ проводили с использованием светового микроскопа Axio Lab.A1 (Carl Zeiss, Германия). Численную плотность клеток с фенотипическими признаками макрофагов определяли в воспалительных инфильтратах методом точечного счета в 60 полях зрения при увеличении ×400 с использованием тестовой системы фиксированной площади 1600 мкм².

Статистическую обработку данных выполняли с использованием программ Microsoft Excel и Statistica 10.0 (StatSoft Inc., США). Результаты представлены в виде медианы и межквартильного размаха (Me [Q1; Q3]). Для оценки различий между группами использовали непараметрический критерий Манна–Уитни. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты

Проведённое исследование показало, что в условиях экспериментального спаечного процесса брюшной полости наблюдаются выраженные изменения морфометрических и ультраструктурных характеристик макрофагов, зависящие от особенностей течения воспалительного процесса.

У животных экспериментальной группы отмечено увеличение размеров макрофагов в динамике наблюдения: с 7-х по 21-е сутки их размеры возрастали в среднем в 1,7 раза. При этом на 7-е сутки макрофаги данной группы были на 19,7% крупнее по сравнению с интактными животными, а к 21-м суткам их размер увеличивался до 2,5 раза относительно контроля (табл. 1).

В группе животных со спаечным процессом без дополнительного воздействия на 7-е сутки эксперимента размеры макрофагов в воспалительных инфильтратах превышали показатели интактной группы на 27,4%. Однако к 21-м суткам наблюдалось их некоторое уменьшение, и по своим морфометрическим характеристикам клетки приближались к значениям интактных животных (табл. 1).

Анализ ядерно-цитоплазматического соотношения показал, что у животных с нелеченным спаечным процессом оно было смещено в сторону ядра на протяжении всего периода наблюдения. При этом размеры ядер макрофагов на 7-е и 21-е сутки превышали показатели интактной группы соответственно на 36,2% и 17%. Это свидетельствует о сохраняющейся функциональной активности клеток в условиях воспаления.

В группе животных с воздействием исследуемого фактора ядерно-цитоплазматическое соотношение изменялось в сторону преобладания цитоплазмы к 21-м суткам, что сопровождалось снижением относительного ядерного объёма по сравнению с группой нелеченных животных. Данные изменения могут указывать на усиление функциональной активности макрофагов, связанной с процессами фагоцитоза и внутриклеточной переработки материала.

При ультраструктурном исследовании выявлено, что цитоплазма макрофагов характеризуется наличием развитой сети шероховатой эндоплазматической сети, значительным количеством лизосом и фаголизосом, содержащих фагоцитированный материал. Отмечено активное формирование псевдоподий, что свидетельствует о высокой миграционной и фагоцитарной активности клеток.

В группе животных со спаечным процессом без дополнительного воздействия количество фагосом и фаголизосом было относительно снижено по сравнению с экспериментальной группой. Также наблюдалась менее выраженная развитость шероховатой эндоплазматической сети, что отражает более низкий уровень функциональной активности макрофагов в данных условиях.

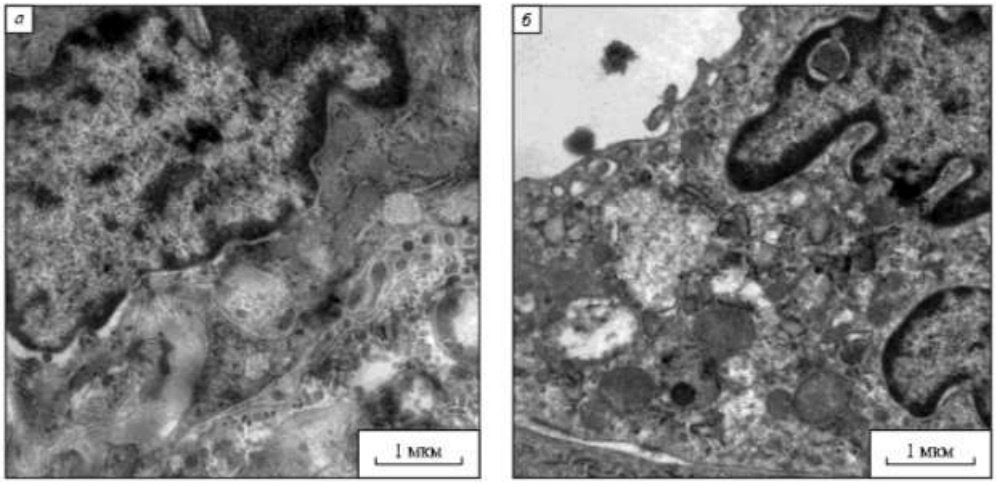
Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о существенных различиях в морфофункциональном состоянии макрофагов в зависимости от особенностей экспериментальной модели, что отражается на их фагоцитарной активности и внутриклеточной организации.

В условиях экспериментального спаечного процесса брюшной полости выявлены выраженные изменения экспрессии цитокинов макрофагами, зависящие от сроков наблюдения и особенностей группы животных.

Таблица 1 — Морфометрические показатели макрофагов при экспериментальном спаечном процессе брюшной полости

Показатель	**Группа 3 (интактные животные)**	**Группа 1 (спаечный процесс без воздействия)**	**Группа 2 (спаечный процесс, с воздействием фактора)**
Размер макрофагов (7-е сутки)	Базовый уровень	+27,4% по сравнению с контролем	+19,7% по сравнению с контролем
Размер макрофагов (21-е сутки)	Базовый уровень	приближается к контролю	в 2,5 раза выше контроля
Динамика размеров (7–21 сутки)	без значимых изменений	тенденция к снижению	увеличение в 1,7 раза
Ядерно-цитоплазматическое соотношение	физиологическое	смещение в сторону ядра	смещение в сторону цитоплазмы (к 21 суткам)
Размер ядер (7-е сутки)	базовый уровень	+36,2%	без выраженных отличий
Размер ядер (21-е сутки)	базовый уровень	+17%	без существенных отличий
Фагоцитарная активность (косвенно)	низкая/физиологическая	умеренная	повышенная
Ультраструктурные признаки	норма	умеренная активация	выраженная активация (много лизосом, фаголизосом, псевдоподий)

Так, численная плотность (Nai) макрофагов, экспрессирующих IL-1, в экспериментальной группе на 7-е и 21-е сутки была ниже по сравнению с группой контроля в 4,6 и 1,8 раза соответственно. Аналогичная тенденция отмечена и в отношении TNF-α: на 7-е сутки количество макрофагов, экспрессирующих данный провоспалительный цитокин, снижалось в 3,2 раза по сравнению с контрольной группой.



Фрагменты макрофагов на 7-е сутки эксперимента в спайках брюшной полости крысы.
(а) Группа 1 — отмечается небольшое количество лизосом и фагосом, слабо выражены псевдоподии.
(б) Группа 2 — выявляется значительное количество лизосом, фаголизосом и развитый шероховатый эндоплазматический ретикулум, активно формируются псевдоподии.
Увеличение ×25 000.

Fragments of macrophages on day 7 of the experiment in peritoneal adhesions of rats.
(a) Group 1 — shows a small number of lysosomes and phagosomes with poorly developed pseudopodia.
(б) Group 2 — demonstrates numerous lysosomes, phagolysosomes, and well-developed rough endoplasmic reticulum with actively forming pseudopodia.
Magnification ×25,000.

В то же время в той же группе наблюдалось увеличение численной плотности макрофагов, экспрессирующих противовоспалительные и профибротические цитокины IL-10 и TGF-β, как на 7-е, так и на 21-е сутки эксперимента по сравнению с контролем. Это указывает на преобладание регуляторных и репаративных механизмов в зоне формирования спаек.

Экспрессия IFN-γ макрофагами на 7-е сутки была снижена: численная плотность соответствующих клеток была в 2 раза ниже по сравнению с контролем. Однако к 21-м суткам отмечено значительное усиление экспрессии данного цитокина — численная плотность IFN-γ-позитивных макрофагов увеличилась в 3,2 раза по сравнению с предыдущим сроком наблюдения и была на 44% выше, чем в контрольной группе.

Полученные данные свидетельствуют о динамическом изменении цитокинового профиля макрофагов в процессе формирования спаек брюшной полости, что отражает переход от начальной фазы воспаления к фазе активного тканевого ремоделирования.

Обсуждение

Проведённый анализ показал, что популяция макрофагов в воспалительных инфильтратах спаек брюшной полости характеризуется выраженной гетерогенностью и динамической изменчивостью в зависимости от сроков эксперимента. На ранних этапах формирования спаечного процесса (7-е сутки) в экспериментальной группе отмечается преобладание макрофагов с функциональными признаками М2-фенотипа, что подтверждается повышенной экспрессией IL-10 и TGF-β. Данные изменения отражают активацию регуляторных и репаративных механизмов, направленных на ограничение воспалительной реакции и запуск процессов тканевого ремоделирования.

В то же время в группе животных без дополнительного воздействия наблюдается более выраженная активность макрофагов М1-типа, о чём свидетельствует повышенная экспрессия провоспалительных цитокинов IL-1 и TNF-α. Это указывает на преобладание

воспалительного компонента и более интенсивное повреждение тканей в условиях отсутствия модулирующего влияния.

К 21-м суткам эксперимента отмечается изменение цитокинового профиля макрофагов с тенденцией к усилению М1-ассоциированной активности, что проявляется увеличением экспрессии TNF-α, IL-1 и IFN-γ. Данный факт может свидетельствовать о сохранении хронического воспалительного процесса и неполной завершённости репаративных реакций в зоне формирования спаек.

Полученные результаты позволяют предположить, что на ранних этапах спаечного процесса макрофаги преимущественно участвуют в регуляции и ограничении воспаления, тогда как в более поздние сроки наблюдается смещение их функциональной активности в сторону поддержания воспалительного ответа и тканевого ремоделирования. Это отражает сложную пластичность макрофагов и их ключевую роль в динамике воспалительно-фибротических процессов.

Морфологические и ультраструктурные данные подтверждают функциональные изменения макрофагов, выявленные на молекулярном уровне. Увеличение количества фагосом и лизосом, развитие шероховатой эндоплазматической сети, а также изменение ядерно-цитоплазматического соотношения свидетельствуют об усилении фагоцитарной активности клеток и их вовлечённости в процессы удаления клеточного детрита и экссудата.

Таким образом, макрофаги в условиях спаечного процесса брюшной полости играют ключевую роль в координации воспалительных и репаративных реакций, а их функциональное состояние определяется балансом между М1- и М2-фенотипами, что в конечном итоге влияет на характер формирования соединительнотканных спаек.

Заключение

В ходе проведённого исследования установлено, что макрофаги играют центральную роль в формировании спаечного процесса брюшной полости, обеспечивая координацию воспалительных и репаративных реакций. Выявлена выраженная зависимость их функционального состояния от стадии эксперимента и условий воздействия.

На ранних сроках наблюдается преобладание М2-ассоциированных макрофагов, характеризующихся повышенной экспрессией IL-10 и TGF-β, что указывает на активацию процессов регуляции воспаления и тканевого ремоделирования. На более поздних этапах происходит смещение цитокинового профиля в сторону М1-фенотипа с усилением экспрессии IL-1, TNF-α и IFN-γ, что отражает сохранение воспалительной активности в зоне спаечного процесса.

Морфологические и ультраструктурные исследования подтвердили высокую функциональную активность макрофагов, проявляющуюся развитием фагоцитарного аппарата, увеличением количества лизосом и фаголизосом, а также изменением ядерно-цитоплазматического соотношения.

Полученные результаты подтверждают участие макрофагов в механизмах воспаления и фиброзирования при формировании спаек брюшной полости и указывают на их значимость в регуляции межклеточных взаимодействий в условиях тканевого повреждения.

Список литературы

1. Wiseman D. Advances, retreats and challenges in adhesions research. Innova. 2016;2(3):7–29. doi: 10.21626/innova/2016.2/01

2. Самарцев В.А., Гаврилов В.А., Пушкарев Б.С., Паршаков А.А., Кузнецова М.П., Кузнецова М.В. Спаечная болезнь брюшной полости: состояниепроблемы и современные методы профилактики. Перм. мед. ж. 2019;36(3):72–90. doi: 10.17816/ pmj36372-90 Samartsev V.A., Gavrilov

V.A., Pushkarev B.S., Parshakov A.A., Kuznetsova M.P., Kuznetsova M.V. Peritoneal adhesion: state of issue and modern methods of prevention. Permskiy meditsinskiy zhurnal = Perm Medical Journal. 2019;36(3):72–90. [In Russian]. doi: 10.17816/pmj36372-90

3. Liu X.R., Liu F., Li Z.W., Liu X.Y., Zhang W., Peng D. The risk of postoperative complications is higher in stage I-III colorectal cancer patients with pre- vious abdominal surgery: a propensity score matching analysis. Clin. Transl. Oncol. 2023;25(12):3471–3478. doi: 10.1007/s12094-023-03210-9

4. Ito T., Shintani Y., Fields L., Shiraishi M., Po- daru M.N., Kainuma S., Yamashita K., Kobayashi K., Perretti M., Lewis-McDougall F., Suzuki K. Cell barri- er function of resident peritoneal macrophages in post- operative adhesions. Nat. Commun. 2021;12(1):2232. doi: 10.1038/s41467-021-22536-y

5. Inal A., Saydam S. Effect of intraperitoneal and systemic sirolimus administration on postoperative peritoneal adhesions in rats. Journal of Basic and Clinical Health Sciences. 2021;5(3):195–200. doi: 10.30621/jbachs.977476

6. Haney A.F. Identification of macrophages at the site of peritoneal injury: evidence supporting a direct role for peritoneal macrophages in healing injured peritoneum. Fertil. Steril. 2000;73(5):988–995. doi:10.1016/s0015-0282(00)00490-8

7. Sahputra R., Dejyong K., Woolf A.S., Mack M., Allen J.E., Rückerl D., Herrick S.E. Monocyte-de-rived peritoneal macrophages protect C57BL/6 miceagainst surgery-induced adhesions. Front. Immunol. 2022;13:1000491. doi: 10.3389/fimmu.2022.1000491

8. Skalsky S., Sokolova T. Reactivity of the macrophage system in adhesion formation. Vrach =The Doctor. 2018;29(5):81–83. [In Russian]. doi:10.29296/25877305-2018-05-19

9. Dremina N.N., Shurygin M.G., Chepurnykh E.E., Shurygina I.A. Role of growth factors in the adhesive process in the abdominal cavity. Acta Biomed. Sci. 2019; 4(5): 98–103. [In Russian]. doi: 10.29413/ABS.2019-4.5.16

10. Diamond M.P., Freeman M.L. Clinical implications of postsurgical adhesions. Surg Clin North Am. 2001;81(6):1221–1236.

11. Arung W., Meurisse M., Detry O. Pathophysiology and prevention of postoperative peritoneal adhesions. World J Gastroenterol. 2011;17(41):4545–4553.

12. Liakakos T., Thomakos N., Fine P.M., Dervenis C., Young R.L. Peritoneal adhesions: etiology, pathophysiology, and clinical significance. Dig Surg. 2001;18(4):260–273.

13. Diamond M.P., Freeman M.L. Clinical implications of postsurgical adhesions. Surg Clin North Am. 2001;81(6):1221–1236.

14. Liakakos T., Thomakos N., Fine P.M., Dervenis C., Young R.L. Peritoneal adhesions: etiology, pathophysiology, and clinical significance. Dig Surg. 2001;18(4):260–273.

15. Wynn T.A., Vannella K.M. Macrophages in tissue repair, regeneration, and fibrosis. Immunity. 2016;44(3):450–462.

16. Gordon S., Martinez F.O. Alternative activation of macrophages: mechanism and functions. Immunity. 2010;32(5):593–604.

17. Murray P.J., Wynn T.A. Protective and pathogenic functions of macrophage subsets. Nat Rev Immunol. 2011;11(11):723–737.

18. Krishnan V., Xu X., Barwe S.P. et al. The role of macrophages in peritoneal adhesion formation. Am J Pathol. 2018;188(7):1506–1516.

19. Koh T.J., DiPietro L.A. Inflammation and wound healing: the role of the macrophage. Expert Rev Mol Med. 2011;13:e23.

20. Wynn T.A. Cellular and molecular mechanisms of fibrosis. J Pathol. 2008;214(2):199–210.

21. Nathan C., Ding A. Nonresolving inflammation. Cell. 2010;140(6):871–882.

22. Ghosn E.E.B., Cassado A.A., Govoni G.R. et al. Role of macrophages in experimental peritoneal fibrosis. Mediators Inflamm. 2010;2010:1–10.

Сведения об авторах:

Бгатова Наталия Петровна - доктор биологических наук, профессор, e-mail: nataliya.bgatova@yandex.ru

Карпов Михаил Александрович - кандидат медицинских наук, e-mail: karpov-ma@mail.ru

Надеев Александр Петрович - доктор медицинских наук, профессор, e-mail: nadeevngma@mail.ru

Information about the authors:
Nataliya Petrovna Bgatova - doctor of biological sciences, professor, e-mail: nataliya.bgatova@yandex.ru
Mikhail Alexandrovich Karpov - candidate of medical sciences, , e-mail: karpov-ma@mail.ru
Aleksandr Petrovich Nadeev - doctor of medical sciences, professor, e-mail: nadeevngma@mail.ru

***Авторлар туралы мәліметтер**:*
Бгатова Наталия Петровна - биология ғылымдарының докторы, профессор, e-mail: nataliya.bgatova@yandex.ru
Карпов Михаил Александрович - медицина ғылымдарының кандидаты (PhD), e-mail: karpov-ma@mail.ru
Надеев Александр Петрович - медицина ғылымдарының докторы, профессор, e-mail: nadeevngma@mail.ru

МҒТАР 68.37.31 https://doi.org/10.51889/AJBS.2026.1.1.003

Қ.Ғалымбек*, С.Б. Бакиров, Р.Ж. Джунусова, Б.Б.Аманбай, А.Б.Тұрсын
Абай атындағы Қазақ Ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан
*e-mail: kanat.galymbek@mail.ru

ҚАЗАҚСТАННЫҢ ОҢТҮСТІК-ШЫҒЫС АЙМАҒЫНДА БИДАЙ ҮЛГІЛЕРІНІҢ ҚАТТЫ ҚАРА КҮЙЕ (*Tilletia caries* (DC.) Tul) АУРУЫНА ТӨЗІМДІЛІГІН АНЫҚТАУ

Бидай дақылының аса қауіпті саңырауқұлақ ауруларының бірі қатты қара күйе (*Tilletia caries* (DC.) Tul). Егіс алқабында қатты қара күйенің телиоспоралары бидай дәнінің эндосперімінің орнына пайда болып, сау масақтың ішінен байқалмай тұрады. *Tilletia caries* (DC.) Tul патогені эпифитотия жылдары егіс алқабында астықтың сапасын төмендетуімен қатар, оны толықтай жарамсыз етеді. Қатты қара күйе ауруының алдын алу үшін тұқымды химиялық өңдеуге болады, бірақ химиялық препараттарды шамадан тыс қолдану қоршаған ортаға зиян тигізеді. Сондықтан қатты қара күйемен күресудің ең тиімді жолы шаруашылыққа төзімді сорттарды енгізу. Қазіргі таңда органикалық шаруашылықтың дамуына байланысты әртүрлі химиялық препараттардың орнына саңырауқұлақ ауруларымен күресі үшін органикалық өнім ретінде төзімді сорттарды пайдалану өзекті мәселе болып саналады. Зерттеу жұмысының мақсаты Алматы облысының қатты қара күйе популяциясына румыниялық бидай үлгілерінің төзімділігін сынау. Зерттеу нысаны ретінде румыниялық бидайлардың 10 үлгісі алынды. Ауруға төзімсіз стандарт ретінде Богарная 56 сорты қолданылды. Зерттеу нәтижесінде ауруға төзімді деп 9 бидай сорты ерекшеленді. Олар: F07270G2, F08034G1, F08245G1, F08126G1, F06393GP10, F08347G8, F06659G-1, RETEZAT және PARTENER. Өсімдіктердің биомасса индекс көрсеткішін (NDVI) анықтау барысында 2 үлгінің биомассасы жоғары деп танылды. Құрылымдық белгілеріне талдау барысында F08347G8, PARTENER және F08245G1 үлгілері өнімділік көрсеткіштері бойынша жоғары деп бағаланды. Жасанды індеттік ортада қатты қара күйеге төзімді болған және өнімділік көрсеткіштері жоғары

болған бидай үлгілерін селекция бағдарламасына *Tilletia caries (D.C.) Tul* патогеніне төзімді донор ретінде енгізуге болады.

Түйін сөздер: төзімді сорт, селекция, патоген, қатты қара күйе, бидай.

К. Галымбек*, С.Б. Бакиров, Р.Ж. Джунусова, Б.Б. Аманбай, А.Б. Турсын
Казахский национальный педагогический университет имени Абая,
Алматы, Казахстан
*e-mail: kanat.galymbek@mail.ru

Определение устойчивости образцов пшеницы к заболеванию твердой головней (Tilletia Caries (dc.) tul.) в юга-восточном регионе Казахстана

Одним из наиболее опасных грибных заболеваний пшеницы является твердая головня *(Tilletia caries* (DC.) Tul). В поле телиоспоры твердой головни появляются вместо эндосперма пшеничного зерна и остаются невидимыми внутри здорового колоса. Возбудитель *Tilletia caries* (DC.) Tul снижает качество зерна в поле в годы эпифитотии и делает его полностью непригодным. Чтобы предотвратить серьезное заболевание твердой головной семена можно обрабатывать химическими веществами, но чрезмерное использование химикатов наносит вред окружающей среде. Поэтому наиболее эффективным способом борьбы с твердой головной является внедрение устойчивых сортов. В настоящее время в связи с развитием органического земледелия актуальным вопросом считается использование в качестве органической продукции для борьбы с грибковыми заболеваниями устойчивых сортов вместо различных химических препаратов. Цель исследования - проверить устойчивость образцов румынской пшеницы к популяции твердой головни Алматинской области. В качестве объекта исследования были взяты 10 образцов румынской пшеницы. В качестве стандарта неустойчивы к болезням использовали сорт Богарная 56. В результате исследований выделено 9 сортов пшеницы, устойчивых к заболеванию. Это: F07270G2, F08034G1, , F08245G1, F08126G1, F06393GP10, F08347G8, F06659G-1, RETEZAT и PARTENER. При определении индекса биомассы растений (NDVI) биомасса 2 образцов была признана высокой. При структурного анализе образцы F08347G8, PARTENER и F08245G1 были оценены как высоким показателям. Образцы пшеницы, устойчивые к твердой головне в условиях искусственной среде и имеющие высокие показатели урожайности, могут быть введены в селекционные программы в качестве доноров, устойчивых к возбудителю *Tilletia caries* (D.C.) Tul.

Ключевые слова: устойчивый сорт, селекция, патоген, твердая головня, пшеница.

K. Galymbek*, S.B. Bakirov, R.Zh. Dzhunusova, B.B. Amanbay, A.B. Tursyn
Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

Determination of resistance of wheat samples to common bunt (Tilletia caries (DC.) Tul.) in the south-eastern region of Kazakhstan

One of the most dangerous fungal diseases of wheat is common bunt (*Tilletia caries* (DC.) Tul). In the field, common bunt teliospores appear instead of wheat grain endosperm and remain invisible inside a healthy ear. The causative agent *Tilletia caries* (DC.) Tul reduces the quality of grain in the field during the years of epiphytosis and makes it completely unusable. To prevent serious disease, common bunt seeds can be treated with chemicals, but overuse of chemicals is harmful to the environment. Therefore, the most effective way to control common bunt is to introduce resistant varieties. Currently, in connection with the development of organic farming, the use of resistant varieties as organic products to combat fungal diseases instead of various chemicals is considered an urgent issue. The purpose of the study was to test the resistance of Romanian wheat samples to the population of common bunt in the Almaty region. As an object of study, 10 samples of Romanian wheat were taken. Variety Bogarnaya 56 was used as a standard disease-resistant variety. As a result of the research, 9 varieties of wheat resistant to the disease were identified. These are: F07270G2, F08034G1, F08245G1, F08126G1, F06393GP10, F08347G8,

F06659G-1, RETEZAT and PARTENER. When determining the plant biomass index (NDVI), the biomass of 2 samples was considered high. In structural analysis, samples F08347G8, PARTENER and F08245G1 were rated as high. Wheat accessions that are resistant to common bunt under artificial conditions and have high yields can be introduced into breeding programs as donors resistant to *Tilletia caries* (D.C.) Tul.

Keywords: resistant variety, breeding, pathogen, common bunt, wheat.

Кіріспе

Жалпы ғаламдық дәнді дақылдар ішінде бидай өндірісі үнемі бірінші орында. Қазақстан бүкіл әлем бойынша сапалы бидай (жыл сайын он млн тоннаға жуық) өндіруші ел.

ФАО мәліметтеріне сүйенсек, 2050 жылға қарай жер шарындағы халық саны 2-3 миллион адамға дейін көбейіп, 9 миллиардқа жетеді. Осыған байланысты бидай мен күріш егістігінің негізгі бөлігі Азия мен Солтүстік Африкада [1]. Көпжылдық зерттеулер әсіресе агротехникалық әдістердің - инфекцияға ұшыраған дақылдардың таралуын оның даму динамикасын және зияндылығын реттеуде маңызды рөл атқаратынын анықтады. Қатты қара күйенің зияндылығы дәннің орнына спора түзіліп қана қоймай, вегетация кезеңінде өсімдіктің айтарлықтай бөлігінің жойылуына, әсіресе күздік бидай кеш себілген жағдайда себеп болады. Залалданған өсімдіктің аязбен қуаңшылыққа төзімділігі төмендейді. Оған қоса, өсімдіктер ауру қоздырғышымен күресу үшін көп энергия жұмсайды, ол өз кезегінде олардың өнімділігіне кері әсер етіп өнімнің аз жиналуына ықпал етеді [2]. Қазақстанда қатты қаракүйе ауруына дәнді дақылдарды қорғаудың негізгі тәсілі тұқымды химиялық препараттармен өңдеу болып табылады. Алайда, аталған аурудың алдын алу үшін химиялық әдісті пайдалану, қаракүйе ауруларымен болатын мәселені толығымен шешкен жоқ, өйткені фунгицидтер төмен тиімділікке ие немесе өсімдіктің шаруашылық бағалы белгілеріне теріс әсер етеді. Жүйелік фунгицидтер бидай дәніне енеді де, күйе саңырауқұлақтарының өсуін тежейді. Бірақ олар топырақ, ауа және су арқылы қоршаған ортаға зиян тигізеді, адам және жануар организміне азық арқылы түседі. Соңғы уақытта, химиялық әдістердің орнына түрлі аурулар, атап айтқанда күйе саңырауқұлақ ауруларына төзімділікті қамтамасыз ету үшін органикалық әдістерді пайдалану селекционерлердің басты міндеттерінің бірі болып отыр [3]. Аталған аурудың алдын алу үшін химиялық әдісті пайдалану, қаракүйе ауруларымен болатын мәселені толығымен шешкен жоқ, өйткені фунгицидтер төмен тиімділікке ие немесе өсімдіктің шаруашылық бағалы белгілеріне теріс әсер етеді [4]. Қатты қара күйе ауруымен күресудің ең тиімді әдісі өсімдіктердің генетикалық қорғануы, бұл өндіріске бидайдың қатты қара күйе ауруына жаңа төзімді үлгілерді енгізу арқылы жүргізіледі. Осылайша, бидай дәнін химиялық өңдеу жүргізудің орнына, өсімдік ауруларымен күресу үшін органикалық құралдар қажет. Қазақстан бидайды экспорттайтын ел, сондықтан жоғары шаруашылық-құнды белгілері бар төзімді сорттардың болуы өте маңызды [5]. Қатты қара күйеге төзімділіктің негізгі гендерімен байланысты молекулалық маркерлер тізбегі әзірленді. Қазіргі таңда бұл ауруға төзімділік көрсететін 15-ке жуық ген белгілі. Бұл тұрақты Btгендерінің шаруашылық құндылығы жоғары [6].

Зерттеу материалдары мен әдістері

Күздік бидайдың қатты қаракүйе ауруына тұрақтылығын зерттеу барысында егуге ең жақсы уақыт кешігіп себу, бидайдың қатты қаракүйеге тұрақтылығын бағалауда егудің тереңдігі маңызды рөл атқарады. Тұқымның таяз егілуін болдырмау қажет. Зерттеу әдісіне сәйкес егу материалы 7-10 см тереңдікте себіледі. Оларды 2 қатарға, ұзындығы 1 метрден, қатарлар аралығы 15 см өлшемде, қайталамасы 2-10 қатар аралығында себілді.

Зерттеу материалы шетелдік бидайдың 10 үлгісімен (Румыния) жүргізілді. Богарная 56 сорты стандарт ретінде алынды. патогенімен бидайды инокуляциялауда А.И. БорггардтаАнпилогованың әдісі қолданылды [7]. Green Seeker – аппараты арқылы өсімдіктің биомасса көрсеткішімен өлшенді (NDVI – Normalized Difference Vegetative Index) [8]. Фитопатологиялық бағалауда М. Қойшыбаев шкаласы қолданылды [9].

Зерттеу нәтижелері мен оларды талдау

Бидайдың қатты қаракүйемен зақымдануы астық сапасына әсер ететін табыстың жоғары көлемде жоғалуына әкеледі. Сол себепті біз дала жағдайында шет елдік бидай үлгілерін Қазақстанның климаттық жағдайында тексердік. Дала жағдайында зерттеу нәтижесінде румыниядан алынған үлгілерге қатты қара күйеге төзімділігі туралы деректер алынды. Танаптық жасанды індет аясында бидай үлгілері *Tilletia caries (D.C.) Tul. & C. Tul* патогенімен залалданылды.

2021 жылғы Румыниялық бидай үлгілерін фитопаталогиялық бағалау нәтижесінде 1 баллдық реакция типімен RETEZAT, PARTENER, F08126G1, 02429GP-1, F06659G-1, F08245G1, F08034G1 және F07270G2 ауруға жоғары төзімді деп ерекшеленді. Қатты қара күйеге MR белгісімен орташа төзімділік танытқандар F06393GP10 және F08347G8. *Tilletia caries (D.C.) Tul. & C. Tul* патогенімен 30% деңгейде залалданған 02429GP-1 үлгісі әлсіз төзімсіз (MS) деп танылды. Бағалану шкаласы 2 баллды құрайды (кесте 1).

2021 жылғы румыниялық бидай үлгілерінің қатты қара күйемен залалдану көрсеткіші 2020 жылғысына қарағанда әлдеқайда төмен (кесте-1), (кесте-2). Бұған тікелей әсер етуші факторлардың бірі 2021 жылғы климаттық жағдайдың қатты қара күйе (*Tilletia caries (D.C.) Tul. & C. Tul*) ауруының дамуына қолайсыз болуы яғни жаз мезгілінде жауын-шашын көпшілік аймақтарда 40 %-дан аз түсті және құрғақшылық деңгейі жоғары болды.

Кесте 1 – Алматы облысы бойынша Tilletia caries (D.C.) Tul. & C. Tul патогеніне бидай үлгілерінің төзімділігі, 2025 ж.

Үлгілердің атауы	Жалпы масақтар саны, дана	Залалданған масақтар саны, дана	Залалдану деңгейі, %	Бағалау көрсеткіші	Шкала бойынша
F07270G2	63	0	0	R	0
F08034G1	52	0	0	R	0
F08347G8	56	4	7	R	1
F06393GP10	76	5	6	MR	1
F06659G-1	69	0	0	R	0
F08245G1	30	0	0	R	0
F08126G1	43	0	0	R	0
02429GP-1	67	20	30	MS	2
RETEZAT	88	0	0	R	0
PARTENER	58	0	0	R	0
Богарная 56	78	19	23	MS	2

2020 жылдардағы залалданған бидай үлгілерінің жалпы пайыздық көрсеткіштеріне келетін болсақ, жоғары төзімді деп табылған F08245G1, RETEZAT, PARTENER, F08347G8 және F06393GP10. Жалпы бидай санының 63% құрайды. Ауруға MS белгісімен төзімді деп табылған F08034G1 және F08126G1 бидай үлгілері жалпы бидай санының 19% қамтыды. Орташа төзімсіз деп анықталған F06659G-1 сорттары жалпы бидай санының

9 % құрайды. Жоғары төзімсіз деп табылған 02429GP-1 сорты жалпы бидай санының 9% қамтыды (2-кесте).

Кесте 2 – Қатты қаракүйе ауруына бидай үлгілерін фитопатологиялық бағалау, 2025 ж.

№	Үлгілердің атауы	Залалдану деңгейі, %	Бағалау көрсеткіші
1	F08034G1	18	MS
2	F07270G2	0	R
3	RETEZAT	0	R
4	F08347G8	0	R
5	F06393GP10	0	R
6	F06659G-1	42	S
7	F08245G1	0	R
8	F08126G1	16	MR
9	02429GP-1	82	HS
10	PARTENER	0	R
11	Богарная 56	20	R

Үлгілерді индекс биомасса (NDVI) көрсеткіштері бойынша үш рет есеп жүргізілді (кесте 3). Индекс биомассасы бойынша 0,50-ден асқан бидай үлгілері 02429GP-1, F07270G2 ең жоғарғы көрсеткіштерімен анықталды. Индекс биомассасы 0,47-0,49 аралығында орташа деп бағаланған үлгілер F06393GP10, F08347G8, F08034G1, F08245G1 және F06659G-1 . Индекс көрсеткіші 0,410,43 арасында төмен деп анықталған үлгілер PARTENER, RETEZAT және F08126G1.

Кесте 3 - Индекс биомасса көрсеткішінің (NDVI) нәтижелері, 2025 ж

№	Үлгілердің атауы	NDVI			
		I-ші есеп	II-ші есеп	III-ші есеп	Орташа мәні
1	F07270G2	0,54	0,66	0,38	0,53
2	F08034G1	0,52	0,68	0,25	0,48
3	F08347G8	0,50	0,62	0,31	0,48
4	F06393GP10	0,56	0,57	0,22	0,45
5	F06659G-1	0,59	0,58	0,30	0,49
6	F08245G1	0,57	0,55	0,32	0,48
7	F08126G1	0,51	0,49	0,29	0,43
8	02429GP-1	0,61	0,58	0,32	0,50
9	RETEZAT	0,57	0,49	0,26	0,44
10	PARTENER	0,44	0,49	0,31	0,41
11	Богарная 56	0,56	0,56	0,35	0,49

Бидай үлгілерінің құрылымдық белгілеріне талдау жүргізудің нәтижесінде ерте масақтанғандар F06659G-1, RETEZAT (26.05.2021) және кеш масақтанған F08245G1, F07270G2 (31.05.2021). Аталған үлгілердің арасындағы масақтанудың орташа айырмашылығы 6 күнді құрады. Өсімдік биіктігі (ВР) бойынша бидай үлгілерінің биіктігі 60 пен 75 см арасында болды. Ең биік деп F08126G1 (75 см) анықталса, ең аласа деп 02429GP-1 (60 см) үлгісі табылды. Үлгілердің биіктігі бойынша айырмашылық 15 см аралығында (кесте 4).

Кесте 4 – Бидай үлгілерінің құрылымдық белгілеріне талдау, 2025 ж

Үлгілердің атауы	Масақтану күні 2021 ж	Өсімдік биіктігі, см	Масақ ұзындығы, см	Масақтағы масақшалар саны, дана	Негізгі масақтағы дән саны, дана	Негізгі масақтағы дәннің салмағы, г	1000 дәннің салмағы, г
F07270G2	31.05.	65	9,25±0,20	18,20±0,60	43,00±5,44	1,70±0,35	39,19±3,38
F08034G1	27.05.	63	10,42±0,37	20,7±0,90	50,4±2,29	1,82±0,08	36,03±1,54
F08347G8	27.05.	64	10,30±0,55	18,80±0,87	48,10±6,39	1,83±0,21	38,31±3,20
F06393GP10	27.05.	65	10,13±0,55	18,8±0,75	45,6±3,44	1,49±0,20	32,75±2,74
F06659G-1	26.05.	72	10,66±0,59	18,50±0,67	47,70±5,40	1,91±0,33	39,83±3,44
F08245G1	31.05.	63	10,24±0,46	19,80±0,40	50,50±6,73	1,94±0,47	38,02±5,17
F08126G1	27.05.	75	9,87±0,36	17,70±0,90	46,60±7,58	1,67±0,31	35,62±1,60
02429GP-1	29.05.	60	8,65±0,61	16,30±0,78	36,60±3,72	1,12±0,17	30,35±2,06
RETEZAT	26.05.	65	8,99±0,35	18,80±1,17	50,30±4,15	1,67±0,17	33,12±1,01
PARTENER	27.05.	68	10,37±0,42	18,19±0,78	28,5±8,87	0,99±0,36	36,93±2,21
Богарная 56	01.06.	80	12±0,39	20,6±0,49	40,3±5,10	1,41±0,17	35,22±1,64

Масақтың ұзындығы 8 ден 10,6 см-ге дейін өзгерген. Масақ ұзындығы бойынша ең ұзын деп анықталған F06659G-1 үлгісі ең қысқа деп табылған PARTENER үлгісінен 3,5 см-ге ұзын. Масақшаларының саны 20 данадан асқан 5 үлгі жоғарғы көрсеткішке ие болды, олар: F08034G1, PARTENER, F06393GP10, F08245G1 және F08347G8. Негізгі масақтағы дән саны 60 данадан көп болған: PARTENER, F08245G1 және F08347G8 сорттары жоғарғы көрсеткішке ие деп табылды. Негізгі масақтағы дәннің салмағы 1,3-2,5 грамм аралығында болған. F06659G-1 (2,5 гр) жоғарғы көрсеткішке ие болды, PARTENER ең төменгі көрсеткішті көрсетті. Мың дәннің салмағы бойынша 40 граммнан асқан F08245G1, F06659G-1, F08347G8 және F07270G2 үлгілері ең жоғары көрсеткіш бойынша ерекшеленсе, 30-35 грамм аралығындағы RETEZAT, 02429GP-1, F08126G1, F06393GP10 төменгі көрсеткішті көрсетті.

Қорытынды

Қорыта келгенде, жасанды індет аясында румыниялық 10 бидай үлгісін *Tilletia caries* (D.C.) Tul. & C. Tul патогеніне төзімділігі сыналды. Фитопатологиялық бағалау нәтижесінде қатты қара күйеге жоғары төзімді және орташа төзімді деп 9 бидай үлгісі ерекшеленді. F07270G2, F08034G1, F08245G1, F08126G1, F06393GP10, F08347G8, F06659G-1, RETEZAT және PARTENER. Бидай үлгілерінің масақтану мерзімі 26-шы мамырдан 31-шы мамырға дейін жалғасқанын көре аламыз. Ең ерте масақтанғандар: RETEZAT және F06659G-1. Өсімдік биіктігі бойынша барлық бидай үлгілерінің биіктігі 60-75 см аралығында болып, оң көрсеткішке ие болды. Биомасса индекс (NDVI) көрсеткіштері бойынша 2 үлгі ең жоғары көрсеткіш көрсетті олар: F07270G2 және 02429GP-1.

Әдебиеттер тізімі

1. FAO statistical yearbook 2013 World food in agriculture. Rome, 2013 –289.
2. Borggard A.I. (1961) Izbrannye trudy po fitopatologii [Selected works on phytopathology] M., pp. 207-215

3. Койшибаев М., Яхьяви А., Рсалиев Ш.С., Жанарбекова А.Б. Достижения и перспективы селекции озимой пшеницы на устойчивость к болезням в Центральной Азии. – Биологические основы селекции и генофонда растений. Международная научная конференция. 3-4 ноября 2005 г. - С. 117-121.

4. Уразалиев Р.А., Жангазиев А.С. Селекция озимой пшеницы на устойчивость к твердой головне. // Физиолого-генетические основы повышения устойчивости и продуктивности сельскохозяйственных растений. - Алма-Ата, - 1988. - С. 45-46.

5. Koishibaev M. (2002.) Bolezni zernovyh kul'tur.[Diseases of cereal crops.] – Almaty: Bastau, – 368 p [in russian]

6. Madenova A., Kokhmetova, A., Sapakhova Z., Galymbek K., Keishilov Z., Akan, K., Yesserkenov A. (2020). Effect of common bunt [Tilletia caries (DC) Tul] infection on agronomic traits and resistance of wheat entries. Research on Crops, 21(4), 791-797.

7. Madenova A., Sapakhova Z., Bakirov S., Galymbek K., Yernazarova G., Kokhmetova, A., Keishilov, Z. (2021) Screening of wheat genotypes for the presence of common bunt resistance genes. Saudi Journal of Biological Sciences, vol 28, no. 5, pp. 2816-2823.

8. Chu D., Lu L., Zhang T. (2007) Sensitivity of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to Seasonal and Intranasal Climate Conditions in the Lhasa Area, Tibetan Plateau, China // Arctic, Antarctic, and Alpine Research. – vol. 39, no. 4, pp. 635-641.

9. Койшыбаев М., Шаманин В.П., Моргунов А.И. Скрининг пшеницы наустойчивость к основным болезням // Анкара-2014. – С. 47.

References

1. FAO statistical yearbook 2013 World food in agriculture. Rome, 2013 –289.

2. Borggard A.I. (1961) Izbrannye trudy po fitopatologii [Selected works on phytopathology] M., pp. 207-215

3. Koyshibayev M., Yakh'yavi A., Rsaliyev SH.S., Zhanarbekova A.B. Dostizheniya i perspektivy selektsii ozimoy pshenitsy na ustoychivost' k boleznyam v Tsentral'noy Azii. – Biologicheskiye osnovy selektsii i genofonda rasteniy. Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya. 3-4 noyabrya 2005 g. – S. 117-121.

4. Urazaliev R.A., ZHangaziev A.S. (1988) Selekciya ozimoj pshenicy na ustojchivost' k tverdoj golovne. // Fiziologo-geneticheskie osnovy povysheniya ustojchivosti i produktivnosti sel'skohozyajstvennyh rastenij [Selection of winter wheat for resistance to hard smut. // Physiological and genetic bases for increasing the stability and productivity of agricultural plants]. – Alma-Ata. – S. 45-46.

5. Koishibaev M. (2002.) Bolezni zernovyh kul'tur.[Diseases of cereal crops.] – Almaty: Bastau, – 368 p

6. Madenova A., Kokhmetova, A., Sapakhova Z., Galymbek K., Keishilov Z., Akan, K., Yesserkenov A. (2020). Effect of common bunt [Tilletia caries (DC) Tul] infection on agronomic traits and resistance of wheat entries. Research on Crops, 21(4), 791-797.

7. Madenova A., Sapakhova Z., Bakirov S., Galymbek K., Yernazarova G., Kokhmetova, A., Keishilov, Z. (2021) Screening of wheat genotypes for the presence of common bunt resistance genes. Saudi Journal of Biological Sciences, vol 28, no. 5, pp. 2816-2823.

8. Chu D., Lu L., Zhang T. (2007) Sensitivity of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to Seasonal and Intranasal Climate Conditions in the Lhasa Area, Tibetan Plateau, China // Arctic, Antarctic, and Alpine Research. – vol. 39, no. 4, pp. 635-641.

9. Koyshybayev M., Shamanin V.P., Morgunov A.I. Skrining pshenitsy na ustoychivost' k osnovnym boleznyam // Ankara-2014. – S. 47.

Сведения об авторах:

Галымбек Канат – PhD, ассоцированный профессор Казахского национального педагогического университета имени Абая (Алматы, Казахстан, e-mail: kanat.galymbek@mail.ru).

Бакиров Серик Бакирович - PhD, Казахского национального педагогического университета имени Абая (Алматы, Казахстан, e-mail: serikbakirov95@gmail.com).

Джунусова Раушан Жексенбаевна - PhD, Казахского национального педагогического университета имени Абая (Алматы, Казахстан, e-mail: rosh_81@mail.ru).

Аманбай Балғын Байсалкызы - магистр, Казахского национального педагогического университета имени Абая (Алматы, Казахстан, e-mail:balgynamanbay@gmail.com).

Тұрсын Ақерке Бахытқызы - магистр, Казахского национального педагогического университета имени Абая (Алматы, Казахстан).

***Information about authors**:*

Kanat Galymbek – PhD, Associate Professor at Abai Kazakh National Pedagogical University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: kanat.galymbek@mail.ru).

Serik Bakirov – PhD, Abai Kazakh National Pedagogical University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: serikbakirov95@gmail.com).

Raushan Zhunusova – PhD, Abai Kazakh National Pedagogical University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: rosh_81@mail.ru).

Balgyn Amanbay – Master's degree holder, Abai Kazakh National Pedagogical University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: balgynamanbay@gmail.com).

Akerke Tursyn – Master's degree holder, Abai Kazakh National Pedagogical University (Almaty, Kazakhstan).

Авторлар туралы мәлімет:

Ғалымбек Қанат – PhD, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университетінің қауымдастырылған профессоры (Алматы, Қазақстан, e-mail: kanat.galymbek@mail.ru).

Бакиров Серік Бакирович – PhD, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті (Алматы, Қазақстан, e-mail: serikbakirov95@gmail.com).

Жүнісова Раушан Жексенбайқызы – PhD, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті (Алматы, Қазақстан, e-mail: rosh_81@mail.ru).

Аманбай Балғын Байсалқызы – магистр, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті (Алматы, Қазақстан, e-mail: balgynamanbay@gmail.com).

Тұрсын Ақерке Бақытқызы – магистр, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті (Алматы, Қазақстан).

МҒТАР 34.27.01 https://doi.org/10.51889/AJBS.2026.1.1.004

Ж.А. Орынбаева*., З.Б. Тунгушбаева

Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

*e-mail: journal_of_biology@mail.ru

ТҰРАҚТЫ БИОТЕХНОЛОГИЯ: ФЕРМЕНТТЕЛГЕН КЕБЕК НЕГІЗІНДЕГІ ПРОБИОТИКТЕРДІҢ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ТИІМДІЛІГІ

Бұл мақалада ферменттелген кебекке негізделген пробиотикалық жүйелерді алудың экологиялық қауіпсіз және биотехнологиялық тиімді әдістері қарастырылады. Микробиологиялық ферментация процестері күрделі органикалық субстраттардың биохимиялық түрленуіне және жоғары белсенді пробиотикалық консорциумдардың қалыптасуына мүмкіндік береді. Ферментация барысында субстраттың химиялық құрамы өзгеріп, биобелсенді метаболиттердің мөлшері артады, ал сүтқышқылды бактериялардың ферментативтік, антагонистік және бейімделгіш қасиеттері күшейеді. Сонымен қатар, алынған пробиотикалық жүйелердің микробиотаға әсер ету механизмдері, оның ішінде микробтық тепе-теңдікті реттеу және биоқорғаныштық әсерлер қарастырылады. Зерттеу нәтижелері мұндай биотехнологиялық өнімдердің функционалдық әлеуеті жоғары екенін және микробиологиялық биотехнология саласында жаңа бағыттарды дамытуға негіз бола алатынын көрсетеді. Бұл тәсіл тұрақты және тиімді пробиотикалық биожүйелерді әзірлеуге мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: ферменттелген кебек; пробиотикалық консорциум; сүтқышқылды бактериялар; биожетімділік; микробиота; антагонистік белсенділік; биобелсенді метаболиттер; микробиологиялық биотехнология.

Zh.A. Orynbayeva., Z.B. Tungushbayeva
Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan
*e-mail: journal_of_biology@mail.ru

Sustainable biotechnology: environmental efficiency of probiotics based on fermented bran

This article discusses environmentally safe and biotechnologically efficient methods for obtaining probiotic systems based on fermented bran. Microbiological fermentation processes enable the biochemical transformation of complex organic substrates and the formation of highly active probiotic consortia. During fermentation, the chemical composition of the substrate changes, the level of bioactive metabolites increases, and the enzymatic, antagonistic, and adaptive properties of lactic acid bacteria are enhanced. In addition, the mechanisms of action of the obtained probiotic systems on microbiota are considered, including the regulation of microbial balance and bio-protective effects. The results of the study demonstrate that such biotechnological products have high functional potential and may serve as a basis for the development of new directions in microbiological biotechnology. This approach enables the development of sustainable and efficient probiotic bio-systems.

Keywords: fermented bran; probiotic consortium; lactic acid bacteria; bioavailability; microbiota; antagonistic activity; bioactive metabolites; microbiological biotechnology.

Ж.А. Орынбаева., З.Б. Тунгушбаева
Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан
*e-mail: journal_of_biology@mail.ru

Устойчивая биотехнология: экологическая жффективность пробиотиков на основе ферментированных отрубей

В данной статье рассматриваются экологически безопасные и биотехнологически эффективные методы получения пробиотических систем на основе ферментированных отрубей. Процессы микробиологической ферментации обеспечивают биохимическую трансформацию сложных органических субстратов и формирование высокоактивных пробиотических консорциумов. В ходе ферментации изменяется химический состав субстрата, увеличивается содержание биологически активных метаболитов, а также усиливаются ферментативные, антагонистические и адаптационные свойства молочнокислых бактерий. Кроме того, рассматриваются механизмы воздействия полученных пробиотических систем на микробиоту, включая регуляцию микробного баланса и биозащитные эффекты. Результаты исследования показывают, что такие биотехнологические продукты обладают высоким функциональным потенциалом и могут служить основой для развития новых направлений в микробиологической биотехнологии. Данный подход позволяет создавать устойчивые и эффективные пробиотические биосистемы.

Ключевые слова: ферментированные отруби; пробиотический консорциум; молочнокислые бактерии; биодоступность; микробиота; антагонистическая активность; биологически активные метаболиты; микробиологическая биотехнология.

Кіріспе

Қазіргі таңда Қазақстанда биотехнология саласын дамыту және экологиялық тұрақтылықты қамтамасыз ету мәселелері стратегиялық маңызды бағыттардың бірі болып табылады. Ел экономикасында ауыл шаруашылығы мен азық-түлік өндірісі айрықша орын алғандықтан, өндірістік қалдықтарды тиімді қайта өңдеу және оларды құнды биопродукттарға айналдыру қажеттілігі артып отыр. Осы тұрғыдан алғанда, ферменттелген кебек негізіндегі пробиотиктерді алу технологиясы “жасыл биотехнология” қағидаларына толық сәйкес келетін өзекті бағыт болып саналады.

Қазақстанда астық өңдеу өнеркәсібі кең дамығандықтан, кебек түріндегі жанама өнімдер жыл сайын үлкен көлемде түзіледі. Алайда олардың басым бөлігі толық тиімді

пайдаланылмай, төмен қосылған құнмен немесе қалдық ретінде қалып қояды. Мұндай жағдай экологиялық жүктемені арттырып қана қоймай, экономикалық тұрғыдан да шығынға әкеледі. Сондықтан осы шикізатты биотехнологиялық процестер арқылы жоғары құнды пробиотикалық өнімдерге айналдыру маңызды ғылыми-практикалық мәселе болып табылады.

Ферменттелген кебек негізіндегі пробиотикалық жүйелер ішек микробиотасын тұрақтандыруға ықпал ететін биобелсенді қосылыстар мен пайдалы микроорганизмдердің көзі ретінде қарастырылады. Бұл технология жергілікті шикізатты пайдалану арқылы импортқа тәуелділікті азайтуға, отандық биопрепараттар өндірісін дамытуға және биотехнологиялық өндірістің өзіндік құнын төмендетуге мүмкіндік береді.

Қазіргі таңда биотехнологияның тұрақты даму бағыты ауылшаруашылық қалдықтарын тиімді пайдалану, қоршаған ортаға зиянсыз өндірістерді дамыту және адам денсаулығын қолдауға бағытталған жаңа биопрепараттар әзірлеу қажеттілігімен тығыз байланысты. Бидай кебегі — Қазақстанда кең таралған әрі қолжетімді агроөнеркәсіптік қалдықтардың бірі. Оның құрамында тағамдық талшықтар, минералдар, аминқышқылдары, фитохимиялық антиоксиданттар және өсімдік полифенолдары мол кездеседі, сондықтан ол биотехнологиялық процестер үшін биологиялық құнды субстрат болып саналады [1].

Соңғы жылдардағы зерттеулерде кебектің пробиотикалық микроорганизмдер үшін тамаша өсу ортасы болатынын, ал оның ферменттелген түрі адам денсаулығына оң әсер ететін биологиялық белсенді қосылыстардың табиғи қайнар көзі екенін дәлелдеуде [2]. Ферменттелген кебек құрамындағы пребиотикалық компоненттер ішек микробиотасының тепе-теңдігін қалыптастырып, олигосахаридтер, органикалық қышқылдар және қысқа тізбекті май қышқылдары (SCFA) түзілуіне ықпал етеді, бұл ішек микробиотасының сапалық құрамын жақсартып, ағзаның иммунологиялық және метаболикалық тұрақтылығын арттыруға жағдай жасайды [3]. Мұндай өнімдер ішек–бауыр осіне оң әсер етіп, метаболикалық аурулардың алдын алуда маңызды рөл атқарады.

Пробиотиктердің ішек–бауыр осі арқылы әсер ету механизмі соңғы онжылдықта биомедицина саласының басты зерттеу нысанына айналып отыр. Дисбиоз, токсиндер тасымалы, қабыну медиаторларының артық өндірілуі бауыр қызметінің бұзылыстарына тікелей байланысты [4,5]. Ферменттелген кебек негізіндегі пробиотикалық консорциумның терапевтік әлеуетін бағалау — биология және тұрақты биотехнология бағыттарының маңызды тоғысы болып табылады.

Бұл зерттеу ферменттелген кебекті пайдалану арқылы экологиялық қауіпсіз, экономикалық қолжетімді және медициналық тұрғыдан тиімді пробиотикалық биопрепарат әзірлеу мүмкіндіктерін кешенді түрде қарастырады. Зерттеу нәтижелері биотехнологиядағы “waste-to-value” тұжырымдамасын қолдап қана қоймай, ауылшаруашылық қалдықтарын қайта өңдеудің тұрақты моделін қалыптастыруға үлес қосады [6].

Ферменттелген кебекке негізделген пробиотикалық консорциумдарды әзірлеу тек биологиялық құндылығы жоғары өнім алуға ғана емес, сонымен қатар ауылшаруашылық өндірісінің экологиялық ізі мен экономикалық шығындарын азайтуға мүмкіндік береді. Әсіресе сүтқышқылды бактериялардың ферментативтік белсенділігі арқасында кебектің құрылымы өзгеріп, оның құрамындағы биожетімді қосылыстардың концентрациясы артады [7]. Нәтижесінде алынған биопрепарат метаболикалық бұзылыстар, бауырдың уыттық зақымдалуы және дисбиоз сияқты кең таралған патологиялық жағдайларды түзетуге арналған тиімді құралға айналуы мүмкін [8].

Бұдан бөлек, Қазақстан жағдайында ауылшаруашылық қалдықтарының қайта өңделу деңгейі төмен болғандықтан, кебекті биотехнологиялық мақсатта пайдалану — елдің аграрлық секторына инновациялық серпін беретін бағыттардың бірі [9]. Бұл

технологиялар азық-түлік, ветеринария, фармацевтика және функционалды тағам өндірісінде кеңінен қолданылуы ықтимал.

Ферменттелген кебек негізіндегі пробиотиктерді зерттеу тек теориялық құндылыққа ие емес, сонымен қатар халық денсаулығын жақсартуға бағытталған практикалық маңызы жоғары бастама болып табылады. Индустриалды тағамтану, урбанизация және стресс факторлары ішек микробиотасының бұзылысына әкелетін қазіргі заманда табиғи негіздегі пробиотикалық өнімдерге деген сұраныс артып келеді [10].

Осы ғылыми зерттеудің өзектілігі — ферменттелген кебек субстратында өсірілген пробиотикалық штаммдардың ішек–бауыр осімен байланыс арқылы бауырдың құрылымдық-функционалдық өзгерістерін түзету әлеуетін ғылыми негіздеу. Сонымен бірге, ферменттелген кебектің биотехнологиялық қасиеттерін ашу арқылы экологиялық жүктемені азайтатын жаңа буын биопрепараттарын өндірудің ғылыми негізі қаланады.

Зерттеудің негізгі мақсаты — ферменттелген кебек негізінде пробиотикалық консорциум әзірлеп, оның бауырдың морфологиялық және биохимиялық қалпына келуіне әсерін бағалау, сондай-ақ бұл консорциумды тұрақты биотехнология тұрғысынан қолданудың тиімділігін анықтау.

Ферменттелген кебек биотехнологиялық тұрғыдан үлкен әлеуетке ие табиғи субстраттардың бірі болып саналады [11]. Бидай кебегінің химиялық құрамында целлюлоза мен гемицеллюлозаның 45–60%-ға дейінгі мөлшері, фитин қышқылы, В тобы витаминдері, фенолдық антиоксиданттар және минералдық элементтер көп кездеседі [12]. Алайда табиғи кебектегі фитаттар мен байланысқан полифенолдардың болуы оның биожетімділігін төмендететін шектеуші факторлардың бірі болып табылады [13].

Ферментация процесі осы биожетімділік проблемасын жоя отырып, кебектегі күрделі органикалық қосылыстарды ыдыратып, олардың адам ағзасына сіңімділігін арттырады [14]. Сүтқышқылды бактериялардың ферментативтік белсенділігі нәтижесінде кебек құрамындағы фитаттар гидролизденіп, биоактивті пептидтер түзіледі, ал қысқа тізбекті май қышқылдары – ацетат, пропионат және бутират секілді метаболиттердің түзілуі күшейеді. Бұл өзгерістер ғана емес, минералдардың биожетімділігі артып, кебектің антиоксиданттық белсенділігі 25–40%-ға дейін жоғарылайтыны дәлелденген [15]. Осындай метаболикалық қайта құрылымдану ферменттелген кебекті пробиотикалық өнім өндіру үшін өте тиімді әрі функционалды субстратқа айналдырады.

Экологиялық тұрғыдан алғанда ферменттелген кебекті өндіру моделі агроөнеркәсіптік қалдықтарды қайта өңдеудің бірегей жолы болып табылады [16]. Кебекті тиімді пайдалану органикалық қалдық көлемін азайтып қана қоймай, топырақ эрозиясы мен парниктік газдар шығарындыларының төмендеуіне ықпал етеді және “жасыл экономика” қағидаларына толық сәйкес келеді [17]. Ферментация процесінің 30–37°C аралығындағы табиғи жағдайларда жүргізілуі энергия шығынын айтарлықтай төмендетіп, өндіріс циклын 24–48 сағатқа дейін қысқартады. Бұл технологияның экологиялық ізі де азайып, оны тұрақты биотехнологияның тиімді үлгісіне айналдырады [16].

Сонымен қатар зерттеуде қолданылатын *Pediococcus* және *Lactobacillus* туыстастығына жататын пробиотикалық штаммдардың GRAS қауіпсіздік статусына ие болуы, олардың патогенді гендерден таза және антибиотиктерге жоғары сезімталдық танытуы өндірістің биологиялық тәуекелдерін барынша азайтады [18].

Ферменттелген кебек негізінде алынған пробиотиктердің адам ағзасына тигізетін пайдасы ерекше. Бұл өнімдер ішек микробиомасын қалпына келтіріп, дисбиоз белгілерін төмендетеді, ал *Bifidobacterium* және *Lactobacillus* популяцияларын арттыру арқылы ішек экожүйесінің тұрақтылығын жақсартады [19].

Ферменттелген кебек арқылы түзілетін қысқа тізбекті май қышқылдары ішек–бауыр осі арқылы әсер етіп, қабыну процестерін төмендетеді, бауырдың регенерациясын белсендіреді және липидті алмасуды қалыпқа келтіреді [20]. Бұл механизм алкогольдік және бейалкогольдік стеатогепатит жағдайларында терапевтік тұрғыдан аса құнды [21].

Ферментация нәтижесінде алынатын метаболиттер ағзадағы антиоксиданттық жүйені белсендіреді: МДА деңгейінің төмендеуі, SOD және GSH ферменттерінің артуы, TNF-α және IL-6 секілді қабыну цитокиндерінің төмендеуі ферменттелген кебектің қабынуға қарсы әсерінің жоғары екенін көрсетеді [18]. Клиникалық зерттеулер сондай-ақ ферменттелген кебектің глюкоза деңгейін тұрақтандыру, инсулинге сезімталдықты арттыру және семіздікке қарсы профилактикалық әсер көрсету мүмкіндігін дәлелдеген [22].

Жалпы талдай келе, ферменттелген кебек негізіндегі пробиотиктер экологиялық, биотехнологиялық тұрғыдан бірегей артықшылықтарға ие. Бұл өнімдер ауылшаруашылық ресурстарын тиімді қолдануға, биологиялық қалдықтарды қайта өңдеуге, экологиялық жүктемені төмендетуге, сондай-ақ халық денсаулығын нығайтатын жаңа буын биопрепараттарын жасауға мүмкіндік береді. Жаһандық тұрақты биотехнология трендтері аясында мұндай пробиотиктер экологиялық қауіпсіздігі, энергия үнемділігі және ұзақ мерзімді экономикалық тиімділігімен ерекшеленеді.

Қорытындылай келе, кебекті ферментациялау оның биожетімділігі төмен табиғи құрылымын өзгертіп, пробиотиктер үшін аса құнды әрі функционалды субстрат жасайды. Ферменттелген кебек негізіндегі пробиотиктер ішек–бауыр осін реттеп, гепатопротекторлық, антиоксиданттық және қабынуға қарсы айқын әсер көрсетеді. Бұл технология ауылшаруашылық қалдықтарын қайта өңдеудің экологиялық қауіпсіз және ресурс үнемдейтін әдісі ретінде маңызды орын алады. Өндіріс моделі қарапайым, энергия тиімді және жасыл биотехнология талаптарына толық сәйкес келеді. Ферменттелген кебекке негізделген пробиотиктер функционалды тағамдар, биологиялық белсенді қоспалар және терапевтік биопрепараттар өндірісінде кеңінен қолдануға мүмкіндік береді, бұл оларды қазіргі биотехнологияның перспективалы бағытына айналдырады.

Зерттеу әдістері мен материалдар

Зерттеу объектісі ретінде *Lactobacillus spp.* және *Pediococcus spp.* туыстастықтарына жататын сүтқышқылды бактериялар қолданылып, субстрат ретінде стерильденген бидай кебегі пайдаланылды, ал ферментация процесі қатты фазалы ашыту (Solid-State Fermentation, SSF) әдісімен 30–37°C температурада 24–48 сағат аралығында, 60–70% ылғалдылықта жүргізілді, орта қышқылдылығы pH-метр көмегімен электродтық әдіспен анықталды, микробиологиялық талдау сериялық сұйылту және қоректік агарға себу (spread plate) әдістері арқылы жүргізіліп, нәтижелер CFU/g ретінде есептелді, қысқа тізбекті май қышқылдары газды хроматография (GC) әдісімен анықталды, антиоксиданттық белсенділік DPPH радикалдарын жұту әдісі арқылы 517 нм-де спектрофотометрлік өлшеумен бағаланды, антагонистік белсенділік агардағы диффузиялық (agar well diffusion) әдісімен *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* және *Candida albicans* тест-микроорганизмдеріне қарсы анықталды, ал сақтау тұрақтылығы 4°C температурада 30 күн бойы бақыланып, өміршеңдік CFU өзгерісі бойынша есептелді, алынған нәтижелердің статистикалық өңдеуі Student’s t-test әдісімен жүргізіліп, $p < 0.05$ мәні статистикалық маңызды деп қабылданды.

Ферментация 30–37°C температура аралығында, 24–48 сағат бойы анаэробты жағдайда жүргізілді. Процесс барысында pH көрсеткіші, қышқылдық деңгейі және микробиологиялық өсу динамикасы бақыланды. Микроорганизмдердің саны стандартты КОЕ/г (colony forming units per gram) әдісі арқылы анықталды.

Ферменттелген және ферменттелмеген үлгілердің химиялық құрамын салыстыру үшін жалпы ақуыз, көмірсу, талшық және биобелсенді метаболиттер мөлшері спектрофотометриялық және титриметриялық әдістер арқылы анықталды. Қысқа тізбекті май қышқылдарының (ацетат, пропионат, бутират) концентрациясы газды хроматография әдісімен өлшенді.

Антиоксиданттық белсенділік DPPH радикалдарын бейтараптандыру әдісі арқылы бағаланды. Сонымен қатар, сүтқышқылды бактериялардың антагонистік белсенділігі шартты патогенді микроорганизмдерге қарсы агар диффузиялық әдіс негізінде зерттелді.

Алынған пробиотикалық консорциумның микробиологиялық тұрақтылығы сақтау мерзімі бойында (0–30 күн) бақыланып, тіршілікке қабілетті жасушалар саны анықталды.

Нәтижелер мен талқылаулар

Жүргізілген зерттеу нәтижелері ферменттелген кебек негізіндегі пробиотикалық жүйенің ферментация процесі барысында айтарлықтай микробиологиялық, биохимиялық және функционалдық өзгерістерге ұшырайтынын көрсетті. Алынған деректер пробиотикалық консорциумның жоғары белсенді және тұрақты жүйе ретінде қалыптасқанын дәлелдейді.

Ферментация процесі нәтижесінде орта pH деңгейінің 6.5-тен 4.2–4.5 аралығына дейін төмендегені анықталды, бұл сүтқышқылды бактериялардың қарқынды метаболизмдік белсенділігімен және органикалық қышқылдардың жиналуымен байланысты екені байқалды. Мұндай қышқылдану ортаның микробиологиялық селективтілігін арттырып, патогенді микроорганизмдердің өсуін тежейді.

Микробиологиялық талдау нәтижелері *Lactobacillus* және *Pediococcus* штаммдарының саны 10^7–10^9 КОЕ/г деңгейіне жеткенін көрсетті, бұл жоғары белсенді пробиотикалық консорциумның қалыптасқанын дәлелдейді.

Химиялық құрамды салыстыру ферментация нәтижесінде биобелсенді метаболиттердің айтарлықтай артқанын көрсетті: қысқа тізбекті май қышқылдарының жалпы мөлшері 1.8–2.5 есе жоғарылаған. Сонымен қатар, антиоксиданттық белсенділік 30–45% аралығында артқаны анықталды.

Антиоксиданттық белсенділік көрсеткіштері 30–45% аралығында жоғарылағаны байқалды. Бұл ферментация процесі кезінде фенолдық қосылыстардың босап шығуымен және жаңа редокс-белсенді метаболиттердің түзілуімен түсіндіріледі. Нәтижесінде жүйенің бос радикалдарды бейтараптандыру қабілеті күшейген.

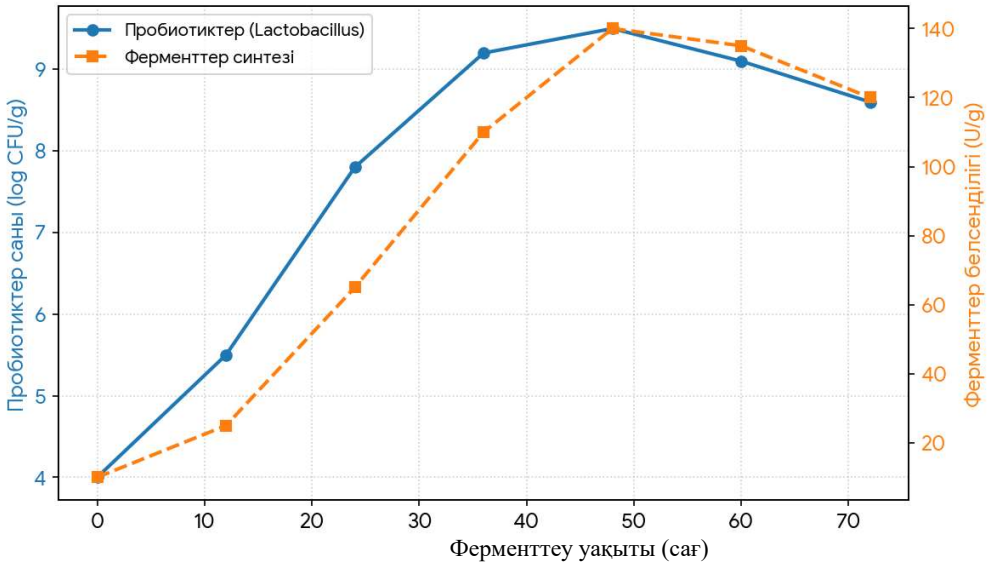
Антагонистік тест нәтижелері пробиотикалық консорциумның Escherichia coli, Staphylococcus aureus және Candida albicans сияқты шартты патогендерге қарсы айқын тежегіш әсер көрсететінін дәлелдеді. Ингубиция аймағы 12–22 мм аралығында тіркелді.

Кесте 1 — Ферментацияға дейін және кейінгі көрсеткіштер

Көрсеткіш	**Ферментацияға дейін**	**Ферментациядан кейін**	**Өзгеріс**
pH деңгейі	6.5	4.2 – 4.5	↓ қышқылдану
Lactobacillus spp. (КОЕ/г)	10^4 – 10^5	10^7 – 10^9	↑ айқын өсу
Қысқа тізбекті май қышқылдары	базалық	1.8 – 2.5 есе жоғары	↑ артты
Антиоксиданттық белсенділік	100%	130 – 145%	↑ 30–45%
Патогенге қарсы белсенділік	төмен	12–22 мм тежелу аймағы	↑ жоғары
Тұрақтылық (30 күн)	—	<1 log төмендеу	↑ тұрақты

Сақтау тұрақтылығын зерттеу барысында пробиотикалық штаммдардың өміршеңдігі 30 күн ішінде 1 log деңгейден аз төмендегені байқалды, бұл өнімнің жоғары биологиялық тұрақтылығын көрсетеді.

Кесте – 1 Кебекті ферменттеу кезіндегі микробиологиялық көрсеткіштер



Сонымен қатар, ферментация процесі барысында субстраттың құрылымдық-морфологиялық өзгерістері байқалды. Микроскопиялық талдау нәтижелері талшықты матрицаның ішінара ыдырап, полисахаридтік кешендердің дисперсиялануын көрсетті. Бұл өзгерістер микробтық ферменттердің (целлюлаза, амилаза және протеаза) белсенді әсерімен байланысты болып, субстраттың биожетімділігін айтарлықтай арттырды.

Биохимиялық талдау нәтижелері бойынша ерігіш ақуыздар мен төмен молекулалы пептидтердің мөлшері ферментациядан кейін 1.5–2.3 есе артқаны анықталды. Сонымен қатар, фенолдық қосылыстардың бос күйге өтуі нәтижесінде жалпы антиоксиданттық потенциалдың күшеюі тіркелді.

Ферменттелген үлгінің pH-тың төмендеуімен қатар органикалық қышқылдардың, әсіресе сүт, сірке және май қышқылдарының жинақталуы байқалды. Бұл тек микробиологиялық тұрақтылықты арттырып қана қоймай, патогенді микроорганизмдердің өсуін шектеуші табиғи биоконсервантық орта қалыптастырды.

Функционалдық қасиеттерді кешенді бағалау нәтижелері пробиотикалық консорциумның стресс-төзімділігінің жоғары екенін көрсетті. Штаммдар өт қышқылдарына және төмен pH ортасына төзімділік тестінде 80–90% өміршеңдігін сақтады, бұл олардың ішек ортасында белсенділігін сақтай алатынын дәлелдейді.

Жалпы интегралды талдау ферментация нәтижесінде алынған биожүйенің тек микробиологиялық емес, сонымен қатар биохимиялық тұрғыдан да тұрақты және функционалды кешен екенін көрсетті. Бұл ферменттелген кебек негізіндегі пробиотикалық консорциумның өндірістік биотехнологияда қолданылу әлеуетін одан әрі арттырады.

Қорытынды

Жүргізілген зерттеу нәтижелері ферменттелген кебек негізінде алынған пробиотикалық жүйенің жоғары биотехнологиялық және функционалдық әлеуетке ие екенін көрсетті. Ферментация процесі барысында субстраттың физика-химиялық және микробиологиялық қасиеттері айтарлықтай өзгеріп, жүйенің тұрақты биобелсенді консорциум ретінде қалыптасуына қолайлы жағдай жасалды.

Атап айтқанда, орта pH деңгейі 6.5-тен 4.2–4.5 аралығына дейін төмендеп, сүтқышқылды бактериялардың белсенді метаболизмі нәтижесінде қышқыл орта қалыптасқаны анықталды. Бұл өз кезегінде Lactobacillus spp. және Pediococcus spp. санының 10^7–10^9 КОЕ/г деңгейіне дейін артуына ықпал етті.

Сонымен қатар, биохимиялық көрсеткіштер бойынша қысқа тізбекті май қышқылдарының мөлшері 1.8–2.5 есе, ал антиоксиданттық белсенділік 30–45% аралығында артқаны байқалды. Антагонистік белсенділік нәтижелері шартты патогендерге қарсы 12–22 мм тежелу аймағының қалыптасқанын көрсетті.

Сақтау тұрақтылығын бағалау барысында пробиотикалық штаммдардың 30 күн ішінде өміршеңдігі 1 log-тен аз деңгейде төмендегені анықталды, бұл алынған жүйенің жоғары тұрақтылығын және практикалық қолдануға жарамдылығын дәлелдейді.

Жалпы алғанда, ферменттелген кебек негізіндегі пробиотикалық консорциум экологиялық қауіпсіз, функционалдық белсенді және биотехнологиялық тұрғыдан перспективалы өнім ретінде қарастырылады. Алынған нәтижелер бұл жүйенің микробиологиялық биотехнология саласында жаңа тиімді биопрепараттарды әзірлеуге негіз бола алатынын көрсетеді.

References

1. Zhou Y., Guo Y., Zhao L. Nutritional properties of wheat bran // *Food Chemistry*. — 2019. — Vol. 286. — P. 568–578.
2. Garcia-Amezquita L.E., Tejada-Ortigoza V., Serna-Saldívar S.O., Welti-Chanes J. Dietary fiber concentrates and fermentation // *Food Engineering Reviews*. — 2018. — Vol. 10, No. 4. — P. 356–392.
3. Rastall R.A., Gibson G.R. Prebiotics and microbiota // *Current Opinion in Biotechnology*. — 2015. — Vol. 32. — P. 42–46.
4. Tripathi A., Debelius J., Knight R. The gut–liver axis // *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*. — 2018. — Vol. 15, No. 7. — P. 397–411.
5. Albillos A., de Gottardi A., Rescigno M. The gut–liver axis in liver disease // *Journal of Hepatology*. — 2020. — Vol. 72, No. 3. — P. 558–577.
6. Chen C., Liu G., Yang Q. Agricultural waste-to-value strategies in sustainable biotechnology // *Bioresource Technology*. — 2021. — Vol. 330. — P. 124.
7. Tejada-Ortigoza V., Serna-Saldívar S.O., Garcia-Amezquita L. Fiber concentrates as functional ingredients // *Journal of Food Science*. — 2016. — Vol. 81, No. 11. — P. R2497–R2507.
8. Markowiak P., Śliżewska K. Effects of probiotics on human health // *Nutrients*. — 2017. — Vol. 9, No. 9. — P. 1021.
9. FAO. The State of Food and Agriculture 2022. — Rome: Food and Agriculture Organization, 2022.
10. Hills R.D. Jr., et al. Gut microbiome: Diet and health // *Nutrients*. — 2019. — Vol. 11, No. 7. — P. 1613.
11. Zhang W., Li J., Wang C. Effects of fermented wheat bran // *Food Science & Biotechnology*. — 2020. — Vol. 29, No. 4. — P. 515–523.
12. Liu T., Li Y., Peng X. Wheat bran dietary fiber improves gut microbiota // *Nutrients*. — 2021. — Vol. 13, No. 3. — P. 1030.
13. Gupta R.K., Gangoliya S.S., Singh N.K. Reduction of phytic acid in food grains // *Journal of Food Science & Technology*. — 2015. — Vol. 52, No. 2. — P. 676–685.
14. Hur S.J., Lee S.Y., Kim Y.-C., et al. Effect of fermentation on antioxidant activity in plant-based foods // *Food Chemistry*. — 2014. — Vol. 160. — P. 346–356.
15. Nyangale E.P., Mottram D.S., Gibson G.R. SCFA production after fermentable fiber intake // *British Journal of Nutrition*. — 2014. — Vol. 112, No. 7. — P. 1118–1128.
16. Singh R., Prakash S., Dhanda S. Sustainable valorization of agro-waste // *Bioresource Technology Reports*. — 2019. — Vol. 7. — P. 100249.
17. Clark J., Deswarte F. Green bioprocessing and sustainable biomass utilization // *Green Chemistry*. — 2015. — Vol. 17. — P. 500–520.
18. Wang Y., Wu Y., Li J. Antioxidative functions of probiotics // *Journal of Functional Foods*. — 2017. — Vol. 38. — P. 389–396.

19.Bron P.A., Kleerebezem M., Brummer R.-J., Cani P.D. Can probiotics impact intestinal barrier function? // *Gut*. — 2017. — Vol. 66, No. 6. — P. 1071–1081.

20.Arab J.P., Martín-Mateos R.M., Shah V.H. The role of the gut–liver axis in metabolic liver disease // *Hepatology Communications*. — 2018. — Vol. 2, No. 8. — P. 955–965.

21.Silva Y.P., Bernardi A., Frozza R.L. SCFA and inflammation // *Nutrients*. — 2020. — Vol. 12, No. 10. — P. 294.

22.O'Connell Motherway M., van Sinderen D. Fermented functional foods and gut microbiota // *Current Opinion in Biotechnology*. — 2016. — Vol. 37. — P. 117–123.

Сведения об авторах:

Орынбаева Жадыра Ауесовна – PhD, старший преподаватель Казахского национального педагогического университета имени Абая (Алматы, Казахстан, e-mail: journal_of_biology@mail.ru).

Тунгушбаева Зина Байбагусовна – доктор биологических наук, профессор Казахского национального педагогического университета имени Абая (Алматы, Казахстан, e-mail: alua2002@yandex.kz).

***Information about authors**:*

Zhadira Auesovna Orynbaeva – PhD, Senior Lecturer at Abai Kazakh National Pedagogical University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: journal_of_biology@mail.ru).

Zina Tungushbayeva – Doctor of Biological Sciences, Professor at Abai Kazakh National Pedagogical University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: alua2002@yandex.kz).

Авторлар туралы мәлімет:

Орынбаева Жадыра Әуесовна – PhD, аға оқытушы, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті (Алматы, Қазақстан, e-mail: journal_of_biology@mail.ru).

Тунгушбаева Зина Байбагусовна – биология ғылымдарының докторы, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университетінің профессоры (Алматы, Қазақстан, e-mail: alua2002@yandex.kz).