

FTAMP 34.27.51

<https://doi.org/10.26577/EJE20258511>

Ж.К. Батықова<sup>1\*</sup>, А.С. Кистаубаева<sup>1</sup>, Л.Н. Сайдуллаева<sup>2</sup>,  
У. Ережетова<sup>3</sup>, Ж.Е. Наурызбаева<sup>3</sup>, М.А. Абдулжанова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Өл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup> М. Әуезов атындағы Оңтүстік-Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

<sup>3</sup> Қазақ Ұлттық Қыздар педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

\*e-mail: batyqova@gmail.com

## ЖҮГЕРІ РИЗОБАКТЕРИЯЛАРЫ – ӨСІМДІКТЕРДІҢ ӨНІМДІЛІГІН ЖӘНЕ ҚОРҒАНЫСЫН АРТТЫРУДЫҢ ПЕРСПЕКТИВАЛЫ БИОИНКУЛЯНТТАРЫ

Қазіргі таңда ауыл шаруашылығында саласы топырақ деградациясы, қоректік элементтердің азаюы және фитопатогендердің таралуы сияқты экологиялық қиындықтар жиі туындайды. Осы мәселелерді шешудің баламалы тәсілдерінің бірі – өсімдіктердің өсуін ынталандыратын ризобактерияларды (PGPR) қолдану. Осы зерттеу жұмысы жергілікті экологиялық жағдайға бейімделген жүгері (*Zea mays* L., КазЗП 200) ризосферасынан бөлініп алынған автохтонды бактериялардың биологиялық белсенділігін жан-жақты бағалауға бағытталды. Алынған 25 бактериялық изоляттың ішінде 15 грамтеріс және 10 грамоңштамманықталды. Алдынала жүргізілген скрининг олардың өсімдікке пайдалы қасиеттерін салыстыруға мүмкіндік беріп, нәтижесінде ең тиімді деп танылған екі перспективалы штамм – BJ14 және BJ18 зерттеуге таңдалып алынды. Бұл штаммдардың функционалдық әлеуеті бірнеше биологиялық көрсеткіш бойынша бағаланды: индол-3-сірке қышқылының (ИСК) синтезі, ерімейтін фосфатты өсімдікке қолжетімді формаға айналдыру қабілеті, атмосфералық азотты фиксациялау және фитопатогендерге қарсы антагонистік әсер. BJ18 ең жоғары ИСК мөлшерін (61.4 мг/мл) өндіруі және фосфатты тиімді еріту қабілетін көрсетті. Ал BJ14 изоляты екі фитопатогенге қарсы да ең жоғары ингибициялық әсер көрсетіп, *Pythium spp.* өсуін 73%, ал *Alternaria alternata* дамуын 62–63% деңгейінде тежеп, тұрақты әрі айқын биобақылау белсенділігімен ерекшеленді. Зерттеу нәтижелері бұл ризобактериялардың өсімдіктердің қоректік элементтерді сіңіруін жақсартуда, олардың өсуін ынталандыруда және фитопатогендердің дамуын тежеуде жоғары тиімділікке ие екенін көрсетті. Мұндай көпфункционалды штаммдар ауыл шаруашылығында химиялық тыңайтқыштар мен фунгицидтерді алмастыра алатын экологиялық тұрғыдан қауіпсіз биоинкулянттарды әзірлеуге нақты мүмкіндік береді. Алынған деректер тұрақты ауыл шаруашылығы технологияларын қалыптастыруда жергілікті PGPR штаммдарының маңыздылығын айқындайды.

**Түйін сөздер:** ризобактериялар, PGPR, индол-сірке ұышқылы, фосфат еріту, мырыш солюбилизациясы, антагонистік белсенділік.

Zh.K. Batykova<sup>1\*</sup>, A.S. Kistaubayeva<sup>1</sup>, L.N. Saidullayeva<sup>2</sup>,  
U. Yerezhetova<sup>3</sup>, Zh.E. Naurzybayeva<sup>3</sup>, M.A. Abdulzhanova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup> M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

<sup>3</sup> Kazakh National Women's Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

\*e-mail: batyqova@gmail.com

### Corn rhizobacteria as promising bioinoculants for increasing plant productivity and protection

Agricultural production is increasingly challenged by soil degradation, nutrient imbalance, and the prevalence of plant pathogenic fungi, which collectively threaten crop productivity and ecological stability. As a sustainable alternative to chemical inputs, plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) have gained considerable attention due to their ability to enhance plant vigor through natural biochemical mechanisms. This study focused on isolating and characterizing autochthonous bacterial strains associated with the rhizosphere of the maize hybrid KazZP 200 (*Zea mays* L.) and evaluating their functional traits relevant to plant growth promotion and biological control.

A total of 25 bacterial isolates were obtained, comprising 15 Gram-negative and 10 Gram-positive strains. Based on a comparative screening of beneficial traits, two isolates – BJ14 and BJ18 – were selected for detailed investigation. Their functional potential was assessed through several key indica-

tors, including the production of indole-3-acetic acid (ИСК), solubilization of insoluble phosphorus, biological nitrogen fixation, and antifungal activity against major phytopathogens. Among the tested isolates, BJ18 produced the highest level of ИСК (61.4 mg/mL) and demonstrated superior phosphate-solubilizing activity, suggesting a strong capability to stimulate root development. Isolate BJ14 showed the highest inhibitory effect against both phytopathogens, inhibiting the growth of *Pythium spp.* by 73% and the development of *Alternaria alternata* by 62–63%, and was distinguished by its stable and pronounced biocontrol activity. The results clearly indicate that these maize-associated rhizobacteria possess multifunctional traits that may significantly contribute to improving nutrient acquisition, promoting plant growth, and mitigating pathogenic stress. Such characteristics highlight their value as potential bioinoculants for sustainable crop production systems. The findings emphasize the importance of integrating locally adapted PGPR strains into eco-friendly agricultural technologies aimed at reducing chemical fertilizer dependency and enhancing soil health.

**Keywords:** rhizobacteria, PGPR, ИСК, phosphate solubilization, zinc solubilization, antifungal activity.

Ж.К. Батықова<sup>1\*</sup>, А.С. Кистаубаева<sup>1</sup>, Л.Н. Сайдуллаева<sup>2</sup>,  
У. Ережетова<sup>3</sup>, Ж.Е. Наурызбаева<sup>3</sup>, М.А. Абдулжанова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

<sup>3</sup>Казахский национальный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан

\*e-mail: batyqova@gmail.com

### Ризобактерии кукурузы как перспективные биоинокулянты для повышения продуктивности и защиты растений

Современное сельское хозяйство сталкивается с ростом экологических проблем, включая обеднение почв, нарушение баланса питательных элементов и расширение спектра фитопатогенов. В этих условиях возрастает потребность в биологически безопасных технологиях, способных повысить устойчивость растений и снизить зависимость от химических препаратов. Одним из наиболее перспективных направлений является использование ризосферных бактерий, стимулирующих рост растений (PGPR). Настоящее исследование посвящено выделению и характеристике автохтонных бактериальных штаммов, ассоциированных с ризосферой гибрида кукурузы КазЗП 200 (*Zea mays* L.), а также оценке их функциональных свойств. В ходе работы было выделено 25 бактериальных изолята, среди которых определено 15 граммотрицательных и 10 грамположительных штаммов. Сравнительный анализ ключевых физиолого-биохимических показателей позволил выделить два наиболее перспективных изолята – BJ14 и BJ18. Их способность к биологической активности была изучена по ряду критериев: синтез индол-3-уксусной кислоты (ИСК), солюбилизация нерастворимых соединений фосфора, фиксация атмосферного азота, а также ингибирование роста фитопатогенных грибов. Штамм BJ18 продемонстрировал наибольшую продукцию ИСК (61.4 мг/мл) проявил высокую эффективность в растворении фосфатных соединений, что указывает на его потенциал в стимуляции корневой системы. Изолят BJ14 проявил наиболее высокий ингибирующий эффект в отношении обоих фитопатогенов, подавляя рост *Pythium spp.* на 73% и развитие *Alternaria alternata* на 62–63%, и отличался стабильной и выраженной биоконтролирующей активностью. Полученные данные подтверждают значительный агробиологический потенциал изученных штаммов. Их комплексные свойства – улучшение доступности питательных элементов, стимулирование роста и подавление фитопатогенов – делают эти ризобактерии перспективными кандидатами для разработки экологически безопасных биоинокулянтов. Результаты исследования подчеркивают важность использования местных PGPR в современных системах устойчивого растениеводства.

**Ключевые слова:** ризобактерии, PGPR, индол-3-уксусная кислота, солюбилизация фосфатов, растворение цинка, антагонизм.

### Кіріспе

Қазіргі кезеңде ауыл шаруашылығы саласы өндіріс көлемін ұлғайту және сонымен қатар қоршаған ортаға түсетін қысымды азайту міндеттерін қатар шешуді талап ететін күрделі экологиялық жағдаймен бетпе-бет келіп отыр [1]. Минералдық тыңайтқыштар мен пестицидтер-

дің ұзақ жылдар бойы бақылаусыз қолданылуы топырақтың физикалық және химиялық қасиеттерінің нашарлауына, құнарлылықтың төмендеуіне, қоректік элементтердің айналымының бұзылуына және фитопатогендердің тұрақты популяцияларының қалыптасуына әкелуде [2]. Осыған байланысты ауыл шаруашылығында биологиялық негізделген, экологиялық қауіпсіз

технологияларға сұраныс артып келеді. Осындай баламалардың ішінде өсімдіктердің өсуін ынталандыратын ризобактерияларды (PGPR) қолдану ерекше назар аударуда, себебі олар табиғи биохимиялық тетіктер арқылы өсімдіктің өнімділігін арттыруға қабілетті [3].

PGPR өкілдері өсімдік тамыр аймағын белсенді колониялайтын және өсімдікпен өзара пайдалы байланыс түзетін микроорганизмдердің алуан түрлі тобына жатады. Бұл бактериялар бірнеше маңызды биологиялық функция атқарады: атмосфералық азотты биологиялық фиксациялау, ерімейтін фосфор мен мырыш қосылыстарын өсімдікке қолжетімді формаға айналдыру, өсу реттеуші фитогормондар (индол-3-сірке қышқылы – ИСК) синтездеу, сондай-ақ бірқатар фитопатогенді саңырауқұлақтар мен бактерияларға қарсы тікелей антагонистік әсер көрсету. Мұндай көпқырлы қасиеттердің жиынтығы PGPR-ді топырақ құнарлылығын қалпына келтіруге және химиялық тыңайтқыштар мен пестицидтерге тәуелділікті азайтуға мүмкіндік беретін келешегі зор биологиялық құрал ретінде қарастыруға негіз береді [4–6].

Жергілікті агроэкологиялық жағдайларда қалыптасқан автохтонды ризобактериялар өсімдікпен өзара әрекеттесуде жоғары бейімделгіштігімен ерекшеленеді және көбінесе сырттан енгізілетін штамдарға қарағанда анағұрлым тиімді нәтиже береді. Соған қарамастан, Қазақстан жағдайында, әсіресе жатып қалуға төзімді Каз3П 200 жүгері гибридінің ризосферасында кездесетін PGPR әртүрлілігі мен олардың функционалдық әлеуеті жеткілікті деңгейде зерттелмеген. Бұл жергілікті жағдайға бейімделген тиімді биоинокулянттар әзірлеуге шектеу қояды [7,8].

Осы зерттеу жұмысының мақсаты – жүгері ризосферасынан бөлініп алынған ризобактерия штамдарын оқшаулап, олардың өсімдіктің өсуін ынталандыратын және биоконтрольдік қасиеттерін кешенді түрде бағалау. Зерттеу міндеттеріне: (1) ризосфера топырағын жинау және микроорганизмдерді оқшаулау; (2) топырақтың химиялық құрамын анықтау; (3) изоляттардың ИСК синтез қабілетін, фосфор мен мырышты еріту белсенділігін, азот фиксациясын және фитопатогендерге қарсы антагонистік әсерін анықтау; (4) ең перспективалы штамдарды іріктеу кірді.

Жұмыстың негізгі гипотезасы жергілікті ортаға жақсы бейімделген, көпфункционалды ризобактериялар өсімдіктердің қоректік эле-

менттерді сіңіруін арттыру, өсуін күшейту және фитопатогендерге төзімділігін жоғарылату арқылы тұрақты ауыл шаруашылығы үшін тиімді биологиялық агент бола алады деген пайымға негізделеді.

## Зерттеу материалдары мен әдістері

### *Ризосфералық материалды жинау және бактерияларды оқшаулау*

Зерттеу үшін жатып қалуға төзімді Каз3П 200 жүгері гибридінің (*Zea mays* L.) ризосфера топырағы Алматы облысындағы Ауыл шаруашылығы және өсімдік шаруашылығы ғылыми-зерттеу институтының тәжірибе алқаптарынан алынды. Өсімдіктің тамырлары механикалық қоспалардан тазартылғаннан кейін, олардың беткі қабаты 75% этанол және 1% NaOCl ерітіндісімен бірізді өңделіп, сонынан стерильді дистилденген сумен бірнеше рет шайылды. Стерильденген тамырлардан алынған топырақ суспензиясы  $10^{-1}$ – $10^{-9}$  аралығындағы сұйылту қатарлары бойынша дайындалып, әр сұйылту LB агар ортасына себілді. Петри табақшалары 28 °C температурада 3 тәулік инкубацияланды. Өскен колониялар морфологиялық белгілері бойынша сұрыпталып, таза дақыл алу үшін бірнеше рет қайта себінді. Бактериялардың грам бойынша ерекшелігін анықтау үшін классикалық Грам әдісі қолданылды [4,9,10].

### *Индол-3-сірке қышқылын (ИСК) анықтау*

Штамдардың ИСК өндіру қабілеті L-триптофан қосылған (0,5 г/л) сұйық LB қоректік ортасында инкубациялау арқылы бағаланды. Үш тәулік өсірілген дақылдар 6000 айн/мин жылдамдықта 10–15 минут центрифугаланды. Алынған супернатант 2 мл Салковский реактивімен араластырылып, қараңғыда 30 минут бойы инкубацияланды. Қызғылт-қызыл түстің пайда болуы ИСК түзілуін көрсетті. Оптикалық тығыздық 530 нм толқын ұзындығында өлшенді, ал концентрация 10–100 мкг/мл аралығындағы стандарттық градуирлеу сызығы арқылы есептелді [11].

### *Фосфатты еріту белсенділігі*

Ерімейтін фосфатты еріту қабілеті Пиковская ортасында бағаланды. Бактериялар  $Ca_3(PO_4)_2$  қосылған орта бетіне нүктелік әдіспен егілді де,  $28 \pm 2$  °C температурада 6–7 күн инкубацияланды. Колонияларды қоршаған мөлдір аймақ фосфаттың ерітілуін көрсетті. Штамдардың тиімділігін салыстыру үшін солюбилизация индексі (SI) есептелді [12]:

$$SI = (d \text{ колония} + d \text{ гало аймағы}) / D \text{ колония} \quad (1)$$

мұндағы  $d$  – диаметр.

Азот фиксациясын анықтау

Зерттелген штаммдардың атмосфералық азотты фиксациялау қабілеті минералды азот көздері енгізілмеген Дженсен агар ортасында бағаланды. Әрбір изоляттың жас дақылы алдын ала дайындалған азотсыз ортаға инокуляцияланып, Петри табақшалары 28 °C температурада 7 тәулік бойы статикалық жағдайда инкубацияланды. Инкубация соңында өсу колонияларының пайда болуы штаммның молекулалық азотты фиксациялауға қабілеттілігінің жанама көрсеткіші ретінде қабылданды. Талдаудың дұрыстығын және штаммдардың азотфиксациялаушы қасиетінің тұрақтылығын растау үшін, барлық позитивті штаммдар жаңадан дайындалған Эшби агар ортасына қайта себілді. Қайта өсіру нәтижелері Дженсен ортасында алынған деректермен салыстырылып, штаммдардың азот фиксациялау қабілетінің қайталанғыштығы мен тұрақтылығы бағаланды. [13].

Фитопатогендерге қарсы антагонистік белсенділікті анықтау (Қосарланған дақыл әдісі)

Бактерия штаммдарының фитопатогенді саңырауқұлақтарға қарсы антагонистік белсенділігі қосарланған дақыл немесе қосарланған дақыл әдісі арқылы бағаланды. Әдістің мәні бактерия мен саңырауқұлақты бір Петри табақшасында қатар өсіру арқылы саңырауқұлақ колониясының өсуінің тежелуін анықтауға негізделеді. Алдымен *Alternaria alternata* және *Pythium spp.* фитопатогендерінің 6 мм диаметрлі кесілген агар дискілері Сабуро декстроза агарына орналастырылды [14]. Пластина ортасына саңырауқұлақ инокулумы қойылып, оған қарсы жаққа зерттелетін бактерия штаммы (BJ14 және BJ18) нүктелік әдіспен егіліп, 28 °C температурада 5–7 тәулік бойы инкубацияланды. Инкубация аяқталғаннан кейін саңырауқұлақ мицелийінің бактерияға қарай өсу қарқыны салыстырылып, тежелу аймағы миллиметрмен өлшенді [15]. Саңырауқұлақ пен бактерия арасындағы ашық зона өсуінің тежелу аймағы (inhibition zone) ретінде тіркелді. Бақылау нұсқасында (бактериясыз) фитопатоген толық өсіп шығып, колония радиусы өлшенді. Антагонистік белсенділік төмендегі формула бойынша есептелді (2):

$$\text{Inhibition \%} = (R_c - R_t) / R_c \times 100 \quad (2)$$

мұндағы  $R_c$  – бақылаудағы саңырауқұлақ радиусы,  $R_t$  – бактериямен бірге өсірілгендегі саңырауқұлақ радиусы.

Барлық сынамалар үш қайталауда жүргізілді және нәтижелер орташа мән  $\pm$  стандартты қателік түрінде ұсынылды.

*Статистикалық талдау*

Барлық тәжірибелер үш қайталауда жүргізілді. Статистикалық өңдеу RStudio (2023) бағдарламасында орындалды. Деректердің қалыптылығын Шапиро–Уилк тесті арқылы бағалап, сәйкесінше ANOVA қолданылды. Маңыздылық деңгейі  $p < 0.05$  деп белгіленді.

### Зерттеу нәтижелері және оларды талдау

#### *Бөлініп алынған изоляттардың жалпы сипаттамасы*

Қазіргі уақытта жаһандық ауыл шаруашылығы судың тапшылығы, топырақтың деградациясы, климаттың өзгеруі және тез урбанизация сияқты көптеген қиындықтарға тап болуда – мұның бәрі азық-түлік өндірісі жүйелерінің тұрақтылығына қауіп төндіруде. Абиотикалық стресстің дақылдардың өнімділігіне әсері стресстің ұзақтығы мен қарқындылығы, қоршаған орта жағдайлары және өсімдіктің генетикалық фоны [36], сондай-ақ кең экологиялық айнымалылар сияқты бірнеше факторларға байланысты. Бұл стрессорлар фотосинтетикалық және тыныс алу процестеріндегі өзгерістермен және стресске бейім ген экспрессиясының реттелуімен одан әрі күшейе түседі [2,16,17]. Осы мәселелерді ескере отырып, экологиялық тұрғыдан тұрақты ауыл шаруашылығы тәжірибелерін қабылдау қажеттілігі артып келеді. Олардың ішінде өсімдіктердің өсуін ынталандыратын ризобактерияларды (PGPR) қолдану дақылдардың өнімділігін арттыруда және абиотикалық стресстің зиянды әсерін жеңілдетуде айтарлықтай перспективалы болды [18–20].

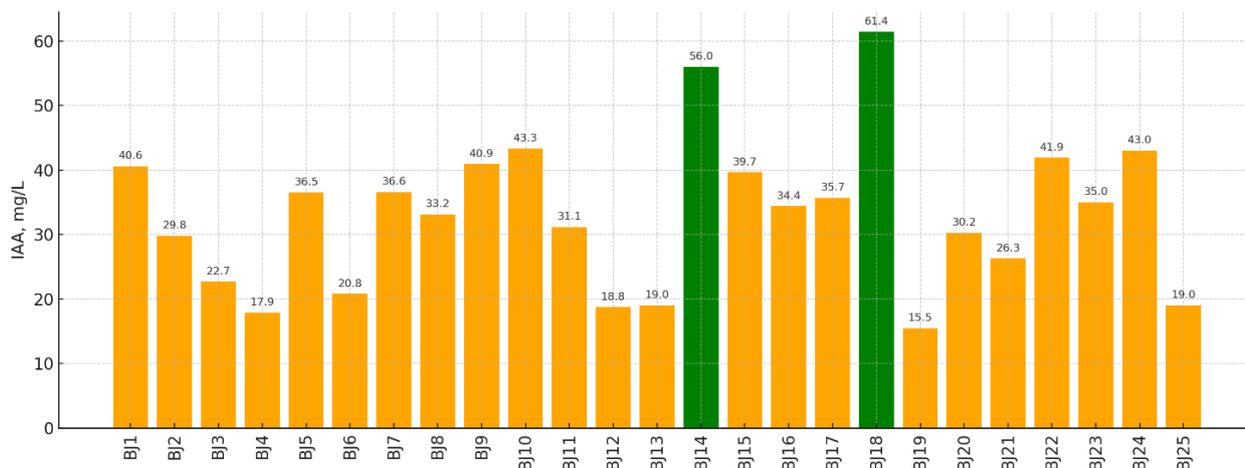
Алдын ала скрининг процесінен кейін барлығы 23 бактериялық дақыл бөлініп алынды. Грам бояуы 14 изоляттың грамтеріс, ал 8-інің грамон екенін көрсетті. Осы 23 ризобактерия изоляттарының ішінен өсімдіктердің өсуін ынталандырудың жоғары әлеуетін және фунгистатикалық белсенділіктің айқын көрінісін көрсететін екі штамм, жеке немесе біріктіріліп, әрі қарай егжей-тегжейлі зерттеу үшін таңдалды.

**Индол-3-сірке қышқылын (ИСК) өндіру қабілеті**

Өсімдіктердің өсуін ынталандыратын микроорганизмдердің негізгі сипаттамасы – олардың әртүрлі фитогормондарды, әсіресе индол-3-сірке қышқылын (ИСК) синтездеу қабілеті, себебі бұл қасиет өсімдіктердің өсуін ынталандыратын тиімді ризобактериялар (PGPR) үшін ең маңыздыларының бірі болып табылады. Өсімдіктердің өсуі жасушалардың бөлінуі, сабақтардың ұзаруы, геотропизм, тамырлардың дамуы, қоректік заттардың сіңуі, биомассаның жиналуы, апикальды доминанттылық, фототропизм және жасушалардың дифференциациясы сияқты бірнеше физиологиялық процестерді қамтиды – олардың барлығы айтарлықтай дәрежеде ИСК өндірісімен реттеледі [11,21]. Бұл зерттеуде оқшауланған бактериялық штамдардың ИСК өндіру қабілеті триптофан прекурсоры ретінде қосылған ортада үш күндік инкубация кезеңінен кейін Салковский реактивімен коло-

риметриялық талдауды қолдану арқылы бағаланды.

1-суретте 25 изолятың индол-3-сірке қышқылын (ИСК) өндіруі көрсетілген. Жасыл түсті жолақтар ИСК белсенділігі ең жоғары штамдарды көрсетеді, ал көк түсті жолақтар салыстырмалы түрде төмен белсенділігі бар изоляттарды білдіреді. Нәтижелер сыналған 25 изоляттың ішінде екі штамның ИСК өндірісінің ең жоғары деңгейлерін көрсеткенін көрсетеді: BJ14 (56 мг/л) және BJ18 (61,4 мг/л). Мысалы, 2 г/л триптофанда өсірілген *Streptomyces fradiae* NKZ 259 6 күндік инкубациядан кейін 56,3 мкг/мл ИСК дейін өндірді [22]. Сол сияқты, *Klebsiella* изоляты оңтайландырылған жағдайларда 56 мг/л (~0,056 мг/мл) ИСК дейін өндірді – бұл CR14 және CR18 мәндерінен бірнеше есе төмен. Көптеген ризосфералық изоляттар, мысалы, *Pseudomonas* тұқымдасынан алынғандар, әдетте 10-50 мкг/мл аралығында түзеді [23–25].



**1-сурет** – 25 изолят арқылы индол-3-сірке қышқылын өндіру. Ескертпе: жасыл түсті жолақтар ең жоғары белсенділігі бар штамдарды көрсетеді; көк түсті жолақтар төмен белсенділігі бар штамдарды көрсетеді

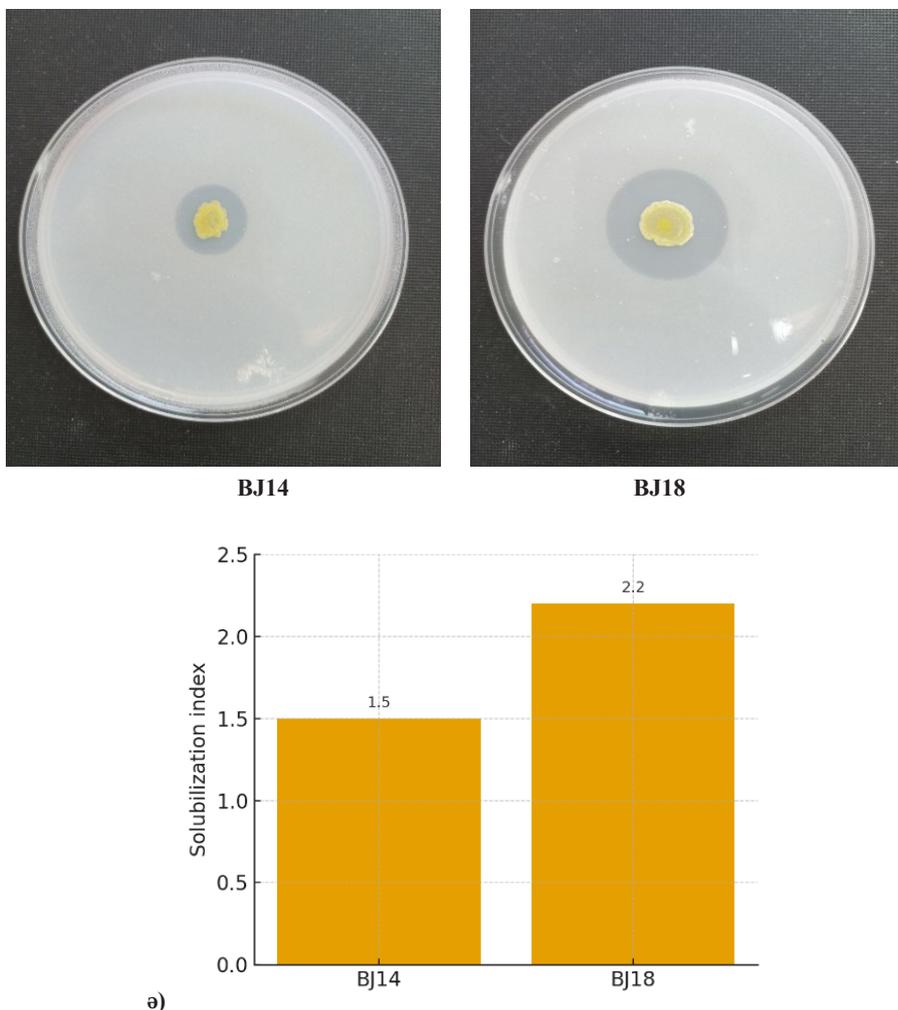
**Фосфаттарды еріту белсенділігі**

Фосфатта ерігіш бактерияларды Пиковская агар ортасында өсірген кезде олардың колонияларының айналасында мөлдір гало аймақтардың пайда болуы арқылы анықтауға болады, бұл олардың ерімейтін үшқальций фосфатын еріту қабілетін көрсетеді. Сыналған 25 изолятың ішінде 11-і фосфатта ерігіш белсенділікті

көрсетті. Дегенмен, гало аймағының диаметрін өлшеу және ерігіштік индексін есептеу негізінде одан әрі зерттеу үшін тек екі изолят – BJ14 және BJ18 таңдалды. 2-суретте таңдалған бактериялық изоляттармен фосфаттың ерігіштігі көрсетілген, оның ішінде (а) ерігіштік аймақтарының көрнекі көрінісі және (ә) инкубация кезеңіндегі ерігіштік индексінің (SI) динамикасы көрсетіл-

ген. Бұл изоляттар фосфаттың ерігіштік индексіні BJ14 -1,5 және BJ18 – 2,2 көрсетті, ал BJ18 изоляты ең жоғары ерігіштік тиімділігін көрсет-

ті. *Bacillus firmus* MAJ PSB12 ұқсас штамдары жақсы ерігіштігін көрсетті және рН ~5,4-ке бейімделген[26].



**2-сурет** – Таңдалған изоляттармен фосфаттың ерігіштігі:  
а) тежеу аймақтарының визуалды көрінісі; ә) инкубация кезіндегі SI динамикасы

### **Азот фиксациясы**

Азотсыз Дженсен ортасында жүргізілген тәжірибеде BJ14 және BJ18 штамдарының екеуі де өсіп, айқын колониялар түзе алды (3-сурет). Минералды азот көзі болмаған жағдайда бактериялардың тұрақты өсуі олардың атмосфералық азотты биологиялық жолмен фиксациялай алатынын көрсетеді. Бұл құбылыс диазотрофты микроорганизмдерге тән, себебі олар азотты молекулалық күйінен өсімдікке қолжетімді формаға айналдыратын ферменттік жүйелерге ие. 3-суретте екі штамм 7 күн инкубациядан агар бетінде

біркелкі өсу сызықтарын қалыптастырған және бұл олардың олардың азотсыз ортаға физиологиялық бейімділігі жоғары екенін және энергия көзін баламалы механизмдер арқылы қамтамасыз ете алатынын дәлелдейді. Диазотрофты штамдар тамыр аймағында азоттық қосылыстардың жиналуын арттырып, өсімдіктің биомассасының ұлғаюына және вегетативтік мүшелерінің қарқынды дамуына әсер етеді. Бұл қасиет BJ14 және BJ18 штамдарын азот тыңайтқышына балама болатын перспективалы PGPR агенттері қатарында қарастыруға мүмкіндік береді.



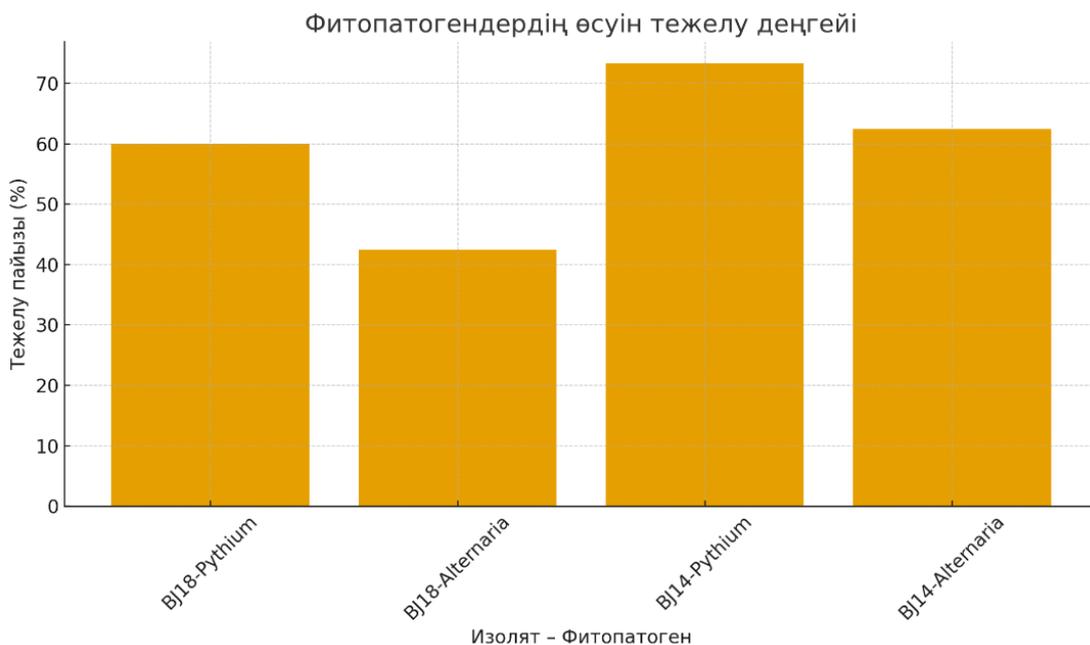
**B14 B18**

**3-сурет** – Зерттелген изоляттардың азотты бекіту белсенділігі

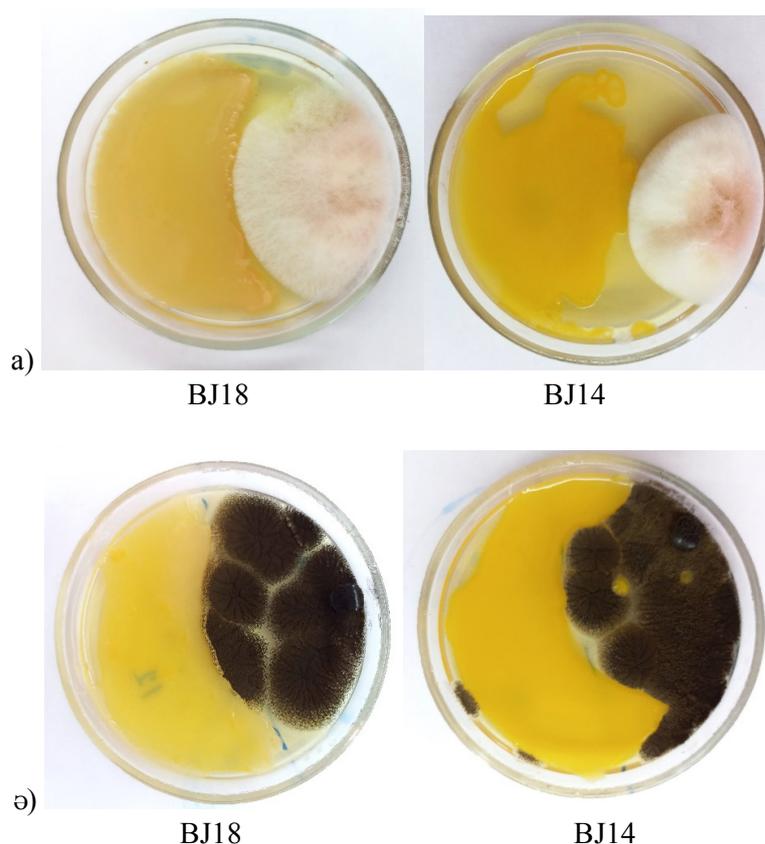
**Фитопатогендерге қарсы антагонистік белсенділік**

Қосарланған дақыл әдісі арқылы жүргізілген тәжірибелер зерттелген изоляттардың фитопато-

гендерге қарсы айқын антагонистік белсенділікке ие екенін көрсетті. Бұл нәтижелер зерттелген ризобактериялардың фитопатогендерге қарсы биобақылау агенті ретінде жоғары әлеуетке ие екенін дәлелдейді. 4-суретте ризобактериялармен жақсы егілген айналадағы фитопатогеннің өсуін тежеу аймағы көрсетілген. Қосарланған дақыл әдісі негізінде жүргізілген талдау нәтижелері B18 және B14 штаммдарының екі фитопатогенге қарсы айқын биоконтроль қабілетіне ие екенін көрсетті. *Pythium spp.* саңырауқұлағы бақылауда Петри табақшасын толық жауып шықса, B18 штаммы бар секторда оның өсу радиусы 45 мм-ден 18 мм-ге дейін қысқарып, тежелу деңгейі шамамен 60% болды. *Alternaria alternata* үшін B18 штаммының тежелу көрсеткіші 43% құрап, саңырауқұлақ мицелийінің таралу қарқыны айтарлықтай баяулағаны байқалды. B14 штаммы одан да жоғары антагонистік белсенділік көрсетті: *Pythium spp.* өсуі 45 мм-ден 12 мм-ге дейін төмендеп, тежелу пайызы 73.3% жетті, ал *A. alternata*-ға қарсы тежелу деңгейі 63% болды (4-сурет).



**4-сурет** – *Pythium spp.* және *Alternaria alternata* саңырауқұлақтарының өсуін тежейтін изоляттардың антагонистік белсенділігінің диаграммасы



**5-сурет** – Зерттелген изоляттардың *Pythium spp.* және *Alternaria alternata* қосарланған дақыл әдісі бойынша саңырауқұлақтарының өсуін тежейтін антагонистік белсенділігі

Осындай жоғары ингибициялық белсенділік BJ14 штаммының екі фитопатогенді де тиімді басатын күшті биоконтроль агенті екенін дәлелдейді, ал BJ18 штаммы орташа, бірақ тұрақты антагонистік әсер көрсететін перспективалы PGPR ретінде ерекшеленеді. *A. alternata*-ға қарсы белсенділік тұрғысынан бұл *F. graminearum* және *F. verticillioides* контекстінде қолданылған *B. subtilis* ATCC6633 штамдарына ұқсас [27]. Бұл белсенділік деңгейі *Bacillus amyloliquefaciens* XJ BV2007 белсенділігімен салыстыруға болады, оның биобақылау әсері *A. alternata* өсуін басып және токсиндердің өндірілуін азайтатын липопептид фенгидиннің өндірілуімен байланыстырылады [28,29]. *Bacillus* туысының әртүрлі штамдарының нан мен жармалардың фузариозды солуының қоздырғышы *F. graminearum*-ға қарсы антагонизмді көрсетуге ұзақ уақыт бойы қабілетті екені белгілі. Бұл антагонизм саңырауқұлаққа қарсы қосылыстардың өндірілуіне және саңырауқұлақтың бәсекеге қабілетті ығысуына байланысты [27,29].

### Қорытынды

Бұл жұмыста жүгері ризосферасынан оқшауланған екі автохтонды ризобактерия штаммы – BJ14 және BJ18 – өсімдіктің өсуін ынталандыратын және фитопатогендерге қарсы белсенділігі бар перспективалы PGPR микроорганизмдер ретінде бағаланды. Зерттеу олардың көпфункционалды физиологиялық қасиеттерге ие екенін және әртүрлі механизмдер арқылы өсімдіктің дамуын қолдайтынын айқын көрсетті.

Екі штамм да индол-3-сірке қышқылын синтездеп, тамыр жүйесінің өсуін ынталандыруда маңызды рөл атқаратыны анықталды. BJ18 штаммы фосфатты еріту қабілетімен ерекшеленіп, топырақтағы қоректік элементтердің биоже-тімділігін арттыруға ықпал ететін тиімді соллюбилизатор ретінде танылды. Азотсыз Дженсен ортасында екі штаммның да еркін өсуі олардың атмосфералық азотты фиксациялау қабілетіне ие диазотрофты микроорганизмдер қатарына жататынын дәлелдеді.

Антагонистік белсенділік бойынша екі штамм да *Pythium spp.* және *Alternaria alternata* саңырауқұлақтарының өсуін айтарлықтай тежеді. BJ18 штаммы бұл патогендердің өсуін тиісінше 60% және 42% деңгейінде бәсеңдетсе, BJ14 штаммының белсенділігі біршама жоғары болып, 73% және 63% тежелу деңгейіне жетті. Әсіресе BJ14 штаммының тұрақты және айқын антифунгалдық әсер көрсетуі оның биологиялық фунгицид ретінде қолдануға жоғары әлеуетке ие екенін көрсетті.

Жалпы алғанда, BJ14 және BJ18 ризобактериялары өсімдікке қажетті қоректік элементтердің биожетімділігін арттыру, фитогормондар өндіру, азот фиксациясы және фитопатогендерді

тежеу сияқты бірнеше маңызды функцияларды бір мезгілде атқаратын көпфункционалды PGPR ретінде сипатталады. Бұл қасиеттер оларды жүгері дақылдары үшін экологиялық қауіпсіз, тиімді биоинокулянттарды әзірлеуде құнды микробиологиялық ресурсқа айналдырады.

Алдағы зерттеулер бұл штаммдардың әрекет ету механизмдерін молекулалық деңгейде нақтылауды, олардың органикалық қышқылдар түзуін сандық бағалауды, сондай-ақ жылыжай және егістік жағдайларында тиімділігін бағалауды қамтуы тиіс. Бұл олардың экологиялық таза биотыңайтқыштар мен биобақылау агенттері ретінде кең ауқымды практикалық қолданылуын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

### Әдебиеттер

1. Abbas A., Yli-Mattila T. Biocontrol of *Fusarium graminearum*, a causal agent of Fusarium head blight of wheat, and deoxynivalenol accumulation: from *in vitro* to *in planta* // *Toxins*. – 2022. – Vol. 14, No. 5. – Art. 299. – DOI: 10.3390/toxins14050299.
2. Abdelkefi N., Louati I., Mechichi H.-Z., Sayahi N., El-Sayed W.S., Nayal A.E., Ismail W., Hanin M., Mechichi T. Enhanced salt stress tolerance in tomato plants following inoculation with newly isolated plant growth-promoting rhizobacteria // *Scientia Horticulturae*. – 2024. – Vol. 328. – Art. 112921. – DOI: 10.1016/j.scienta.2024.112921.
3. Aguado-Santacruz G.A., Moreno-Gómez B., Jiménez-Francisco B., García-Moya E., Preciado-Ortiz R.E. Impacto de los sideróforos microbianos y fitosideróforos en la asimilación de hierro por las plantas: una síntesis // *Revista Fitotecnia Mexicana*. – 2012. – Vol. 35, No. 1. – P. 9–21.
4. Ahemad M., Kibret M. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective // *Journal of King Saud University – Science*. – 2014. – Vol. 26, No. 1. – P. 1–20. – DOI: 10.1016/j.jksus.2013.05.001.
5. Alemneh A.A., Cawthray G.R., Zhou Y., Ryder M.H., Denton M.D. Ability to produce indole acetic acid is associated with improved phosphate solubilising activity of rhizobacteria // *Archives of Microbiology*. – 2021. – Vol. 203, No. 7. – P. 3825–3837. – DOI: 10.1007/s00203-021-02364-w.
6. Ali B., Wang X., Saleem M.H., Sumaira, Hafeez A., Afridi M.S., Khan S., Zaib-Un-Nisa, Ullah I., Amaral Júnior A.T. do, Alatawi A., Ali S. PGPR-mediated salt tolerance in maize by modulating plant physiology, antioxidant defense, compatible solutes accumulation and bio-surfactant producing genes // *Plants*. – 2022. – Vol. 11, No. 3. – Art. 345. – DOI: 10.3390/plants11030345.
7. ALKahtani M.D.F., Fouda A., Attia K.A., Al-Otaibi F., Eid A.M., Ewais E.E.-D., Hijri M., St-Arnaud M., Hassan S.E.-D., Khan N., Hafez Y.M., Abdelaal K.A.A. Isolation and characterization of plant growth promoting endophytic bacteria from desert plants and their application as bioinoculants for sustainable agriculture // *Agronomy*. – 2020. – Vol. 10, No. 9. – Art. 1325. – DOI: 10.3390/agronomy10091325.
8. Baigonussova Zh.A., Tulkubaeva S.A., Tulaev Yu.V., Safronova O.S., Kurmanbaev A.A. Creating a biological product using nitrogen-fixing bacteria before sowing wheat // *Journal of Advanced Pharmacy Education and Research*. – 2021. – Vol. 11, No. 1. – P. 39–47. – DOI: 10.51847/XL40j39.
9. Batykova Z.K., Kistaubayeva A.S., Savitskaya I.S., Pidlisnyuk V. Isolation and study of plant growth promoting rhizobacteria from *Triticosecale* Wittmack growing in Almaty region // *International Journal of Biology and Chemistry*. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – Art. 1. – DOI: 10.26577/IJBCh2024v17i1-a6.
10. Batykova Z., Pidlisnyuk V., Kistaubayeva A., Ust'ak S., Savitskaya I., Saidullayeva L., Mamirova A. Isolation and screening of the novel multi-trait strains for future implications in phytotechnology // *Microorganisms*. – 2025. – Vol. 13, No. 8. – Art. 1902. – DOI: 10.3390/microorganisms13081902.
11. Beshah A., Muleta D., Legese G., Assefa F. Exploring stress-tolerant plant growth-promoting rhizobacteria from groundnut rhizosphere soil in semi-arid regions of Ethiopia // *Plant Signaling & Behavior*. – 2024. – Vol. 19, No. 1. – Art. 2365574. – DOI: 10.1080/15592324.2024.2365574.
12. Bharucha U., Patel K., Trivedi U.B. Optimization of indole acetic acid production by *Pseudomonas putida* UB1 and its effect as plant growth-promoting rhizobacteria on mustard (*Brassica nigra*) // *Agricultural Research*. – 2013. – Vol. 2, No. 3. – P. 215–221. – DOI: 10.1007/s40003-013-0065-7.
13. Bouremani N., Cherif-Silini H., Silini A., Bouket A.C., Luptakova L., Alenezi F.N., Baranov O., Belbahri L. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): a rampart against the adverse effects of drought stress // *Water*. – 2023. – Vol. 15, No. 3. – Art. 418. – DOI: 10.3390/w15030418.
14. Chaffai R., Ganesan M., Cherif A. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and plant growth-promoting fungi (PGPF) for alleviating abiotic stress in plants // В кн.: *Plant adaptation to abiotic stress*. – Singapore: Springer Nature, 2024. – P. 457–496. – DOI: 10.1007/978-981-97-0672-3\_17.

15. Enebe M.C., Babalola O.O. The influence of plant growth-promoting rhizobacteria in plant tolerance to abiotic stress: a survival strategy // *Applied Microbiology and Biotechnology*. – 2018. – Vol. 102, No. 18. – P. 7821–7835. – DOI: 10.1007/s00253-018-9214-z.
16. Etesami H., Maheshwari D.K. Use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) with multiple plant growth promoting traits in stress agriculture: action mechanisms and future prospects // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. – 2018. – Vol. 156. – P. 225–246. – DOI: 10.1016/j.ecoenv.2018.03.013.
17. Ganesh J., Hewitt K., Devkota A.R., Wilson T., Kaundal A. IAA-producing plant growth promoting rhizobacteria from *Ceanothus velutinus* enhance cutting propagation efficiency and *Arabidopsis* biomass // *Frontiers in Plant Science*. – 2024. – Vol. 15. – Art. 1374877. – DOI: 10.3389/fpls.2024.1374877.
18. Haq I.U., Rahim K., Yahya G., Ijaz B., Maryam S., Paker N.P. Eco-smart biocontrol strategies utilizing potent microbes for sustainable management of phytopathogenic diseases // *Biotechnology Reports*. – 2024. – Vol. 44. – Art. e00859. – DOI: 10.1016/j.btre.2024.e00859.
19. Hasan A., Tabassum B., Hashim M., Khan N. Role of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) as a plant growth enhancer for sustainable agriculture: a review // *Bacteria*. – 2024. – Vol. 3, No. 2. – P. 59–75. – DOI: 10.3390/bacteria3020005.
20. Jia Q., Fan Y., Duan S., Qin Q., Ding Y., Yang M., Wang Y., Liu F., Wang C. Effects of *Bacillus amyloliquefaciens* XJ-BV2007 on growth of *Alternaria alternata* and production of tenuazonic acid // *Toxins*. – 2023. – Vol. 15, No. 1. – Art. 53. – DOI: 10.3390/toxins15010053.
21. Khawula S., Daniel A.I., Nyawo N., Ndlazi K., Sibiyi S., Ntshalintshali S., Nzuzi G., Gokul A., Keyster M., Klein A., Niekerk L., Nkomo M. Optimizing plant resilience with growth-promoting rhizobacteria under abiotic and biotic stress conditions // *Plant Stress*. – 2025. – Vol. 17. – Art. 100949. – DOI: 10.1016/j.stress.2025.100949.
22. Kumar V., Prasher I.B. Phosphate solubilization and indole-3-acetic acid produced by *Colletotrichum gloeosporioides* and *Aspergillus fumigatus* strains isolated from the rhizosphere of *Dillenia indica* L. // *Folia Microbiologica*. – 2023. – Vol. 68, No. 2. – P. 219–229. – DOI: 10.1007/s12223-022-01004-0.
23. Kunal, Pranaw K., Kumawat K.C., Meena V.S. Editorial: plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and plant hormones: an approach for plant abiotic stress management and sustainable agriculture // *Frontiers in Microbiology*. – 2023. – Vol. 14. – Art. 1285756. – DOI: 10.3389/fmicb.2023.1285756.
24. Moussaid F.Z., Lahlali R., Ezrari S., El Barnossi A., Housseini A.I. Biological control of *Alternaria alternata* MW970059 by *Aspergillus nidulans* MW732187 isolated from green household waste // *Journal of Natural Pesticide Research*. – 2025. – Vol. 13. – Art. 100134. – DOI: 10.1016/j.napere.2025.100134.
25. Myo E.M., Ge B., Ma J., Cui H., Liu B., Shi L., Jiang M., Zhang K. Indole-3-acetic acid production by *Streptomyces fradiae* NKZ-259 and its formulation to enhance plant growth // *BMC Microbiology*. – 2019. – Vol. 19, No. 1. – Art. 155. – DOI: 10.1186/s12866-019-1528-1.
26. Ntushelo K., Ledwaba L.K., Rauwane M.E., Adebo O.A., Njobeh P.B. The mode of action of *Bacillus* species against *Fusarium graminearum*: tools for investigation and future prospects // *Toxins*. – 2019. – Vol. 11, No. 10. – Art. 606. – DOI: 10.3390/toxins11100606.
27. Popržen T., Nikolić I., Krstić-Milošević D., Uzelac B., Trifunović-Momčilov M., Marković M., Radulović O. Characterization of the IAA-producing and -degrading *Pseudomonas* strains regulating growth of *Lemna minor* L. // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2023. – Vol. 24, No. 24. – Art. 17207. – DOI: 10.3390/ijms242417207.
28. Sonowal T., Gupta N., Kumar S., Rustagi S., Singh S., Rai A.K., Shreaz S., Negi R., Yadav A.N. Plant growth-promoting rhizobacteria: influence to abiotic stress tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) // *Journal of Applied Biology and Biotechnology*. – 2024. – Vol. 12, No. 5. – P. 41–47. – DOI: 10.7324/JABB.2024.167590.
29. Wang Z., Zhang H., Liu L., Li S., Xie J., Xue X., Jiang Y. Screening of phosphate-solubilizing bacteria and their abilities of phosphorus solubilization and wheat growth promotion // *BMC Microbiology*. – 2022. – Vol. 22, No. 1. – Art. 296. – DOI: 10.1186/s12866-022-02715-7.

## References

1. Abbas A., Yli-Mattila T. Biocontrol of *Fusarium graminearum*, a causal agent of Fusarium head blight of wheat, and deoxynivalenol accumulation: from *in vitro* to *in planta* // *Toxins*. – 2022. – Vol. 14, No. 5. – Art. 299. – DOI: 10.3390/toxins14050299.
2. Abdelkefi N., Louati I., Mechichi H.-Z., Sayahi N., El-Sayed W.S., Nayal A.E., Ismail W., Hanin M., Mechichi T. Enhanced salt stress tolerance in tomato plants following inoculation with newly isolated plant growth-promoting rhizobacteria // *Scientia Horticulturae*. – 2024. – Vol. 328. – Art. 112921. – DOI: 10.1016/j.scienta.2024.112921.
3. Aguado-Santacruz G.A., Moreno-Gómez B., Jiménez-Francisco B., García-Moya E., Preciado-Ortiz R.E. Impacto de los sideróforos microbianos y fitosidóforos en la asimilación de hierro por las plantas: una síntesis // *Revista Fitotecnia Mexicana*. – 2012. – Vol. 35, No. 1. – P. 9–21.
4. Ahemad M., Kibret M. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective // *Journal of King Saud University – Science*. – 2014. – Vol. 26, No. 1. – P. 1–20. – DOI: 10.1016/j.jksus.2013.05.001.
5. Alemneh A.A., Cawthray G.R., Zhou Y., Ryder M.H., Denton M.D. Ability to produce indole acetic acid is associated with improved phosphate solubilizing activity of rhizobacteria // *Archives of Microbiology*. – 2021. – Vol. 203, No. 7. – P. 3825–3837. – DOI: 10.1007/s00203-021-02364-w.

6. Ali B., Wang X., Saleem M.H., Sumaira, Hafeez A., Afridi M.S., Khan S., Zaib-Un-Nisa, Ullah I., Amaral Júnior A.T. do, Alatawi A., Ali S. PGPR-mediated salt tolerance in maize by modulating plant physiology, antioxidant defense, compatible solutes accumulation and bio-surfactant producing genes // *Plants*. – 2022. – Vol. 11, No. 3. – Art. 345. – DOI: 10.3390/plants11030345.
7. ALKahtani M.D.F., Fouda A., Attia K.A., Al-Otaibi F., Eid A.M., Ewais E.E.-D., Hijri M., St-Arnaud M., Hassan S.E.-D., Khan N., Hafez Y.M., Abdelaal K.A.A. Isolation and characterization of plant growth promoting endophytic bacteria from desert plants and their application as bioinoculants for sustainable agriculture // *Agronomy*. – 2020. – Vol. 10, No. 9. – Art. 1325. – DOI: 10.3390/agronomy10091325.
8. Baigonussova Zh.A., Tulkubaeva S.A., Tulaev Yu.V., Safronova O.S., Kurmanbaev A.A. Creating a biological product using nitrogen-fixing bacteria before sowing wheat // *Journal of Advanced Pharmacy Education and Research*. – 2021. – Vol. 11, No. 1. – P. 39–47. – DOI: 10.51847/XL40j39.
9. Batykova Z.K., Kistaubayeva A.S., Savitskaya I.S., Pidlisnyuk V. Isolation and study of plant growth promoting rhizobacteria from *Triticosecale* Wittmack growing in Almaty region // *International Journal of Biology and Chemistry*. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – Art. 1. – DOI: 10.26577/IJBCh2024v17i1-a6.
10. Batykova Z., Pidlisnyuk V., Kistaubayeva A., Ust'ak S., Savitskaya I., Saidullayeva L., Mamirova A. Isolation and screening of the novel multi-trait strains for future implications in phytotechnology // *Microorganisms*. – 2025. – Vol. 13, No. 8. – Art. 1902. – DOI: 10.3390/microorganisms13081902.
11. Beshah A., Muleta D., Legese G., Assefa F. Exploring stress-tolerant plant growth-promoting rhizobacteria from groundnut rhizosphere soil in semi-arid regions of Ethiopia // *Plant Signaling & Behavior*. – 2024. – Vol. 19, No. 1. – Art. 2365574. – DOI: 10.1080/15592324.2024.2365574.
12. Bharucha U., Patel K., Trivedi U.B. Optimization of indole acetic acid production by *Pseudomonas putida* UB1 and its effect as plant growth-promoting rhizobacteria on mustard (*Brassica nigra*) // *Agricultural Research*. – 2013. – Vol. 2, No. 3. – P. 215–221. – DOI: 10.1007/s40003-013-0065-7.
13. Bouremani N., Cherif-Silini H., Silini A., Bouket A.C., Luptakova L., Alenezi F.N., Baranov O., Belbahri L. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): a rampart against the adverse effects of drought stress // *Water*. – 2023. – Vol. 15, No. 3. – Art. 418. – DOI: 10.3390/w15030418.
14. Chaffai R., Ganesan M., Cherif A. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and plant growth-promoting fungi (PGPF) for alleviating abiotic stress in plants // В кн.: *Plant adaptation to abiotic stress*. – Singapore: Springer Nature, 2024. – P. 457–496. – DOI: 10.1007/978-981-97-0672-3\_17.
15. Enebe M.C., Babalola O.O. The influence of plant growth-promoting rhizobacteria in plant tolerance to abiotic stress: a survival strategy // *Applied Microbiology and Biotechnology*. – 2018. – Vol. 102, No. 18. – P. 7821–7835. – DOI: 10.1007/s00253-018-9214-z.
16. Etesami H., Maheshwari D.K. Use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) with multiple plant growth promoting traits in stress agriculture: action mechanisms and future prospects // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. – 2018. – Vol. 156. – P. 225–246. – DOI: 10.1016/j.ecoenv.2018.03.013.
17. Ganesh J., Hewitt K., Devkota A.R., Wilson T., Kaundal A. IAA-producing plant growth promoting rhizobacteria from *Ceanothus velutinus* enhance cutting propagation efficiency and *Arabidopsis* biomass // *Frontiers in Plant Science*. – 2024. – Vol. 15. – Art. 1374877. – DOI: 10.3389/fpls.2024.1374877.
18. Haq I.U., Rahim K., Yahya G., Ijaz B., Maryam S., Paker N.P. Eco-smart biocontrol strategies utilizing potent microbes for sustainable management of phytopathogenic diseases // *Biotechnology Reports*. – 2024. – Vol. 44. – Art. e00859. – DOI: 10.1016/j.btre.2024.e00859.
19. Hasan A., Tabassum B., Hashim M., Khan N. Role of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) as a plant growth enhancer for sustainable agriculture: a review // *Bacteria*. – 2024. – Vol. 3, No. 2. – P. 59–75. – DOI: 10.3390/bacteria3020005.
20. Jia Q., Fan Y., Duan S., Qin Q., Ding Y., Yang M., Wang Y., Liu F., Wang C. Effects of *Bacillus amyloliquefaciens* XJ-BV2007 on growth of *Alternaria alternata* and production of tenuazonic acid // *Toxins*. – 2023. – Vol. 15, No. 1. – Art. 53. – DOI: 10.3390/toxins15010053.
21. Khawula S., Daniel A.I., Nyawo N., Ndlazi K., Sibiya S., Ntshalintshali S., Nzuza G., Gokul A., Keyster M., Klein A., Niekerk L., Nkomo M. Optimizing plant resilience with growth-promoting rhizobacteria under abiotic and biotic stress conditions // *Plant Stress*. – 2025. – Vol. 17. – Art. 100949. – DOI: 10.1016/j.stress.2025.100949.
22. Kumar V., Prasher I.B. Phosphate solubilization and indole-3-acetic acid produced by *Colletotrichum gloeosporioides* and *Aspergillus fumigatus* strains isolated from the rhizosphere of *Dillenia indica* L. // *Folia Microbiologica*. – 2023. – Vol. 68, No. 2. – P. 219–229. – DOI: 10.1007/s12223-022-01004-0.
23. Kunal, Pranaw K., Kumawat K.C., Meena V.S. Editorial: plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and plant hormones: an approach for plant abiotic stress management and sustainable agriculture // *Frontiers in Microbiology*. – 2023. – Vol. 14. – Art. 1285756. – DOI: 10.3389/fmicb.2023.1285756.
24. Moussaid F.Z., Lahlali R., Ezrari S., El Barnossi A., Housseini A.I. Biological control of *Alternaria alternata* MW970059 by *Aspergillus nidulans* MW732187 isolated from green household waste // *Journal of Natural Pesticide Research*. – 2025. – Vol. 13. – Art. 100134. – DOI: 10.1016/j.napere.2025.100134.
25. Myo E.M., Ge B., Ma J., Cui H., Liu B., Shi L., Jiang M., Zhang K. Indole-3-acetic acid production by *Streptomyces fradiae* NKZ-259 and its formulation to enhance plant growth // *BMC Microbiology*. – 2019. – Vol. 19, No. 1. – Art. 155. – DOI: 10.1186/s12866-019-1528-1.

26. Ntushelo K., Ledwaba L.K., Rauwane M.E., Adebo O.A., Njobeh P.B. The mode of action of *Bacillus* species against *Fusarium graminearum*: tools for investigation and future prospects // *Toxins*. – 2019. – Vol. 11, No. 10. – Art. 606. – DOI: 10.3390/toxins11100606.

27. Popržen T., Nikolić I., Krstić-Milošević D., Uzelac B., Trifunović-Momčilov M., Marković M., Radulović O. Characterization of the IAA-producing and -degrading *Pseudomonas* strains regulating growth of *Lemna minor* L. // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2023. – Vol. 24, No. 24. – Art. 17207. – DOI: 10.3390/ijms242417207.

28. Sonowal T., Gupta N., Kumar S., Rustagi S., Singh S., Rai A.K., Shreaz S., Negi R., Yadav A.N. Plant growth-promoting rhizobacteria: influence to abiotic stress tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) // *Journal of Applied Biology and Biotechnology*. – 2024. – Vol. 12, No. 5. – P. 41–47. – DOI: 10.7324/JABB.2024.167590.

29. Wang Z., Zhang H., Liu L., Li S., Xie J., Xue X., Jiang Y. Screening of phosphate-solubilizing bacteria and their abilities of phosphorus solubilization and wheat growth promotion // *BMC Microbiology*. – 2022. – Vol. 22, No. 1. – Art. 296. – DOI: 10.1186/s12866-022-02715-7.

**Авторлар туралы мәлімет:**

Батықова Жұлдыз Казбекқызы – PhD студент, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (e-mail: batyqova@gmail.com).

Кистаубаева Аида Сериковна – б.ғ.к., профессор, Биотехнология кафедрасының меңгерушісі, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (e-mail: kistaubayeva.kaznu@gmail.com).

Сәидүллаева Лайла Нуруллаевна – PhD студент, М.Әуезов атындағы ОҚУ (e-mail: leyla-87.87@mail.ru).

Ережетова Улжан – магистр, Қазақ Ұлттық Қыздар Педагогикалық Университеті оқытушысы (e-mail: erezhetkyzu@mail.ru).

Наурызбаева Жадыра Еркиновна – магистр, Қазақ Ұлттық Қыздар Педагогикалық Университеті оқытушысы (e-mail: nauрызbaeva.zadyra86@gmail.com).

Абдулжанова Малика Анварбековна – PhD, Биотехнология кафедрасының аға оқытушысы, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (e-mail: malika\_81\_@mail.ru).

**Information about authors:**

Batykova Zhuldyz Kazbekyzy – PhD student at the Department of Biotechnology, al-Farabi Kazakh National University (e-mail: batyqova@gmail.com).

Kistaubayeva Aida Serikovna – Candidate of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Biotechnology, al-Farabi Kazakh National University (e-mail: kistaubayeva.kaznu@gmail.com).

Saidullaeva Laila Nurullaевна – PhD student, M. Auezov South Kazakhstan University (e-mail: leyla-87.87@mail.ru).

Erezhetova Ulzhan – Master, Teacher of the Kazakh National Women’s Pedagogical University, (e-mail: erezhetkyzu@mail.ru).

Sarsembaeva Aiman Shakanovna – Candidate of Agricultural Sciences, Senior Lecturer of the Biology Department, Kazakh National Women’s Pedagogical University (e-mail: sarsembaeva\_aiman@mail.ru).

Nauрызbaeva Zhadyra Erkinovna – Master, Teacher of the Kazakh National Women’s Pedagogical University (e-mail: nauрызbaeva.zadyra86@gmail.com).

Abdulzhanova Malika Anvarbegovna – PhD, Senior Lecturer of the Department of Biotechnology, Al-Farabi Kazakh National University (e-mail: malika\_81\_@mail.ru).

**Сведения об авторах:**

Батықова Жұлдыз Казбекқызы – докторант кафедрасы биотехнологиясы Қазақстанның ұлттық университеті атындағы әл-Фараби (e-mail: batyqova@gmail.com).

Кистаубаева Аида Сериковна – кандидат биологиялық ғылымдар, профессор, кафедраның меңгерушісі биотехнологиясы Қазақстанның ұлттық университеті атындағы әл-Фараби (e-mail: kistaubayeva.kaznu@gmail.com).

Сәидүллаева Лайла Нуруллаевна – докторант Южно-Қазақстанның ұлттық университеті атындағы М. Әуезов (e-mail: leyla-87.87@mail.ru).

Ережетова Улжан – магистр, профессор, Қазақстанның ұлттық әйелдер педагогикалық университеті (e-mail: erezhetkyzu@mail.ru).

Сарсембаева Айман Шақановна – кандидат сәуіршілік ғылымдар, сәуіршілік-лектор кафедрасы биологиясы Қазақстанның ұлттық әйелдер педагогикалық университеті (e-mail: sarsembaeva\_aiman@mail.ru).

Наурызбаева Жадыра Еркиновна – магистр, профессор, Қазақстанның ұлттық әйелдер педагогикалық университеті (e-mail: nauрызbaeva.zadyra86@gmail.com).

Абдулжанова Малика Анварбековна – PhD, сәуіршілік профессор кафедрасы биотехнологиясы Қазақстанның ұлттық әйелдер педагогикалық университеті атындағы әл-Фараби (e-mail: malika\_81\_@mail.ru).

Поступила 17 сентября 2025 года

Принята 25 декабря 2025 года