

А.С. Кистаубаева¹ , Л.Н. Сайдуллаева² ,
Ж.К. Батықова¹ , А.А. Мамирова¹ , Ү.Қ. Аханов² 

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

²КЕАҚ М. Әуезов атындағы Оңтүстік-Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

*e-mail: leyla-87.87@mail.ru

СОЯ РИЗОСФЕРАСЫНАН БӨЛІНГЕН РИЗОБАКТЕРИЯЛАРДЫҢ ФЕРМЕНТАТИВТІК ҚАСИЕТТЕРІ МЕН ӨСУІН ҮНТАЛАНДЫРУ ПОТЕНЦИАЛЫ

Бұл жұмыста Алматы облысында өсірілген «Жансая» соя сортының ризосферасынан фосфаттарды еріткіштік қабілетке ие ризобактерияларды бөліп алу және олардың қасиеттерін сипаттау нәтижелері ұсынылды. Барлығы он бактериалды изолят алынды, олардың үшеуі грамтеріс және жетеуі грамоң микроорганизмдерге жатқызылды. Изоляттардың фосфатты еріту қабілеті және ферментативтік белсенділігі бағаланды. Төрт изолят айқын фосфатсолюбилизациялау белсенділігін көрсетті, олардың ішінде ең жоғары еріту индексі SJ3 ($0,93 \pm 0,11$), SJ5 ($0,79 \pm 0,012$), SJ9 ($0,49 \pm 0,01$) және SJ10 ($0,49 \pm 0,01$) штамдарында анықталды. Протеазалық белсенділік SJ3 ($2,6 \pm 0,26$), SJ5 ($2,73 \pm 0,25$) және SJ9 ($2,83 \pm 0,29$) изоляттарында жоғары болды; амилазалық белсенділік SJ3 ($2,6 \pm 0,45$), SJ9 ($2,5 \pm 0,17$) және SJ10 ($2,65 \pm 0,15$) штамдарында белгіленді. Ең жоғары целлюлазалық белсенділік SJ3 ($2,83 \pm 0,26$) және SJ10 ($2,8 \pm 0,22$) изоляттарында байқалды, ал липазалық белсенділік анықталмады.

Сонымен қатар бөлінген бактериялар цитратты пайдалануға және көмірсуларды ферменттеуге қабілетті екендігі көрсетілді: төрт изоляттың үшеуі глюкозаны ферменттеді, олардың біреуі газ түзді. Алынған нәтижелер ферментативтік белсенділіктің ризобактериялардың антагонистік потенциалында маңызды рөл атқаратынын дәлелдейді, ол фитопатогендердің жасуша қабырғасын бұзып, олардың өсуін тежейді және өсімдіктердің ауруларға төзімділігін арттырады. Бөлінген штамдар соя өнімділігін арттыруға бағытталған биопрепараттар ретінде әрі қарай зерттеуге перспективалы болып табылады.

Түйін сөздер: ризобактерия, соя, ферментативтік белсенділік, амилаза, протеаза, целлюлаза, фосфатты солюбилизация.

A.S. Kistaubayeva¹, L.N. Saidullayeva^{2*},
Zh.K. Batykova¹, A.A. Mamirova¹, U.K. Akhanov²

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

*e-mail: leyla-87.87@mail.ru

Enzymatic Properties and Plant Growth-Promoting Potential of Soybean Rhizobacteria

This study presents the results of isolation and characterization of rhizobacteria with phosphate-solubilizing ability from the rhizosphere of the soybean cultivar Zhansaya grown in the Almaty region. A total of ten bacterial isolates were obtained, of which three were identified as Gram-negative and seven as Gram-positive microorganisms. Their phosphate-solubilizing capacity and enzymatic activities were evaluated. Four isolates exhibited pronounced phosphate-solubilizing potential, with the highest solubilization index values recorded for strains SJ3 (0.93 ± 0.11), SJ5 (0.79 ± 0.012), SJ9 (0.49 ± 0.01), and SJ10 (0.49 ± 0.01). Among these isolates, high protease activity was observed in SJ3 (2.6 ± 0.26), SJ5 (2.73 ± 0.25), and SJ9 (2.83 ± 0.29), while amylase activity was detected in SJ3 (2.6 ± 0.45), SJ9 (2.5 ± 0.17), and SJ10 (2.65 ± 0.15). The strongest cellulase activity was observed in SJ3 (2.83 ± 0.26) and SJ10 (2.8 ± 0.22), whereas lipase activity was not detected in any of the isolates.

Additionally, the isolates demonstrated the ability to utilize citrate and ferment carbohydrates: three of the four isolates fermented glucose, and one of them produced gas during fermentation. The results indicate that the enzymatic activity of rhizobacteria plays a key role in their antagonistic potential, contributing to the degradation of phytopathogen cell wall structures, suppression of their growth, and enhancement of plant resistance to diseases. The selected strains represent promising candidates for

further development as agronomically valuable bioagents that promote sustainable growth and increase soybean productivity.

Keywords: rhizobacteria; soybean; enzymatic activity; amylase; protease; cellulase; phosphate solubilization.

А.С. Кистаубаева¹, А.Н. Сайдуллаева^{2*},
Ж.К. Батыкова¹, А.А. Мамирова¹, У.К. Аханов²

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

²НАО «Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова», Шымкент, Казахстан

*e-mail: leyla-87.87@mail.ru

Ферментативные свойства и ростстимулирующий потенциал ризобактерий сои

В данной работе представлены результаты выделения и характеристики ризобактерий, обладающих способностью к солиubilизации фосфатов, из ризосферы соевого сорта «Жансая», выращенного в Алматинской области. Всего было получено десять бактериальных изолятов, среди которых 3 были отнесены к грамотрицательным и 7 к грамположительным микроорганизмам. Оценены их способности к фосфатной солиubilизации и ферментативная активность. Четыре изолята проявили выраженную фосфатсолиubilизирующую активность, причём наивысшие значения индекса солиubilизации отмечены у штаммов SJ3 ($0,93 \pm 0,11$), SJ5 ($0,79 \pm 0,012$), SJ9 ($0,49 \pm 0,01$) и SJ10 ($0,49 \pm 0,01$). Среди них высокую протеазную активность показали SJ3 ($2,6 \pm 0,26$), SJ5 ($2,73 \pm 0,25$) и SJ9 ($2,83 \pm 0,29$), амилазную – SJ3 ($2,6 \pm 0,45$), SJ9 ($2,5 \pm 0,17$) и SJ10 ($2,65 \pm 0,15$). Наиболее выраженная целлюлазная активность зарегистрирована у SJ3 ($2,83 \pm 0,26$) и SJ10 ($2,8 \pm 0,22$), в то время как липазная активность у всех изолятов не выявлена.

Дополнительно показано, что выделенные бактерии способны усваивать цитрат и ферментировать углеводы: три из четырёх изолятов ферментировали глюкозу, один – с образованием газа. Полученные результаты подтверждают, что ферментативная активность ризобактерий является важным фактором их антагонистического потенциала, способствуя разрушению структур клеточных стенок фитопатогенов, ингибированию их роста и повышению устойчивости растений к заболеваниям. Выделенные штаммы представляют интерес для дальнейшего изучения в качестве потенциальных агрономически ценных биоагентов, способствующих устойчивому росту и повышению продуктивности сои.

Ключевые слова: ризобактерии, соя, ферментативная активность, амилаза, протеаза, целлюлаза, фосфатная солиubilизация.

Кіріспе

Соя (*Glycine max* (L.) Merr.) бұршақ тұқымдасына жататын, жоғары тағамдық құндылығы бар маңызды ауылшаруашылық дақылдарының бірі болып табылады. Оның құрамындағы өсімдік тектес ақуыз мөлшері 38–42% аралығында, бұл оны құнды азықтық және малазықтық ресурс ретінде кеңінен пайдалануға мүмкіндік береді. Соған қарамастан, қазіргі уақытта соя өндірісі тұтынушылық сұраныстың тек шамамен 35,1%-ын ғана қамтамасыз етіп отыр. Осыған байланысты соя өнімділігін арттыру аграрлық сектордағы өзекті мәселелердің бірі болып табылады.

Өнімділікті жоғарылатудың дәстүрлі тәсілдерінің бірі химиялық тыңайтқыштарды қолдану болып табылғанымен, олардың құнының жоғары болуы және топырақ экожүйесіне ұзақ мерзімді жағымсыз әсерлері экологиялық қауіпсіз әрі экономикалық тұрғыдан тиімді баламаларды

іздеуді талап етеді. Мұндай баламалардың ішінде өсімдік өсуін стимуляциялайтын ризосфералық бактерияларға негізделген биологиялық тыңайтқыштар ерекше назарға ие. Өсімдіктің өсуін ынталандыратын ризобактериялар (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria, PGPR) өсімдік тамыр аймағында тіршілік етіп, онымен симбиотикалық өзара байланыс қалыптастырады және бірқатар биохимиялық механизмдер арқылы өсімдіктің қоректік заттарды сіңіру тиімділігін арттырады [1–3].

PGPR топырақ құнарлылығын және өсімдік өсуін бірнеше жолмен реттей алады: азот фиксациялау, фосфаттарды еріту, фитогормондар (индолсірке қышқылы, цитокининдер, гиббереллиндер) синтездеу, ауыр металдарды бейтараптау, органикалық заттардың минералдануын жеделдету және фитопатогендердің дамуын тежеу [4–7]. Солардың ішінде фосфат солиubilиздеуші бактериялар ерекше маңызға ие. Топырақтағы фосфор көбінесе өсімдіктерге қолжетімсіз ми-

нералды формада кездеседі. Фосфат солюбилиздеуші бактериялар органикалық қышқылдар мен ферменттер бөліп шығару арқылы фосфорды өсімдіктер оңай сіңіретін ерігіш түрге айналдырады, нәтижесінде өсімдіктердің қоректену жағдайлары жақсарады және өнімділік артады [8–10].

PGPR қолдану тұқымның өнуін жақсартатыны, тамыр жүйесінің дамуын күшейтетіні және өсімдіктің бастапқы өсу қарқынын жеделдететіні анықталған, бұл ақыр соңында сояның өнімділігін арттыруға әкеледі [11]. Тұрақты ауыл шаруашылығына көшу барысында өсімдіктердің биотикалық және абиотикалық стресс факторларына төзімділігін күшейту үшін топырақ микробиотасының әлеуетін қолдану негізгі бағыттардың бірі болып табылады [12,13].

Ризобактериялардың агрономиялық тиімділігінің маңызды аспектілерінің бірі олардың гидролитикалық ферменттер (амилаза, протеаза, целлюлаза, пектиназа, хитиназа және т.б.) синтездеу қабілеті болып табылады [14,15]. Бұл ферменттер органикалық заттарды минералдандыруды жеделдетіп қана қоймай, өсімдіктердің фитопатогендерге қарсы қорғаныс реакцияларын күшейтеді [16–18]. Мысалы, целлюлаза мен протеаза патогендердің жасуша қабырғаларының құрылымын бұзып, олардың өсуін тежейді, ал амилаза топырақтағы көмірсулар айналымына әсер ете отырып, өсімдіктердің қоректік заттарды сіңіруін оңтайландырады [17–21].

Осылайша, PGPR-дың фосфатты солюбилизациялау қабілеті және ферментативтік белсенділігі соя өсімдігінің тұрақты өсуі мен өнімділігін арттыруда шешуші рөл атқарады. Бұл бағытта жаңа перспективалы штамдарды бөліп алу және олардың агробиотехнологиялық әлеуетін бағалау қазіргі ауыл шаруашылығы үшін ерекше маңызды.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Алматы облысында орналасқан «Қазақ егіншілік және өсімдік шаруашылығы Ғылыми зерттеу институтында» өсірілетін «Жансая» соя сортының үлгілері алынды. Өсімдіктер тамырымен қазылып, топырақ қалдықтары тазаланған соң, үлгілер стерильді контейнерге орналастырып, зертханаға жеткізілді.

2.1 Ризосфералық бактерияларды бөліп алу. Сояның ризосферасынан микроорганизмдер келесі әдіспен бөлінді. 10 гр топырақ үлгісі алынып, стерильді ыдысқа салынды, оған 90 мл физиологиялық ерітінді (0,85% NaCl) қосылды.

Микроорганизмдерді бөліп алу үшін, суспензияны шейкерде 30 минут бойы, 150-200 айн/мин жылдамдықпен араластырды. Алынған суспензияның 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} сериялық сұйылтулар физиологиялық ерітіндіні қолдана отырып дайындалды. Әрбір сұйылтудан 0,1 мл алынып, стерильді шпательдің көмегімен Петри табақшаларындағы LB (Лурия Бергани) (Himedia, India) агар бетіне біркелкі таралды. Петри табақшалары 28°C температурада 5-7 күн бойы инкубацияланды, инкубация кезеңінде колониялардың өсу динамикасы бақыланды.

Қолданылған LB (Лурия Бергани) агар қоректік ортаның құрамы:

- Триптон: 10 г
- Ашытқы экстракті: 5 г
- NaCl (натрий хлориді): 10 г
- Агар: 15 г
- Дистилденген су: 1 литрге дейін

2.2 Морфологиялық сипаттама және Грам бойынша анықтау. Изоляттардың морфологиялық сипаттамалары, соның ішінде колониялардың пигменті, пішіні, жиектері және биіктігі зерттелді. Пигменттердің түзілуі LB агарында 37°C температурада 24–48 сағаттан кейін бақыланды. Изоляттардың жасуша қабырғаларының құрамы Грам бояу әдісі арқылы анықталды. Грам бойынша бояу процедурасында кристалды күлгін, Грам йод, спирт/ацетон түссіздендіргіш реагенттер және сафранин қолданылды. Алынған нәтижелер негізінде изоляттардың биохимиялық қасиеттері сипатталды [22].

2.3 Фосфатты солюбилизациялау қабілетін зерттеу. Фосфатты солюбилизациялаудың сапалық талдау Пиковская қоректік ортасында жүргізілді, яғни оған трикальцийфосфат $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ қосылды [23]. Бактериялық изоляттардың фосфатты солюбилизациялау қабілеті сапалық және сандық тұрғыдан бағаланады. Изоляттар Пиковская қоректік ортасында $28 \pm 2^\circ\text{C}$ температурада 6-7 тәулік бойы инкубацияланды. Бактериялық колониялардың айналасында айқын аймақтың пайда болуы изоляттың фосфатты солюбилизациялау қабілетін растайды. Инкубациядан кейін изоляттардың фосфатты солюбилизациялау қабілеті ерігіштік индексі (SI) анықтау арқылы бағаланды, ол келесі формула бойынша есептелді [24]:

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

мұндағы d – диаметр.

2.4 Ферменттік белсенділікті анықтау әдістемесі. Анықталған ризосфералық бакте-

риялық изоляттардың крахмалды, целлюлазаны, амилазаны және липазаны гидролиздейтін ферменттерді өндіру қабілеті сәйкес субстратты қамтитын қатты қоректік ортаға изоляттарды егу арқылы зерттелді. Инкубациядан кейін, егер фермент субстратты ыдыратса, колониялардың айналасында түзілген аймақ оның белсенділігін көрсетті [25].

Ферментативтік индекс (EI) келесі формула бойынша есептелді:

$$EI = \frac{\text{фермент аймағының диаметрі}}{\text{колонияның диаметрі}} \quad (2)$$

Изоляттар фермент өндіруге қабілетіне қарай келесі топтарға бөлінді: фермент синтездей алмайтын ($EI = 0$), төмен деңгейде фермент синтездей алатындар ($0 < EI \leq 2$), орташа деңгейде фермент синтездей алатындар ($2 < EI \leq 4$) және жоғары деңгейде фермент синтездей алатындар ($EI > 4$) [26].

2.5 Протеазалық белсенділікті зерттеу әдістемесі. Изоляттардың протеаза ферментін өндіру қабілетін зерттеу үшін майсыздандырылған сүт агары (SMA) (Himedia, India) бар стерильді Петри табақшаларына нүктелік әдіспен егу жүргізілді. Изоляттар $28 \pm 2^\circ\text{C}$ температурада 48 сағат бойы инкубацияланды. Инкубациядан кейін бактерия колонияларының айналасындағы мөлдір аймақтың пайда болуы протеазалық белсенділіктің болуын көрсетті, яғни субстрат протеаза ферменттері арқылы ыдырағанын дәлелдеді [27].

2.6 Амилазалық белсенділікті зерттеу әдістемесі. Бактериялық изоляттар крахмал агарына (сиыр етінің экстракты – 3,0 г, пептон – 5,0 г, ерігіш крахмал – 2,0 г, агар – 15,0 г, дистилденген су – 1 л) Петри табақшаларына нүктелік әдіспен егілді және 30°C температурада 48 сағат бойы инкубацияланды. Инкубация аяқталғаннан кейін Петри табақшаларына 1% йод ерітіндісін құйып (300 мл дистилденген суға 2,0 г KI және 1,0 г йод), бір минут ұсталып, содан кейін ерітінді төгілді. Йод крахмалмен әрекеттесіп, көк түсті қосылыс түзеді. Демек, колониялардың айналасындағы түссіз аймақтың пайда болуы амилаза ферментінің белсенділігін көрсетеді [28].

2.7 Целлюлазалық белсенділікті зерттеу әдістемесі. **Ризосфералық** бактериялық изоляттар карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ) көміртегі көзі ретінде қолданылған, NaNO_3 , K_2HPO_4 , KCl , MgSO_4 , FeSO_4 , ашытқы экстракты және агар қамтитын қатты қоректік ортаға нүктелік әдіспен егілді [29]. Петри табақшалар 28°C тем-

пературада 48 сағат бойы инкубацияланды. Инкубациядан кейін жасушадан тыс целлюлазалық белсенділікті 1% йод ерітіндісі (300 мл дистилденген суда 2,0 г KI және 1,0 г йод) қосылып, 3-5 минут ұсталды, содан кейін ерітінді төгілді. Нәтижесінде колониялардың айналасында түзілген мөлдір аймақ целлюлозаның гидролизделгенін көрсетіп, фермент белсенділігін сапалық түрде дәлелдеді [30].

2.8 Липазалық белсенділікті зерттеу әдістемесі. Липаза ферментінің белсенділігін бағалау үшін изоляттар жұмыртқаның сарысы агары (EYA) (Himedia, India) бар ортаға нүктелік әдіспен егілді және $30 \pm 2^\circ\text{C}$ температурада 2 күн бойы инкубацияланды. Содан кейін Петри табақшаларына қаныққан мыс сульфатының (CuSO_4) ерітіндісімен 10-15 минут өңделіп, артық реагент төгілді [30]. Липазалық белсенділігі бар колониялардың айналасында жасыл-көк түсті аймақ пайда болып, оң нәтиже көрсетті.

2.9 Цитраттың сіңірілуін анықтау әдістемесі. Ризобактериялардың көміртекті энергия көзі ретінде пайдалану қабілетін анықтау мақсатында олар Симмонс цитрат-агар (SCA) (Himedia, India) қоректік ортасында өсірілді. Қоректік ортаның құрамы: 0,2 г натрий цитраты, 0,02 г MgSO_4 , 0,5 г NaCl , 0,1 г аммоний дигидрофосфаты, 0,005 г бромтимол көгі, 100 мл дистилденген су, 4 г агар; pH 6,9 және $28 \pm 2^\circ\text{C}$ температурада 24 сағат бойы инкубацияланды. Цитраттың сіңірілуінің оң нәтижесі қоректік ортаның түсінің 24 сағат ішінде жасылдан көк түске өзгеруі арқылы анықталды, бұл ризобактериялардың цитратты пайдалану қабілетін растайды [31].

2.10 Көмірсулардың ферментациясын анықтау әдісі. Бактериялық изоляттардың көмірсуларды ферменттеу қабілеті үш қантты-темірлі агарда (TSIA) (Himedia, India) өсіру арқылы бағаланды. Бактерия штаммдары $30 \pm 2^\circ\text{C}$ температурада 24 сағат бойы инкубацияланды. Қоректік ортаның беті мен түбінің сарғаюы бактериялардың декстрозаны, лактозаны және сахарозаны ферменттегенін көрсетті. Өсіру ортасының pH мәні ризобактериялардың ферментациялық белсенділігіне әсер етті. Пробирканың түбі сары, ал көлбеу беті қызыл болған жағдайда тек декстрозаның ыдырауы байқалды. Қоректік ортаның қараюы күкіртті сутегінің (H_2S) түзілуін, ал ортаның ыдырауы немесе көтеріліп кетуі газ түзілуін көрсетті [32].

2.11 Статистикалық өңдеу. Барлық тәжірибелер үш қайталымда жүргізілді.

$$SE = \frac{SD}{\sqrt{n}} \quad \text{және} \quad n = 3$$

Алынған нәтижелер **Microsoft Excel 2021** бағдарламасында өңделіп, мәліметтер орташа мән (М) және стандартты қателік ($\pm SE$) түрінде көрсетілді. Айырмашылықтар $p < 0,05$ деңгейінде сенімді деп есептелді [33].

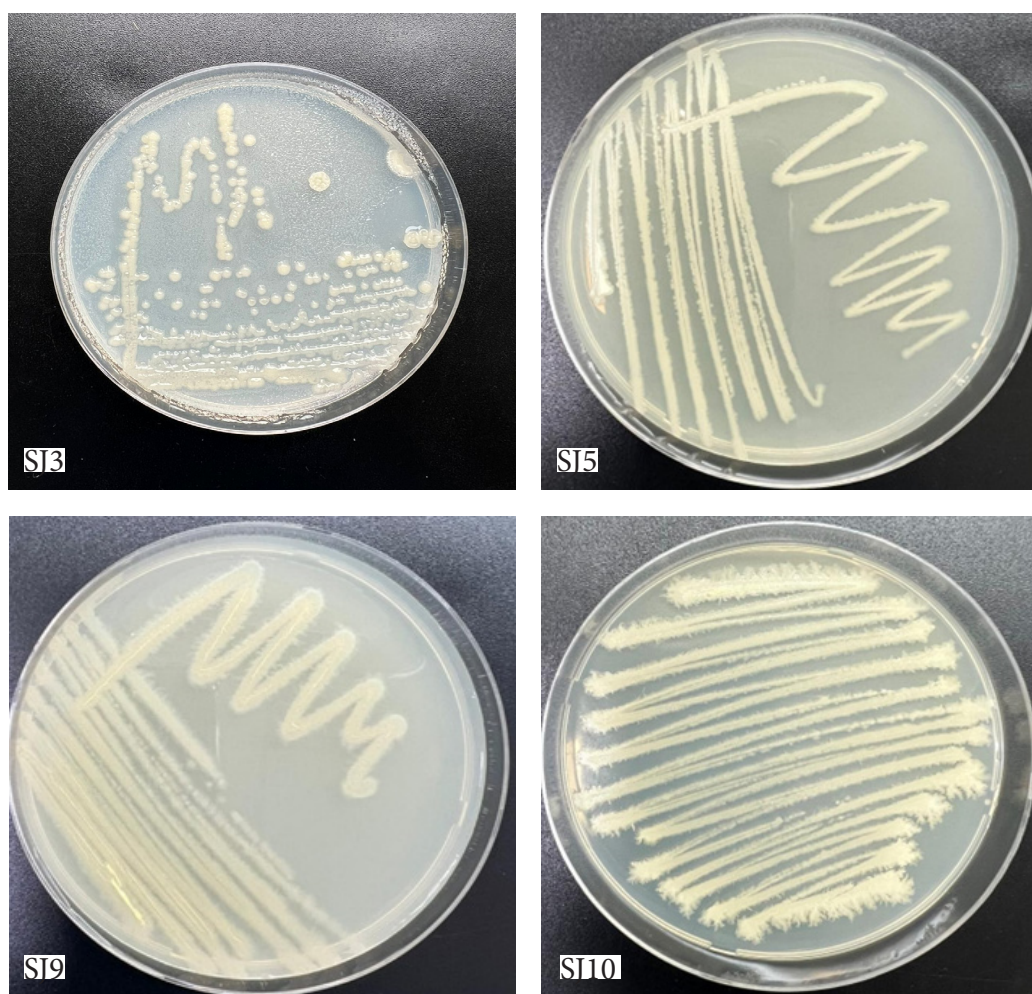
Зерттеу нәтижелері және оларды талдаулар

Алматы облысында өсірілген соя өсімдігінің ризосфералық аймағынан жалпы он окшауланған бактериалды изолят бөлініп алынды. Бактериялардың LB агарлы ортада өскен колониялары түсі, формасы, жиегі мен беткі құрылымы бойынша бір-бірінен ерекшеленді (1-кесте). Әр-

бір бөлініп алынған изоляттың морфологиялық және өсу ерекшеліктері егжей-тегжейлі зерттелді (1-сурет).

Жалпы алынған он изоляттың **үшеуі грам теріс**, ал **жетеуі грам оң** бактериялар тобына жататыны анықталды.

1-суретте зерттеу барысында бөлініп алынған ризосфералық бактериялардың таза дақылдары көрсетілген. Әрбір изолят жеке қоректік ортада өсіріліп, морфологиялық біркелкілікке қол жеткізу мақсатында бірнеше рет қайта егіліп тазартылды. Пластинкаларда өсірілген штамдардың колониялары түсі, пішіні, шеті мен беткі құрылымы бойынша бір-бірінен ерекшеленетіні көрінеді. Бұл морфологиялық айырмашылықтар изоляттардың таксономиялық алуан түрлілігін көрсетіп, олардың әртүрлі бактериялық топтарға жататынын дәлелдейді.



1-сурет – Бөлініп алынған изоляттардың таза штамдары

1-кесте – Оқшауланған бактериялық изоляттардың морфологиялық сипаттамасы

Изолят тар	Оптикалық қасиеті	Пішіні	Жиегі	Құрылымы	Колония түсі	Өсу деңгейі	Консистенциясы
SJ1	мөлдір емес	шеңбер	тұтас	Тегіс	ашық қызғылт сары	дөңес	шырышты
SJ2	мөлдір емес	біркелкі емес	жіп тәрізді	Тегіс	Ақшыл	жалпақ	кілегейлі
SJ3	мөлдір	шеңбер	тұтас	Тегіс	Ақшыл	дөңес	майлы құрылымды
SJ4	мөлдір емес	тұрақты	тұтас	Тегіс	қызғылт сары	жалпақ	беті жабысқақ
SJ5	мөлдір емес	біркелкі емес	жіп тәрізді	Тегіс	Ақшыл	жалпақ	шырышты
SJ6	мөлдір емес	шеңбер	тұтас	жабысқақ	ашық сары	дөңес	кілегейлі
SJ7	мөлдір емес	біркелкі емес	жіп тәрізді	Тегіс	Ақшыл	жалпақ	шырышты
SJ8	мөлдір	шеңбер	толқын тәрізді	желімді	Ақ	дөңес	майлы құрылымды
SJ9	мөлдір емес	біркелкі емес	жіп тәрізді	жабысқақ	ақшыл сары	жалпақ	кілегейлі
SJ10	мөлдір емес	біркелкі емес	жіп тәрізді	Тегіс	Ақшыл	жалпақ	кілегейлі

1-кестеде әрбір оқшауланған изоляттың колония морфологиясына тән негізгі белгілері салыстырмалы түрде берілген. Изоляттар оптикалық қасиеті (мөлдір немесе мөлдір емес), пішіні (шеңбер немесе жіп тәрізді), колония жиегінің сипаты (тұтас, толқынды), беткі құрылымы (тегіс, желімді, жабысқақ), түсі, өсу деңгейі (дөңес, жалпақ, ортасы көтеріңкі) және консистенциясы (шырышты, кілегейлі, майлы) бойынша айырмашылықтарға ие.

Аталған морфологиялық сипаттамалар бактерияларды бастапқы фенотиптік идентификациялауда маңызды рөл атқарады. Мәселен, SJ1, SJ4 және SJ6 изоляттары қызғылт-сары түске ие болса, SJ3 және SJ8 майлы құрылымды, мөлдір колония түзіледі. Ал SJ2, SJ5, SJ7, SJ9 және SJ10 изоляттары жіп тәрізді немесе біркелкі емес пі-

шінді, кілегейлі немесе шырышты колониялар түзіп, олардың экзополисахарид синтездеу қабілеті болуы мүмкін екенін көрсетеді.

Жалпы, алынған морфологиялық деректер бактериялардың табиғи әртүрлілігін айқындап, олардың физиологиялық және биотехнологиялық қасиеттерін әрі қарай зерттеу үшін негіз бола алады.

3.1 Фосфатты солюбилизациялау қабілетін зерттеу

Фосфатты ерітетін аймақ өлшемдерін және ерігіштік индексын (Solubilization Index, SI) көрсетеді. SI мәні бактериялардың ерімейтін минералды фосфатты өсімдікке қолжетімді еритін формаға айналдыру тиімділігін сипаттайтын негізгі көрсеткіш болып табылады [34].

2-кесте – Оқшауланған изоляттардың фосфатты еріту зоналарының диаметрі және ерігіштік индексі (SI)

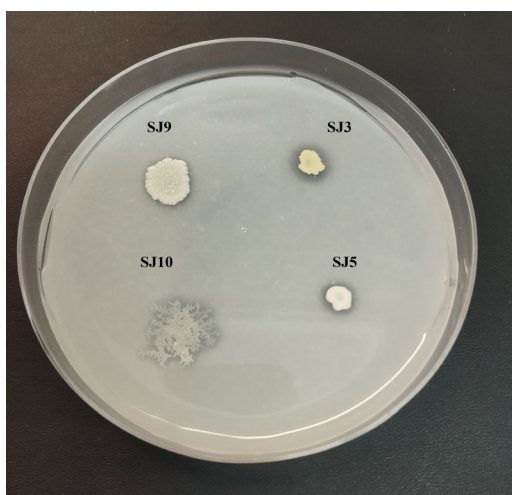
Изолят	Аймақ (мм) ± SE	Индекс (SI) ± SE	Белсенділік деңгейі
SJ3	10 ± 0,29	0,93 ± 0,06	Жоғары
SJ5	8 ± 0,23	0,79 ± 0,007	Орташа
SJ9	5 ± 0,17	0,49 ± 0,006	Төмен
SJ10	5 ± 0,17	0,49 ± 0,006	Төмен

Ескерту: Барлық тәжірибелер үш қайталымда жүргізілді. Нәтижелер орташа мән (M) ± стандартты қателік (SE) түрінде көрсетілген.

SJ3 ең жоғары фосфат солюбилизациялау индексіне ие, бұл штаммның топырақтағы фосформен қамтамасыз ету тиімділігі жоғары екенін көрсетеді. Мұндай штаммдар биологиялық тыңайтқыштардың негізгі компоненті ретінде құнды.

SJ5 орташа деңгейлі белсенділік көрсетеді, ол да агротехнологияға қолдануға жарамды.

SJ9 және SJ10 белсенділігі төмен, бірақ комбинирленген микробиалды консорциум құрамында олар да экологиялық тепе-теңдікті сақтау немесе қосымша ферментативтік әсерлер арқылы маңызға ие болуы мүмкін.



2-сурет – Бактериялардың фосфатты солюбилизациялау белсенділігі

2-сурет, соя ризосферасынан оқшауланған бактериялардың фосфатты солюбилизациялау қабілетін көрсетеді. Пиковская агарлы ортасында (PVK-agar) фосфатты еріту белсенділігі

колонияның айналасында пайда болған мөлдір аймақтың диаметрі бойынша бағаланды. Мөлдір аймақтың болуы бактериялардың ортаның рН-ын төмендететін органикалық қышқылдар түзе отырып, ерімейтін фосфат қосылыстарын өсімдікке қолжетімді формаға айналдыру қабілетін білдіреді. Суреттен көрініп тұрғандай, төрт изолят (SJ3, SJ5, SJ9 және SJ10) айқын солюбилизация аймағын түзді, бұл олардың фосфатты ерітуші бактериялар қатарына жататынын дәлелдейді. Әсіресе SJ3 изолятында зона аймағының ең үлкен болуы (10 мм) осы штаммның жоғары белсенділігін көрсетеді және оның агрономиялық тұрғыдан әлеуеті зор екендігін айқындайды [31-32].

Фосфатты солюбилизациялау белсенділігінің жоғары болуы әдетте бактериялардың органикалық қышқылдар (мысалы, глюкон қышқылы, сүт қышқылы, фумар қышқылы) түзе алу қабілетімен, сондай-ақ сыртқы орта рН-ын төмендету функциясымен байланысты. Сондықтан SJ3 және SJ5 штамдары фосфор тапшылығы бар топырақтарда өсімдіктердің минералдық қоректенуін жақсарту үшін перспективалы биологиялық агенттер болып табылады. Бұл штаммдардың қолданылуы химиялық фосфор тыңайтқыштарын ішінара алмастыра отырып, экологиялық тұрақты ауыл шаруашылығына көшуге мүмкіндік береді [30].

3.2 Протеазалық белсенділікті анықтау. Майсыздандырылған сүт агарында жүргізілген тәжірибеде протеазалық белсенділік 10 изолятың 9-ында анықталды. Бұл нәтиже ризосфералық бактериялар арасында протеаза секрециясының айтарлықтай вариабелділігі болатынын растайды. Ферментативтік индекс (EI) мәндеріне сүйене отырып, изоляттар белсенділік деңгейі бойынша топтастырыл (Кесте 3).

3-кесте – Протеаза, амилаза және целлюлазалық белсенділікті бағалауға арналған ферментативтік индекс (EI)

Изолят	Протеаза (M ± SE)	Амилаза (M ± SE)	Целлюлаза (M ± SE)
SJ1	2.43 ± 0.23	0 ± 0	0 ± 0
SJ2	0 ± 0	0 ± 0	2.07 ± 0.03
SJ3	2.60 ± 0.15	2.60 ± 0.31	2.83 ± 0.17
SJ4	2.00 ± 0.00	1.88 ± 0.32	2.40 ± 0.31
SJ5	2.73 ± 0.15	2.37 ± 0.19	2.27 ± 0.37
SJ6	2.53 ± 0.26	2.30 ± 0.17	0 ± 0
SJ7	1.97 ± 0.09	1.97 ± 0.26	2.17 ± 0.17

Изолят	Протеаза (M ± SE)	Амилаза (M ± SE)	Целлюлаза (M ± SE)
SJ8	2.43 ± 0.30	2.32 ± 0.20	1.93 ± 0.09
SJ9	2.83 ± 0.17	2.50 ± 0.10	0 ± 0
SJ10	1.23 ± 0.15	2.65 ± 0.09	2.80 ± 0.15

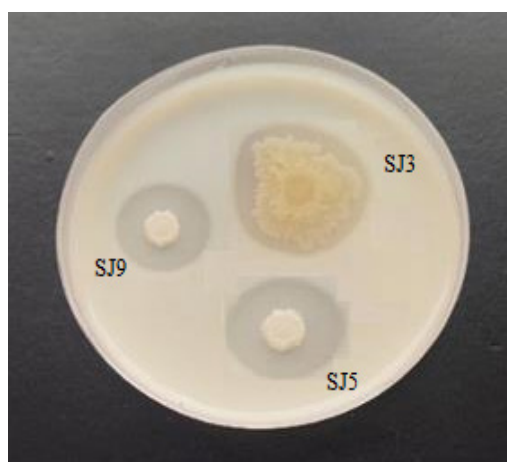
Ескерту: Барлық тәжірибелер үш қайталымда жүргізілді. Нәтижелер орташа мән (M) ± стандартты қателік (SE) түрінде көрсетілген. $p < 0,05$.

Жоғары белсенділік ($EI > 2$): SJ3 ($2,60 \pm 0,15$), SJ5 ($2,73 \pm 0,15$), SJ6 ($2,53 \pm 0,26$), SJ8 ($2,43 \pm 0,30$), SJ1 ($2,43 \pm 0,30$) және SJ9 ($2,83 \pm 0,17$).

Әсіресе SJ9 және SJ5 барлық қайталымдарда тұрақты жоғары мәндер көрсетіп, органикалық азотты минералдандыру және фитопатогендерге қарсы биобақылау механизмдеріне белсенді қатыса алатын перспективалы штаммдар болып табылады.

Орташа белсенділік ($1 \leq EI \leq 2$): SJ7 ($1,97 \pm 0,26$) және SJ4 ($\approx 2,0$), бұл штаммдардың фермент түзу қабілеті функционалды, бірақ салыстырмалы түрде төмен екенін көрсетеді.

Белсенділік байқалмаған: бір изолятта протеаза секрециясы анықталмады, бұл фермент экспрессиясының реттелу ерекшеліктерімен немесе орта компоненттерінің әсерімен байланысты болуы мүмкін.



3-сурет – Изоляттардың протеазалық белсенділік профилі

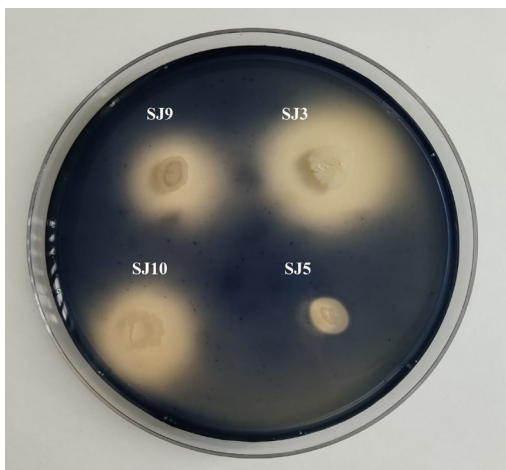
Протеаза ферменттері топырақтағы ақуызды заттарды аминқышқылдарына дейін ыдыратып, өсімдік үшін қолжетімді азот қорын арттырады, сонымен бірге кейбір фитопатогендердің жасуша қабырғаларын бұза отырып антагонистік әсер көрсетеді. Осы тұрғыда SJ9, SJ5 және SJ3 изоляттары экологиялық тиімді биотыңайтқыштар мен биоконтроль агенттерін әзірлеу үшін негізгі кандидаттар болып табылады (Сурет 3).

3.3 Амилазалық белсенділікті анықтау.

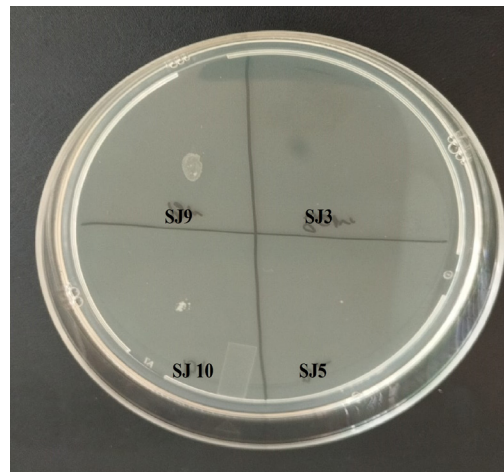
Амилазалар крахмал және басқа полисахаридтерді глюкоза және мальтоза сияқты өсімдік үшін қолжетімді энергия көзіне айналдырады және ризосферада көміртек айналымын жақсартады. Тұқым өну кезеңінде өсімдік өзінде жиналған крахмалды пайдаланады [29].

Амилазаны бөлетін бактериялар бұл процессті жеделдетіп, тамыр жүйесінің жылдам қалыптасуына ықпал етеді. Амилазалық белсенділік PGPR-дың өсімдікті қоректік заттармен қамтамасыз ету және стресс жағдайына төзімділігін арттыру қабілетінің маңызды индикаторы болып саналатындықтан келесі зерттеулер бөлініп алынған 10 изоляттың амилазикалық белсенділігі крахмалды агар ортасында бағаланды. SJ3, SJ4, SJ5, SJ6, SJ7, SJ8, SJ9 және SJ10 изоляттары бактериалды культура айналасында айқын мөлдір аймақтар көрсетті, бұл олардың крахмалды гидролиздеуде жоғары белсенділікке ие екенін көрсетеді.

3-кесте нәтижелерінен көрініп тұрғандай, екі изолят амилазаны бөле алмады. EI мәні $0 < EI \leq 4$ болатын изоляттар амилазикалық белсенділіктің төмен немесе орташа деңгейін көрсетті. Ал $EI = 2,5$ мәніне ие SJ3, SJ9 және SJ10 изоляттары жоғары ферментативтік потенциалға ие екенін көрсетті (4-сурет).



4-сурет – Крахмалды агарда амилазалық белсенділікті анықтау нәтижелері



5-сурет – Изоляттардың липазалық белсенділігін анықтау нәтижелері

Крахмалды агарда жүргізілген тәжірибеде 10 изоляттың 8-і айқын амилазалық белсенділік көрсетті, ал екі изолят белсенділік танытпады. Йод ерітіндісімен өңделгеннен кейін колония маңындағы ашық аймақтар крахмалдың ыдырауын көрсетті.

Орташа белсенділік көрсеткен изоляттар SJ5, SJ8, SJ6, SJ7 және SJ4 EI мәндерінің тұрақты болса да, салыстырмалы түрде төмен деңгейін көрсетті (1,88–2,37 аралығында). Бұл штаммдарда фермент секрециясы бар, бірақ ол қоректік ортаға немесе индукция шарттарына тәуелді болуы мүмкін. Екі изолятта амилаза бөлінбеген сол себептен белсенділік байқалмаған. Амилазалар органикалық қалдықтардың минералдануына қатыса отырып, өсімдіктердің энергетикалық және метаболикалық процестеріне маңызды көмірсуларды қолжетімді етеді.

Сондықтан SJ10, SJ3 және SJ9 изоляттары жоғары ферментативтік потенциалы бар PGPR ретінде ерекше құнды изолят деп қарастыруға мүмкіндік беретіндігі анықталды.

3.4 Липазалық белсенділікті анықтау.

Липазалық белсенділікті анықтау ризобактериялардың органикалық заттардың минералдануына, өсімдіктердің қоректік заттармен қамтамасыз етілуіне және фитопатогендерге қарсы қорғаныс механизмдерін күшейтуге қатысу әлеуетін бағалауға мүмкіндік береді [28-29]. Сондықтан липазаны өндіретін бактериялар биотыңайтқыштар мен биоконтроль агенттерін әзірлеуде маңызды биотехнологиялық құндылыққа ие. Осы ретте, оқшауланған 10 изоляттың липаза ферментінің белсенділігі бағаланды.

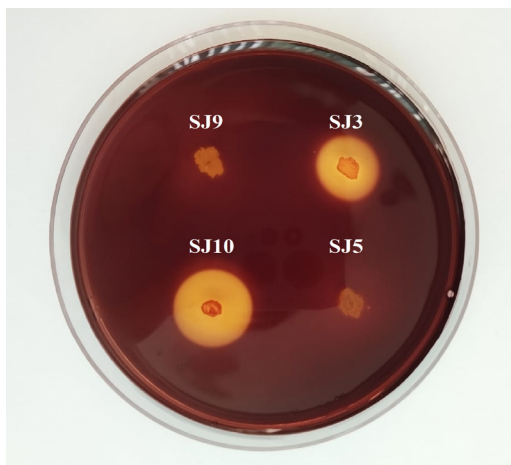
Зерттеу нәтижесінде колониялардың айналасында липазалық белсенділікті көрсететін мөлдір аймақ байқалмады, яғни барлық изоляттар теріс нәтиже көрсетті (Сурет 5). Бұл зерттелген бактериялардың липаза ферментін бөліп шығармағанын көрсеткіші, яғни зерттелген изоляттар көмірсу немесе ақуыз тектес органикалық қосылыстарды ыдыратуға бейім екенін көрсетеді.

Липазаның болмауы изоляттардың агрономиялық құндылығын төмендетпейді. Бұл изоляттар өсімдіктердің өсуін басқа маңызды механизмдер арқылы қолдайды: фосфатты еріту, көмірсуларды және ақуыздарды ыдырату, ризосферадағы қоректік заттардың айналымын жеделдету секілді.

3.5 Целлюлазалық белсенділікті анықтау.

Келесі зерттеуде бөлініп алынған изоляттардың целлюлазалық белсендігін анықтадық. Целлюлазалар өсімдік жасуша қабырғасының негізгі компоненті болып табылатын целлюлозаны глюкоза және олигосахаридтерге дейін гидролиздейтін ферменттер тобы болып табылады. Ризосферада целлюлазалық белсенділік бірнеше маңызды функция атқарады:

- өсімдіктің тамырлары айналасындағы органикалық қалдықтардың минералдануын жеделдетеді;
- топырақтағы көміртек пен қоректік элементтердің айналымын қалыпты ұстайды;
- тамыр жүйесінің кеңеюіне және жаңа тамыршалардың пайда болуына қолайлы микробтық орта жасайды;
- кейбір фитопатогендердің жасуша қабырғаларын бұзып, биоконтроль әсерін қамтамасыз етеді [26-27].



6-сурет – Целлюлозаның ферментативтік гидролиздік аймақтары

6-сурет, целлюлазалық белсенділігі зерттелген бактериялық изоляттардың қызыл боялған агарлы ортадағы өсуін көрсетеді. Колония айналасындағы ашық-сары мөлдір аймақтар целлюлоза субстратының ферментативтік гидролизі нәтижесінде пайда болады. Аймақтың диаметрі неғұрлым үлкен болса, соғұрлым целлюлазаның секреция деңгейі жоғары болып есептеледі. Суреттен жоғары белсенділікке ие штаммдарда осындай ашық аймақ айқын және кең екендігі көрінеді, бұл олардың целлюлозаны тиімді ыдырату қабілетін растайды [26-28].

Ризобактерия изоляттарының целлюлолитикалық белсенділік индексі бір-бірінен айтарлықтай ерекшеленді. 10 изоляттың үшеуі (30%) айқын аймақ түзбеді, яғни олар целлюлоза ферментін бөліп шығарушы ретінде қарастырылмады. Ал жеті изолят (70%) целлюлазаны ыдыратуда жақсы өнімділік көрсетті ($2 < EI \leq 4,0$) (Кесте 3). Ең жоғары белсенділік SJ3 және SJ10 изоляттарында тіркелді (екеуі де $EI = 2,8$).

Ең жоғары целлюлазалық индекс SJ3 және SJ10 изоляттарында анықталды (екеуінде де $EI = 2,8 \pm 0,22$), бұл олардың:

- өсімдік қалдықтарын тиімді ыдыратуға,
- қоректік элементтердің биожетімділігін арттыруға,
- тамыр аймағында топырақ құрылымын жақсартуға жоғарғы қасиетін дәлелдейді.

SJ4, SJ7 және SJ8 тәрізді орташа белсенді штаммдар да экожүйеде маңызды роль атқара алады, себебі олардың ферментативтік белсенділігі басқа гидролитикалық ферменттермен (протеаза, амилаза) синергияда әсер етуі мүмкін. Белсенділігі анықталмаған SJ1, SJ2 және SJ6 изоляттары целлюлозаны ыдыратуға мамандан-

ған емес, алайда олар басқа биофункцияларда (мысалы, фосфатты соллюбилизациялау, амилазалық белсенділік) маңызды рөл атқара алады.

SJ3 және SJ10 целлюлазалық белсенділігі ең жоғары изоляттар болып табылады. Олар топырақта органикалық қалдықтардың минералдануын жеделдетуге, өсімдіктің қоректенуін жақсартуға және ризосфералық микробтық консорциумның тұрақтылығын қамтамасыз етуге қабілетті перспективалы PGPR изоляттары болып саналады.

3.6 Цитраттың сіңірілуін анықтау бойынша нәтижелер.

Цитратты сіңіру (utilization test) бактериялардың көміртек көздерін әртүрлі пайдалануға бейімділігін анықтауға арналған маңызды биохимиялық көрсеткіш болып табылады. Бұл тест ризобактериялардың экологиялық және физиологиялық бейімділігін бағалауда ерекше мәнге ие, себебі: Цитратты пайдалана алатын бактериялар қоректік ортадағы көміртек тапшылығы жағдайында да тіршілігін сақтай алады; Цитрат катаболизмі нәтижесінде түзілетін сілтілі өнімдер сыртқы орта рН-ын реттеуге әсер етеді, бұл тамыр аймағында микробтық тепе-теңдікті ұстап тұруға көмектеседі; Мұндай бактериялар өсімдік тамыры бөлетін органикалық қышқылдарды субстрат ретінде пайдаланып, ризосферада тұрақты колония түзе алады [25-27].

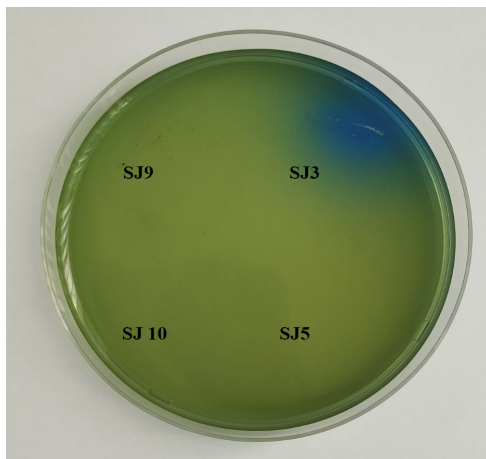
Сондықтан цитратты сіңіру қабілеті ризобактериялардың тамыр аймағында ұзақ уақыт тұрақты тіршілік ету қасиетін бағалауда маңызды биомаркер болып саналады.

Зерттелген изоляттардың ішінде SJ3 изолятында цитратты пайдалану оң нәтиже көрсетті: қоректік орта бетінде өсу байқалды және орта қанық көк түске ие болды. Сілтілі карбонаттар және бикарбонаттар цитрат катаболизмінің жанама өнімі ретінде түзіледі, сонымен қатар орта рН мәні 7,6-ға дейін көтеріледі. Нәтижесінде бромтимол көк индикаторы бастапқы жасыл түсін көк түске өзгертеді (Сурет 7).

7-сурет цитратты пайдалану тестінің нәтижелерін көрсетеді. Тест үшін Simmons цитрат агары қолданылды.

Егер изолят цитратты жалғыз көміртек көзі ретінде пайдалана алса, ол ортада өніп-жетіледі. Цитраттың ыдырауы кезінде сілтілі карбонаттар түзіледі, нәтижесінде ортаның рН- 7,6 және одан жоғары деңгейге көтеріледі [24-26]. Бромтимол көк индикаторы рН өзгерісіне жауап беріп, жасылдан қою көк түске өзгереді. Суреттен байқалғандай, SJ3 изолятында өсу айқын көрінеді және орта түсі көк түске ауысқан, бұл оның цитратты

тиімді катаболиздей алатынын растайды. Қалған изоляттарда түс өзгерісі болмады, яғни олар цитратты көміртек көзі ретінде пайдаланбаған.



7-сурет – Цитратты пайдалану қабілетін анықтау

SJ3 изолятындағы цитратты сіңіру қабілеті: оның метаболизмінің икемді екенін, ризосферада көміртектік стресске төзімділігі жоғары бактерия екенін, өсімдікпен ұзақ мерзімді симбиотикалық қарым-қатынасты қолдай алатынын көрсетеді. Бұл қасиет PGPR штаммдарын биопрепарат құрамына таңдауда маңызды, өйткені тиімді колонизация – биотыңайтқыштың функционалды болуының негізгі шарты болып табылады.

3.7 Көмірсуларды ферментациялау қабілетін талдау. Үш қантты темір ағары (TSIA) (Central Drug House (P), India) қоректік ортасында түс өзгеруі оң нәтиже болғанын көрсетті.

TSIA ортасында үш изолятта глюкоза ферментациясы байқалды, біреуінде газ түзілуімен бірге жүрді. Бұл бактериялардың: анаэробты немесе факультативті анаэробты метаболизмге қабілетті екенін, энергия алу жолдарының алуан түрлі екенін, ризосферада оттегі концентрациясы өзгерген жағдайда да өсе алатынын көрсетеді. H_2S түзілуінің болмауы олардың күкіртті қосылыстарды тотықсыздандыру жолына түспейтінін білдіреді, бұл өсімдікке улы әсердің жоқтығын көрсететін оң белгінің көрсеткіші.

SJ3 изолятында цитрат катаболизмі мен глюкозаны ферментациялау қабілетінің үйлесуі, оның ризосферада тұрақты колония түзуге, түрлі қоректік ортада өсуді сақтауға және өсімдікке

қолайлы микроорта қалыптастыруға жоғары бейімділігін сипаттайды.

Қорытынды

Бұл зерттеу барысында Алматы облысында өсірілген соя (*Glycine max*) өсімдігінің ризосферасынан бөлініп алынған бактериялық изоляттардың агрономиялық маңызды қасиеттері кешенді түрде бағаланды. Барлық 10 изолят морфологиялық және биохимиялық сипаттамалары бойынша айтарлықтай гетерогенділік танытты, бұл ризосфералық микробиоценоздың құрылымдық күрделілігі мен экологиялық бейімделгіштігін көрсетеді.

Фосфатты солубилизациялау сынақтары төрт изолятың (SJ3, SJ5, SJ9, SJ10) өсімдікке қолжетімді фосфорды көбейту қабілетіне ие екенін анықталды. Әсіресе SJ3 және SJ5 изоляттарының ерігіштік индексінің жоғары болуы олардың фосфор тапшылығы жағдайында өсімдіктерді қамтамасыз етуде қасиеті жоғары екенін дәлелдейді. Бұл қасиет ашық дала жағдайында химиялық тыңайтқыштарды ішінара алмастыруға мүмкіндік береді.

Гидролитикалық ферменттерді (протеаза, амилаза және целлюлаза) өндіру қабілетінің талдауы ризобактериялардың топырақтағы органикалық заттардың биотрансформациясына және фитопатогендерге қарсы табиғи қорғау механизмдеріне қатысатынын көрсетті. Протеазалық және амилазалық белсенділіктің ең жоғары көрсеткіштері SJ3, SJ5 және SJ9 изоляттарында тіркелді, ал SJ3 және SJ10 целлюлазаны белсенді синтездейді екендігі анықталды. Бұл ферментативтік профиль аталған штаммдардың органикалық азот пен көміртек айналымын жеделдету арқылы өсімдіктің өсуін жан-жақты қолдай алатынын дәлелдейді.

Цитратты пайдалану қабілеті SJ3 изолятында анықталды, бұл оның көміртек көздерінің тапшылығы жағдайында да тіршілік етуге бейімділігін, яғни ризосферада ұзақ мерзімді тұрақты колонизация жасау мүмкіндігін көрсетеді. Сонымен қатар, глюкоза ферментациясының анықталуы бұл штаммдардың энергетикалық метаболизмінің икемді екенін көрсетеді. H_2S түзілмеуі зерттелген бактериялардың өсімдікке уытты әсер етпейтіндігін айқындайды.

Жалпы алғанда, зерттеу нәтижелері SJ3, SJ5, SJ9 және SJ10 изоляттарының өсімдіктің қоректік заттарға қолжетімділігін арттыру, органика-

лық қалдықтардың минералдануын жеделдету және ризосферада биоконтроль әсерін жүзеге асыру сияқты көп факторлы PGPR механизмдеріне ие екенін көрсетті. Әсіресе SJ3 изолятында фосфат солюбилизациялау, протеаза, амилаза, целлюлаза белсенділігі және цитрат катаболизмі біріге отырып, оның биопрепарат ретінде қолдануға ең перспективті кандидат екенін дәлелдейді.

Қаржыландыру

Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің қолдауымен AP23490702 «Биомасса қалдықтарын құнды өнімдерге тұрақты конверсиялау мақсатында биочардың деконтаминациялау технологиясын әзірлеу» жобасы аясында жүзеге асырылды.

Әдебиеттер

1. Sri P., Dwi A., Tirta K.D. The Screening of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Based on the Ability to Promote the Growth and Nodulation of Soybean (*Glycine max* L.) Seedlings // *J. Pure Appl. Microbiol.* – 2023. – Vol. 17, № 1. – P. 231–240. <https://doi.org/10.22207/JPAM.17.1.13>
2. Sakharan V.S., Nekra V. Rhizobacteria Promoting Plant Growth: A Critical Review // *Life Sci. Med.* – 2011. – Vol. 21. – P. 1–30. https://www.researchgate.net/publication/284340739_Plant_growth_promoting_rhizobacteria_a_critical_review
3. Backer R., Rockem J.S., Ilangumaran G. et al. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria: Context, Mechanisms of Action, and Roadmap to Commercialization of Biostimulants for Sustainable Agriculture // *Front. Plant Sci.* – 2018. – Vol. 9. – P. 1473. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01473>
4. Yang P., Condric A., Scranton S., Hebner C., Lu L., Ali M.A. Utilizing Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) to Advance Sustainable Agriculture // *Bacteria.* – 2024. – Vol. 3, № 4. – P. 434–451. <https://doi.org/10.3390/bacteria3040030>
5. He Y., Pantigoso H.A., Wu Z. et al. Co-Inoculation of *Bacillus* sp. and *Pseudomonas putida* at Different Development Stages Acts as a Biostimulant to Promote Growth, Yield and Nutrient Uptake of Tomato // *J. Appl. Microbiol.* – 2019. – Vol. 127, № 1. – P. 196–207. <https://doi.org/10.1111/jam.14273>
6. Andrade L.A. de, Santos C.H.B., Frezarin E.T., Sales L.R., Rigobelo E.C. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria for Sustainable Agricultural Production // *Microorganisms.* – 2023. – Vol. 11, № 4. – P. 1088. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11041088>
7. 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 // *EBSCOhost.* – 2024. – Vol. 17. – P. 53. <https://doi.org/10.26577/IJBCh2024v17i1-a6>
8. Rawat P., Das S., Shankhdhar D., Shankhdhar S.C. Phosphate-Solubilizing Microorganisms: Mechanism and Their Role in Phosphate Solubilization and Uptake // *J. Soil Sci. Plant Nutr.* – 2021. – Vol. 21, № 1. – P. 49–68. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00342-7>
9. Cheng Y., Narayanan M., Shi X., Chen X., Li Z., Ma Y. Phosphate-Solubilizing Bacteria: Their Agroecological Function and Optimistic Application for Enhancing Agro-Productivity // *Sci. Total Environ.* – 2023. – Vol. 901. – P. 166468. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166468>
10. Pan L., Cai B. Phosphate-Solubilizing Bacteria: Advances in Their Physiology, Molecular Mechanisms and Microbial Community Effects // *Microorganisms.* – 2023. – Vol. 11, № 12. – P. 2904. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11122904>
11. Divyanshu K., Yadav M., Shukla V., Kumar S., Tripathi Yu.N., Upadhyay R.S. Molecular Identification and Characterization of Plant Growth Promoting Rhizobacteria and Their Effect on Seed Germination and Vigour Index of Barley (*Hordeum vulgare* L.) // *J. Pure Appl. Microbiol.* – 2022. – Vol. 16, № 2. – P. 974–989. <https://doi.org/10.22207/JPAM.16.2.21>
12. Alam M.Z., Dey (Roy) M. The Reduction of Abiotic Stress in Food Crops Through Climate-Smart Mycorrhiza-Enriched Biofertilizer // *AIMS Microbiol.* – 2024. – Vol. 10, № 3. – P. 674–693. <https://doi.org/10.3934/microbiol.2024031>
13. Chieb M., Gachomo E.W. The Role of Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Plant Drought Stress Responses // *BMC Plant Biol.* – 2023. – Vol. 23. – P. 407. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04403-8>
14. Bhimani A.A., Bhimani H.D., Vaghela N.R. et al. Cultivation Methods, Characterization, and Biocatalytic Potential of Organic Solid Waste Degrading Bacteria Isolated from Sugarcane Rhizospheric Soil and Compost // *Biologia.* – 2024. – Vol. 79, № 3. – P. 953–974. <https://doi.org/10.1007/s11756-023-01592-3>
15. Vaghela N., Gohel S. Medicinal Plant-Associated Rhizobacteria Enhance the Production of Pharmaceutically Important Bioactive Compounds Under Abiotic Stress Conditions // *J. Basic Microbiol.* – 2022. – Vol. 63, № 3–4. – P. 308–325. <https://doi.org/10.1002/jobm.202200361>
16. Shobade S.O., Nilsen-Hamilton M., Zabolina O.A. Plant Defense Proteins: Recent Discoveries and Applications // *Plants.* – 2025. – Vol. 14, № 13. – P. 2069. <https://doi.org/10.3390/plants14132069>
17. Majumdar S., Chakraborty U. Optimization of Protease Production from Plant Growth Promoting *Bacillus amyloliquefaciens* Showing Antagonistic Activity Against Phytopathogens // *Int. J. Pharm. Bio Sci.* – 2017. – Vol. 8, № 2. – P. 635–642. <https://doi.org/10.22376/ijpbs.2017.8.2.b635-642>
18. Siqueira J.G.W., Rodrigues C., Vandenberghe L.P. de S. et al. Current Advances in On-Site Cellulase Production and Application on Lignocellulosic Biomass Conversion to Biofuels: A Review // *Biomass Bioenergy.* – 2020. – Vol. 132. – P. 105419. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.105419>

19. Huang T., Zhang Y., Yu Z., Zhuang W., Zeng Z. *Bacillus velezensis* BV01 Has Broad-Spectrum Biocontrol Potential and the Ability to Promote Plant Growth // *Microorganisms*. – 2023. – Vol. 11, № 11. – P. 2627. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11112627>
20. Behera B.C., Sethi B.K., Mishra R.R. et al. Microbial Cellulases – Diversity and Biotechnology with Reference to Mangrove Environment: A Review // *J. Genet. Eng. Biotechnol.* – 2017. – Vol. 15, № 1. – P. 197–210. <https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2016.12.001>
21. Martinez M., Gómez-Cabellos S., Giménez M.J. et al. Plant Proteases: From Key Enzymes in Germination to Allies for Fighting Human Gluten-Related Disorders // *Front. Plant Sci.* – 2019. – Vol. 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00721>
22. Husain D.R., Wardhani R., Ningsih F.S., Gani F. Identification of Probiotic Bacteria Isolated from Domestic Chickens (*Gallus domesticus*) Using the 16S rRNA Gene Method // *J. World Poult. Res.* – 2023. – Vol. 13, № 1. – P. 41–47. <https://doi.org/10.36380/jwpr.2023.4>
23. Baber A., Xiukang W., Muhammad H.S. et al. PGPR-Mediated Salt Tolerance in Maize by Modulating Plant Physiology, Antioxidant Defense, Compatible Solutes Accumulation and Bio-Surfactant Producing Genes // *Plants*. – 2022. – Vol. 11. – P. 345. <https://doi.org/10.3390/plants11030345>
24. Kenza B., Abdoulaye S., Ilham M. et al. The Screening of Potassium- and Phosphate-Solubilizing Actinobacteria and the Assessment of Their Ability to Promote Wheat Growth Parameters // *Microorganisms*. – 2021. – Vol. 9. – P. 470. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9030470>
25. Devi S., Sharma S., Tiwari A. et al. Screening for Multifarious Plant Growth Promoting and Biocontrol Attributes in *Bacillus* Strains Isolated from Indo-Gangetic Soil for Enhancing Growth of Rice Crops // *Microorganisms*. – 2023. – Vol. 11, №4. – P. 1085. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11041085>
26. Ningtyas A.G.S., Irawan B., Setiawan W.A., Handayani K. Thermophilic Bacteria from Surface Layer of Compost: Isolation and Characterization During the Processing Stage // *GSC Biol. Pharm. Sci.* – 2025. – Vol. 32, № 1. – P. 165–175. <https://doi.org/10.30574/gscbps.2025.32.1.0276>
27. Afrin S., Tamanna T., Shahajadi U.F. et al. Characterization of Protease-Producing Bacteria from Garden Soil and Antagonistic Activity Against Pathogenic Bacteria // *The Microbe*. – 2024. – Vol. 4. – P. 100123. <https://doi.org/10.1016/j.microb.2024.100123>
28. Morbia M., Pandey A., Mahla P., Gohil S. Isolation of α -Amylase Producing Microorganisms from Soil of Kachchh, Gujarat // *J. Pure Appl. Microbiol.* – 2024. – Vol. 18, № 3. – P. 1610–1619. <https://doi.org/10.22207/JPAM.18.3.10>
29. Oo K., Khai A.A., Kyaw E.P., Win T.T. Isolation and Screening of Multifunctional Plant Growth Promoting Rhizobacteria from Rhizosphere of Different Crop Fields // *J. Sci. Innov. Res.* – 2021. – Vol. 10, № 2. – P. 53–62. <https://doi.org/10.31254/jsir.2021.10205>
30. Ramesh Ch.K., Richa S., Hena D., Som D., Arvind G. A Rapid and Easy Method for the Detection of Microbial Cellulases on Agar Plates Using Gram's Iodine // *Curr. Microbiol.* – 2008. – Vol. 57. – P. 503–507. <https://doi.org/10.1007/s00284-008-9276-8>
31. Patel J., Mistry S., Desai S., Patel S., Desai S. Isolation and Characterization of Lipase Producing Bacteria from Vegetable Oil Spillage Site // *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* – 2016. – Vol. 5. – P. 214–232. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2016.508.023>
32. Bianca O., Rodica C., Simona N. et al. Metabolic Potential of Some Functional Groups of Bacteria in Aquatic Urban Systems // *Fermentation*. – 2021. – Vol. 7. – P. 242. <https://doi.org/10.3390/fermentation7040242>
33. Greenfield L.M., Puissant J., Jones D.L. Synthesis of Methods Used to Assess Soil Protease Activity // *Soil Biol. Biochem.* – 2021. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108277>
34. 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, №8. – P. 1902. <https://doi.org/10.3390/microorganisms13081902>

References

1. Afrin S., Tamanna T., Shahajadi U.F., Khan M., Alam M., Chowdhury S. (2024) Characterization of Protease-Producing Bacteria from Garden Soil and Antagonistic Activity Against Pathogenic Bacteria. *The Microbe*, vol. 4, pp. 100123. <https://doi.org/10.1016/j.microb.2024.100123>
2. Alam M.Z., Dey (Roy) M. (2024) The Reduction of Abiotic Stress in Food Crops Through Climate-Smart Mycorrhiza-Enriched Biofertilizer. *AIMS Microbiol.*, vol. 10, pp. 674–693. <https://doi.org/10.3934/microbiol.2024031>
3. Andrade L.A. de, Santos C.H.B., Frezarini E.T., Sales L.R., Rigobelo E.C. (2023) Plant Growth-Promoting Rhizobacteria for Sustainable Agricultural Production. *Microorganisms*, vol. 11, pp. 1088. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11041088>
4. Baber A., Xiukang W., Muhammad H.S., Li Y., Zhang Q., Ahmed S. (2022) PGPR-Mediated Salt Tolerance in Maize by Modulating Plant Physiology, Antioxidant Defense, Compatible Solutes Accumulation and Bio-Surfactant Producing Genes. *Plants*, vol. 11, pp. 345. <https://doi.org/10.3390/plants11030345>
5. Backer R., Rockem J.S., Ilangumaran G., Prasad R., Ricci E., et al. (2018) Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Context, Mechanisms of Action, and Roadmap to Commercialization of Biostimulants for Sustainable Agriculture. *Front. Plant Sci.*, vol. 9, pp. 1473. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01473>
6. Batykova Z.K., Kistaubayeva A.S., Savitskaya I.S., Pidlisnyuk V. (2024) Isolation and Study of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria from Triticosecale Wittmack Growing in Almaty Region. *EBSCOhost*, vol. 17, pp. 53. <https://doi.org/10.26577/IJBCh2024v17i1-a6>

7. Behera B.C., Sethi B.K., Mishra R.R., Kumar P., Singh A., Reddy M. (2017) Microbial Cellulases – Diversity and Biotechnology with Reference to Mangrove Environment A Review. *J. Genet. Eng. Biotechnol.*, vol. 15, pp. 197–210. <https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2016.12.001>
8. Bhimani A.A., Bhimani H.D., Vaghela N.R., Patel J., Desai S., Mehta R. (2024) Cultivation Methods, Characterization, and Biocatalytic Potential of Organic Solid Waste Degrading Bacteria Isolated from Sugarcane Rhizospheric Soil and Compost. *Biologia*, vol. 79, pp. 953–974. <https://doi.org/10.1007/s11756-023-01592-3>
9. Bianca O., Rodica C., Simona N. et al. Metabolic Potential of Some Functional Groups of Bacteria in Aquatic Urban Systems // *Fermentation*. – 2021. – Vol. 7. – P. 242. <https://doi.org/10.3390/fermentation7040242>
10. Cheng Y., Narayanan M., Shi X., Chen X., Li Z., Ma Y. (2023) Phosphate-Solubilizing Bacteria Their Agroecological Function and Optimistic Application for Enhancing Agro-Productivity. *Sci. Total Environ.*, vol. 901, pp. 166468. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166468>
11. Chieb M., Gachomo E.W. The Role of Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Plant Drought Stress Responses // *BMC Plant Biol.* – 2023. – Vol. 23. – P. 407. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04403-8>
12. Devi S., Sharma S., Tiwari A., Singh R., Gupta P., Kumar S. (2023) Screening for Multifarious Plant Growth Promoting and Biocontrol Attributes in Bacillus Strains Isolated from Indo-Gangetic Soil for Enhancing Growth of Rice Crops. *Microorganisms*, vol. 11, pp. 1085. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11041085>
13. Divyanshu K., Yadav M., Shukla V., Kumar S., Tripathi Y.N., Upadhyay R.S. (2022) Molecular Identification and Characterization of Plant Growth Promoting Rhizobacteria and Their Effect on Seed Germination and Vigour Index of Barley (*Hordeum vulgare* L.). *J. Pure Appl. Microbiol.*, vol. 16, pp. 974–989. <https://doi.org/10.22207/JPAM.16.2.21>
14. Greenfield L.M., Puissant J., Jones D.L. (2021) Synthesis of Methods Used to Assess Soil Protease Activity. *Soil Biol. Biochem.*, vol. 153, pp. 108277. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108277>
15. He Y., Pantigoso H.A., Wu Z., Chen L., Li X., Zhang W. (2019) Co-Inoculation of Bacillus sp. and Pseudomonas putida at Different Development Stages Acts as a Biostimulant to Promote Growth, Yield and Nutrient Uptake of Tomato. *J. Appl. Microbiol.*, vol. 127, pp. 196–207. <https://doi.org/10.1111/jam.14273>
16. Huang T., Zhang Y., Yu Z., Zhuang W., Zeng Z. (2023) Bacillus velezensis BV01 Has Broad-Spectrum Biocontrol Potential and the Ability to Promote Plant Growth. *Microorganisms*, vol. 11, pp. 2627. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11112627>
17. Husain D.R., Wardhani R., Ningsih F.S., Gani F. Identification of Probiotic Bacteria Isolated from Domestic Chickens (*Gallus domesticus*) Using the 16S rRNA Gene Method // *J. World Poult. Res.* – 2023. – Vol. 13, № 1. – P. 41–47. <https://doi.org/10.36380/jwpr.2023.4>
18. Kenza B., Abdoulaye S., Ilham M., Rachid B., Fatima H., Omar K. (2021) The Screening of Potassium- and Phosphate-Solubilizing Actinobacteria and the Assessment of Their Ability to Promote Wheat Growth Parameters. *Microorganisms*, vol. 9, pp. 470. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9030470>
19. Majumdar S., Chakraborty U. (2017) Optimization of Protease Production from Plant Growth Promoting Bacillus amyloliquefaciens Showing Antagonistic Activity Against Phytopathogens. *Int. J. Pharm. Bio Sci.*, vol. 8, pp. 635–642. <https://doi.org/10.22376/ijpbs.2017.8.2.b635-642>
20. Martinez M., Gómez-Cabellos S., Giménez M.J., Torres M., López A., et al. (2019) Plant Proteases From Key Enzymes in Germination to Allies for Fighting Human Gluten-Related Disorders. *Front. Plant Sci.*, vol. 10, pp. 721. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00721>
21. Morbia M., Pandey A., Mahla P., Gohil S. (2024) Isolation of α -Amylase Producing Microorganisms from Soil of Kachchh, Gujarat. *J. Pure Appl. Microbiol.*, vol. 18, pp. 1610–1619. <https://doi.org/10.22207/JPAM.18.3.10>
22. Ningtyas A.G.S., Irawan B., Setiawan W.A., Handayani K. (2025) Thermophilic Bacteria from Surface Layer of Compost Isolation and Characterization During the Processing Stage. *GSC Biol. Pharm. Sci.*, vol. 32, pp. 165–175. <https://doi.org/10.30574/gscbps.2025.32.1.0276>
23. Oo K., Khai A.A., Kyaw E.P., Win T.T. (2021) Isolation and Screening of Multifunctional Plant Growth Promoting Rhizobacteria from Rhizosphere of Different Crop Fields. *J. Sci. Innov. Res.*, vol. 10, pp. 53–62. <https://doi.org/10.31254/jsir.2021.10205>
24. Pan L., Cai B. (2023) Phosphate-Solubilizing Bacteria Advances in Their Physiology, Molecular Mechanisms and Microbial Community Effects. *Microorganisms*, vol. 11, pp. 2904. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11122904>
25. Patel J., Mistry S., Desai S., Patel S., Desai S. (2016) Isolation and Characterization of Lipase Producing Bacteria from Vegetable Oil Spillage Site. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.*, vol. 5, pp. 214–232. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2016.508.023>
26. Rawat P., Das S., Shankhdhar D., Shankhdhar S.C. (2021) Phosphate-Solubilizing Microorganisms Mechanism and Their Role in Phosphate Solubilization and Uptake. *J. Soil Sci. Plant Nutr.*, vol. 21, pp. 49–68. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00342-7>
27. Ramesh Ch.K., Richa S., Hena D., Som D., Arvind G. (2008) A Rapid and Easy Method for the Detection of Microbial Cellulases on Agar Plates Using Gram's Iodine. *Curr. Microbiol.*, vol. 57, pp. 503–507. <https://doi.org/10.1007/s00284-008-9276-8>
28. Saktharam V.S., Nekra V. (2011) Rhizobacteria Promoting Plant Growth A Critical Review. *Life Sci. Med.*, vol. 21, pp. 1–30. https://www.researchgate.net/publication/284340739_Plant_growth_promoting_rhizobacteria_a_critical_review
29. Shobade S.O., Nilsen-Hamilton M., Zabolina O.A. (2025) Plant Defense Proteins Recent Discoveries and Applications. *Plants*, vol. 14, pp. 2069. <https://doi.org/10.3390/plants14132069>
30. Siqueira J.G.W., Rodrigues C., Vandenberghe L.P. de S., et al. (2020) Current Advances in On-Site Cellulase Production and Application on Lignocellulosic Biomass Conversion to Biofuels A Review. *Biomass Bioenergy*, vol. 132, pp. 105419. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.105419>

31. Sri P., Dwi A., Tirta K.D. (2023) The Screening of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Based on the Ability to Promote the Growth and Nodulation of Soybean (*Glycine max* L.) Seedlings. *J. Pure Appl. Microbiol.*, vol. 17, pp. 231–240. <https://doi.org/10.22207/JPAM.17.1.13>
32. Vaghela N., Gohel S. (2022) Medicinal Plant-Associated Rhizobacteria Enhance the Production of Pharmaceutically Important Bioactive Compounds Under Abiotic Stress Conditions. *J. Basic Microbiol.*, vol. 63, pp. 308–325. <https://doi.org/10.1002/jobm.202200361>
33. Yang P., Condric A., Scranton S., Hebner C., Lu L., Ali M.A. (2024) Utilizing Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) to Advance Sustainable Agriculture. *Bacteria*, vol. 3, pp. 434–451. <https://doi.org/10.3390/bacteria3040030>
34. 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, № 8. – P. 1902. <https://doi.org/10.3390/microorganisms13081902>

Авторлар туралы мәлімет:

Кистаубаева Аида Сериковна – б.ғ.к., қауымдастырылған профессор, «Биотехнология» кафедрасының меңгерушісі, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы қ, Қазақстан, электрондық пошта: kistaubayeva.kaznu@gmail.com)

Сайдуллаева Лайла Нуруллаевна – PhD студент, М.Әуезов атындағы ОҚУ (Шымкент, Қазақстан, электрондық пошта: leyla-87.87@mail.ru)

Батықова Жұлдыз Казбекқызы – PhD студент, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан, электрондық пошта: batyqova@gmail.com)

Мамирова Айгерим Аманжоловна – PhD доктор, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан, электрондық пошта: a.mamirova.95@gmail.com)

Аханов Усен Кудайбергенович – а/ш.ғ.к., доцент, М.Әуезов атындағы ОҚУ (Шымкент, Қазақстан, электрондық пошта: akhanov.1966@mail.ru)

Information about authors:

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

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

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

Mamirova Aigerim Amanzholovna – PhD doctor at the Department of Biotechnology, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan, email: a.mamirova.95@gmail.com)

Akhanov Ussen Kudaibergenovich – Candidate of Agricultural Sciences, docent, M. Auezov South Kazakhstan University (Shymkent, Kazakhstan, e-mail: akhanov.1966@mail.ru)

Сведения об авторах:

Кистаубаева Аида Сериковна – к. б. н., ассоциированный профессор, заведующая кафедрой биотехнологии Казахского национального университета имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: kistaubayeva.kaznu@gmail.com);

Сайдуллаева Лайла Нуруллаевна – PhD-докторант, Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова (Шымкент, Казахстан, e-mail: leyla-87.87@mail.ru);

Батықова Жұлдыз Казбекқызы – PhD-докторант кафедры биотехнологии Казахского национального университета имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: batyqova@gmail.com);

Мамирова Айгерим Аманжоловна – PhD, кафедра биотехнологии, Казахский национальный университет имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан, e-mail: a.mamirova.95@gmail.com);

Аханов Усен Кудайбергенович – к. с.-х. н., доцент, Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова (Шымкент, Казахстан, e-mail: akhanov.1966@mail.ru).

Келіп түсті 9 сәуір 2025 жыл
Қабылданды 20 тамыз 2025 жыл