QO‘QON DAVLAT PEDAGOGIKA INSTITUTI ILMIY XABARLARI
(2026-yil 10-son)

TABIIY FANLAR

NATURAL SCIENCES

https://doi.org/10.70728/a.series.tab.v08.i10.082

ENDOPHYTIC BACTERIA AND THEIR APPLICATION PROSPECTS

Кахрамон ДАВРАНОВ*,
ЎзР ФА Микробиология институти бош илмий ходими, академик.
E-mail: k-davranov@mail.ru
Анвар АБДУЛЛАЕВ,
ЎзР ФА Микробиология институти катта илмий ходими, б.ф.н.
Шерали ҚЎЗИЕВ,
ЎзР ФА Микробиология институти катта илмий ходими, б.ф.ф.д.
Тўлқин ШОНАХУНОВ,
ЎзР ФА Микробиология институти катта илмий ходими, б.ф.ф.д.
Жамолбек ТУРДАЛИЕВ,
ЎзР Қишлоқ хўжалиги вазирлиги Тупроқшунослик ва агрокимёвий тадқиқотлар институти катта илмий ходими, б.ф.ф.д.
Мадина ХУШВАҚТОВА,
ЎзР ФА Микробиология институти лаборанти.
Шукуржон ЙЎЛДОШЕВ,
ЎзР ФА Микробиология институти лаборанти.

Abstract.Endophytic bacteria are microorganisms that colonize internal plant tissues without causing disease and may contribute significantly to plant growth, development, and stress tolerance. These microorganisms possess diverse plant growth-promoting and biocontrol properties, including the production of indole-3-acetic acid, siderophores, vitamins, and other biologically active metabolites, as well as nitrogen fixation and the mobilization of phosphorus compounds. In addition, endophytic bacteria can suppress phytopathogenic fungi, bacteria, viruses, insects, and nematodes through direct antagonism and the production of bioactive compounds.

The isolation and characterization of endophytic bacteria from plant tissues following surface sterilization provide an effective approach for exploring their biological diversity and identifying strains with valuable biotechnological properties. Spore-forming endophytes may have additional advantages due to their high environmental stability and competitive ability, making them promising candidates for microbial inoculants.

The application of selected endophytic bacterial strains to seeds and seedlings can facilitate their establishment within plant tissues and enhance plant resistance to biotic and abiotic stresses. Therefore, the isolation, characterization, and selection of highly active

endophytic bacteria represent an important strategy for developing environmentally sustainable microbial preparations and reducing dependence on chemical fertilizers and pesticides.

Keywords: endophytic bacteria, biological diversity, plant–microbe interactions, growth promotion, biocontrol, secondary metabolites, bacterial genomes, microbial preparations, activity, productivity.

Аннотатцион.Эндофитные бактерии представляют собой микроорганизмы, колонизирующие внутренние ткани растений без причинения им заболеваний и способные оказывать существенное влияние на рост, развитие и устойчивость растений к стрессовым факторам. Они обладают широким спектром ростстимулирующих и биоконтрольных свойств, включая синтез индолилуксусной кислоты, сидерофоров, витаминов и других биологически активных метаболитов, фиксацию атмосферного азота и мобилизацию соединений фосфора. Кроме того, эндофитные бактерии способны подавлять фитопатогенные грибы и бактерии, а также снижать негативное воздействие вирусов, насекомых и нематод.

Выделение и характеристика эндофитных бактерий из внутренних тканей растений после поверхностной стерилизации являются эффективным подходом к изучению их биологического разнообразия и выявлению штаммов с ценными биотехнологическими свойствами. Спорообразующие эндофитные бактерии могут иметь дополнительные преимущества благодаря высокой устойчивости к воздействию факторов окружающей среды и конкурентоспособности, что делает их перспективными кандидатами для создания микробных препаратов.

Применение отобранных штаммов эндофитных бактерий для обработки семян и рассады способствует их эффективной колонизации тканей растений и повышению устойчивости растений к биотическим и абиотическим стрессам. Таким образом, выделение, характеристика и селекция высокоактивных эндофитных бактерий являются перспективным направлением разработки экологически безопасных микробиологических препаратов и снижения зависимости сельского хозяйства от химических удобрений и пестицидов.

Ключевые слова: эндофитные бактерии, биологическое разнообразие, растительно-микробные взаимодействия, стимуляция роста, биоконтроль, вторичные метаболиты, геномы бактерий, микробиологические препараты, активность, продуктивность.

Анонотатция. Уларнинг ривожланишига таъсир кўрсатмайдиган бактерияларни эндофит бактериялар эндофит бактериялар деб аталади. Улар орасида ўсимликларнинг ривожланишига, турли хил стресс омиллари таъсирига чидамлилигини оширишда ва ниҳоят хилма-хил физиологик фаолликка эга бўлган метаболитлар синтез қилиш хусусиятига эга бўлган штаммлар кўплигини эътиборга олиб, эндофит бактерияларни янги штамм ва турларини қидириш, уларни микробиологик соф ҳолда ажратиб олиш, тозаланганларининг хусусиятларини ўрганиш ва энг фаолларидан янги микробиологик препаратлар тайёрлаш мақсадида фойдаланиш мумкин бўлганлиги сабабли, уларни

ўрганишга қизиқиш тобора ошиб бормоқда. Эндофит бактерияларнинг биологик хилма-хиллигини ўрганишда фойдаланиб келинадиган усуллар, асосан ўсимлик сиртини сифатли стерилизация қилингандан кейин, уларнинг ички тўқималаридан тирик бактерияларни ажратиб олиб, ўрганишга қаратилган эндофит бактериялар индолил сирка кислотаси, сидерофорлар синтез қилиш, азотфиксация жараёнини олиб бориш, ўсимликларни фосфорли бирикмалар билан озиқланишини таъминлаш хусусиятига эга. Шунингдек, турли хил витаминлар синтез қиладилар ва ўсимликларни ривожланишини яхшилайдиган, осмотик босимни бошқарувчи ва устьцаларнинг фаолиятини бошқариб турувчи, ўсимликларнинг илдиз тизимининг ривожланишини модификация қилувчи қўшимча моддалар синтез қилиш хусусиятига ҳам эгалар. Эндофит бактериялар, фитопатоген микроорганизмларни ўсимликларга салбий таъсирини пасайтириш ёки бутунлай йўқ қилиш хусусиятига ҳам эгалар. Ўсимликларни эндофит бактериялар суспензияси билан инокуляция қилиш орқали патоген замбуруғлар, бактериялар, вируслар, ҳашаротлар ва нематодалар келтирадиган зарарни камайтириш ёки бутунлай йўқ қилиш имкониятини яратиш мумкин. Эндофит бактерияларнинг фаол штаммлари ўсимлик уруғлари ва кўчатларига тўғридан-тўғри ишлов бериш мақсадида ишлатилади ва шу тариқа улар ўсимлик тўқималарида фаол колонизацияланишлари ва кейинги биокимёвий ва физиологик таъсир орқали, ўсимликларни биотик ва абиотик омиллар таъсиридан ҳимоя қиладилар. Эндофитлар, эндоспорада жойлашиб, барқарор pH, намлик, озуқа моддаларни ўтиб туриши ва кўплаб бошқа микроорганизмлар томонидан рақобат аломатларини кўрсатилмаслиги туфайли ризосфера ва филлосферада колониялашган микроорганизмларга нисбатан қатор устуворликка эга бўладилар.

Ўсимликларни эндофит микроорганизмлар билан инокуляция қилиш учун, катта миқдордаги инокулюм талаб қилинмайди, уларни ўсимликлар билан ҳосил қиладиган ўсимлик-микроб симбиозининг спецификлиги ва эндофит микроорганизмларнинг рақобатбардошлиги асосий роль ўйнайди. Айнан манашу устуворликлардан фойдаланиб яратилган биотехнологик жараёнлар ўзининг ҳаётбахшлиги билан ажралиб туради ва яқин келажакда ананавий кимёвий пестицидлар ва ўғитлар учун рақобат қилиш кучига эга бўлади.

Калит сўзлар: эндофит бактериялар, биологик хилма-хиллик, ўсимлик-микроб ўзаро муносабатлари, ўсишни барқарорлаштириш, бионазорат, иккиламчи метаболитлар, бактериялар геномлари, микробли препаратлар, фаоллик, ҳосилдорлик.

Кириш.Ўсимликларнинг фойдали микроорганизмлар билан ўзаро муносабатда бўлишининг механизмларини янада ёркинроқ очиб бериш нафақат муаммонинг фундаментал асосларини яратиш, балки ушбу ўзаро муносабатлардан экологик йўналтирилган деҳқончилик амалиётида фойдаланишда берадиган самарадорлиги учун ҳам кўплаб олимларнинг фикрини ўзига тортган. Замонавий деҳқончилик юритишда, тадқиқотлар ризосферада тўпланадиган микроорганизмлар фаолиятидан фойдаланишдан бошланган бўлса-да, кейинги йилларда ўсимлик тўқималари ичида

тўпланиб, кўпайиб, уларни ташқи стресс омиллар таъсиридан ҳимоя қилиб, аммо ўсимликларга зарар етказмайдиган эндофитлар деб аталувчи микроорганизмлар фаолиятини синчиклаб ўрганишга қизиқиш тобора ошиб бормоқда. Бугунгача фанга маълум бўлган Ер юзида тўпланган ўсимликларнинг 300000 турининг ҳар бири бир ёки бир нечта эндофит микроорганизмларни ўз бағрида сақлайди ва уларга хўжайинлик қилади. Ҳозиргача бундай ўсимликларнинг эндофит микроорганизмлари тўлиқ ўрганилмаган [1,2].

Юқоридагилардан келиб чиққан ҳолда, ўсимликларнинг ривожланишига ижобий таъсир кўрсатувчи эндофит микроорганизмларнинг янги турларини қидириш, адаптив қишлоқ хўжалиги учун самарали микробиологик препаратлар яратишда истиқболлар очиб беради. Эндофит бактериялар ўсимлик тўқималари ичида фитопатоген микроорганизмлар эгаллайдиган жойларни эгаллайдилар. Шунинг учун ҳам уларга фитопатогенларга нисбатан биологик назорат қилувчи агентлар сифатида қаралади. Кўплаб олимларнинг маълум қилишларича, эндофит бактериялар фитопатоген микроорганизмлар ва нематодаларнинг ривожланишини буғиб қўйиш хусусиятига эга бўлган биологик фаол бирикмалар синтез қиладилар. Бундай бактерияларнинг биологик хилма-хиллигини ўрганиш ўсимлик, ҳайвон ва инсон касалликларини даволаш хусусиятига эга бўлган янги физиологик фаол моддалар яратишга хизмат қилиши мумкин. Шунингдек, эндофит бактерияларнинг баъзи бир штаммлари фаолиятидан фиторемедиация, яъни техноген ифлосланган майдонларни махсус тайёрланган ўсимлик-бактериал тизимлар ёрдамида тозалаш амалиётида ҳам самарали фойдаланиш мумкинлиги кўрсатиб ўтилган [3-6].

Ўсимликларнинг ички тўқималарида эндофитлар эгаллаган жойни фақатгина уларнинг тўқималари ичига кираолган бактериялар эгаллашлари мумкин. Одатда, бундай бактериялар ҳужайраларо бўшлиқда колонияланадилар ва ўсимликларнинг турли қисмларидан ажратиб олинишлари мумкин. Бундай бактерияларни бир уруғпаллали ва икки уруғпаллали ўтсимон ўсимликларда ва дарахтларда ҳам мавжудлиги аниқланган [7].

Турли ўсимликлардан ажратиб олинган эндофит бактерияларнинг батафсил рўйхати бир нечта йиғма мақолаларда келтирилган. Бу маълумотлар сирт стерилизация қилинган ўсимликларнинг ички тўқималаридан ажратиб олинган изолятларнинг хусусиятлари асосида тўпланган. Ўсимликларнинг пояси, илдизи ва дуккакларидан ажратиб олинган эндофит жамоаларининг кўпчилиги 16S РНК генининг кетма-кетлигини анализ қилиш, ёғ кислоталарининг профили ва турли хил углерод манбаларини утилизацияси асосида тўпланган ва уларни *Cellulomonas, Clavibacter, Curtobacterium, Pseudomonas ва Microbacterium* авлодларига мансублиги аниқланган [8-10].

Crocus albiflorus ўсимлигининг ер устки қисмини ўрганиш турли хил бактериал эндофитларни аниқлаш имконини берди. Эндофит бактерияларнинг катта миқдори тол ўсимлигида, арчада ва бошқа ўсимликларнинг тўқима культураларида аниқланган. 16S рРНК гени кетма-кетлигини анализ қилиш орқали, ажратиб олинган изолятларнинг

асосан *Paenibacillus* авлодига мансублиги аниқланган. *Methylobacterium, Stenotrophomonas* ёки *Bacillus* авлодига мансуб бактериялар тол, арча ва бошқа ўсимликларнинг тўқима культураларида аниқланган [11].

Paenibacillus humicus бактерияси in vitro шароитида ўсимликка зарар етказмаган ҳолда ўсимлик тўқималарида учраши аниқланган. Тол ўсимлигининг эндофит *Paenibacillus* sp. 22 штамми билан инокуляция қилинган микрокўчатларнинг ҳар бирида сезиларли даражада кўп илдиз ҳосил бўлиши ва бу илдизлар 3 ҳафтадан кейин назоратдагига нисбатан узунроқ бўлганлиги кузатилган [12].

Хитой Халқ Республикасининг Хэбэй провинциясида шоли ўсимлигидан ажратиб олинган эндофит бактерияларнинг биологик хилма-хиллиги 16S рРНК генининг кетма-кетлигини анализ қилиш йўли билан аниқланган ва *Proteobacteria, Cytophada, Flexibacter, Deinococcus-Thermus, Acidobacteria* ҳамда архейларга мансуб бўлган альфа-, бетта-, гамма-, дельта- ва эпсилон-субклассларга тегишли бактерия филлари борлиги аниқланган [13].

Бу бактерия ва архейлар орасида кўпроқ *Betaproteobacteria* устуворлик қилиб, барча изолятларнинг 27,08 % ини ташкил этган. Улар орасида *Stenotrophomonas* авлоди устуворлик қилиши кўрсатиб ўтилган. Изолятларнинг 14 % дан кўпроғи бактерияларнинг ўстирилмайдиган турларига мансуб эканлиги аниқланган [14].

Ҳиндистонда тропик шароитда етиштирилган маккажўхори пояларининг эндофит бактериялари ўрганилган. Эндофитлар бутун вегетация сезони давомида мавжуд бўлиши ва уларнинг сони хом биомассада $1{,}36 \cdot 10^5$ - $12 \cdot 10^5$ ҳужайра/г ни ташкил этиши аниқланган. Ёғ кислоталари профилини хроматографик анализ қилиш ёрдамида олиб борилган бактерия изолятларининг идентификацияси натижасида *Bacillus pumilus, Bacillus subtilis, Pseudomonas aeruginosa* ва *Pseudomonas fluorescens* бактериялари устувор эканлигини кўрсатган [15, 16].

Қишлоқ хўжалик ўсимликларидан тўрттасида: маккажўхори, гумай, буғдой, ҳамда, кенг доирада ёввойи ҳолда ўсадиган бошоқли ва дуккакли ўсимлик ўтларидан 853 дона эндофит бактериялар ажратиб олинган. Уларнинг тахминан ярми грамм-мусбат, қолганлари эса грамм-манфий бактерияларга мансуб бўлган. Ёғ кислоталари профилини анализ қилиш орқали эндофит изолятларини 15 авлодга: *Agrobacterium, Bacillus, Bradyrhizobium, Cellulomonas, Clavibacter, Corynebacterium, Enterobacter, Erwinia, Escherichia, Klebsiella, Microbacterium, Micrococcus, Pseudomonas, Rothia ва Xanthomonas* авлодларига мансублиги аниқланган. Улар орасида *Bacillus, Corynebacterium ва Microbacterium* авлодлари вакиллари устуворлик қилган. Қизиғи шундаки, *Cellulomonas, Clavibacter, Curtobacterium* ва *Mycobacterium* авлодларига тегишли эндофит бактериялар улар маданийлаштирилган ёки ёввойи ҳолда ўсадиган ўсимликлардан ажратиб олинганидан қатъи назар, маккажўхори ва гумай ўсимликларида юқори даражада колонияланиш фаоллигига эга эканлигини кўрсатган [17-20].

Микроорганизмларни аниқлашнинг автофлуоресцияланувчи оқсиллардан фойдаланишга асосланган замонавий усули, микроорганизмларни in situ ўсимлик

сиртида ва ичида топиш ҳамда синаш имконини беради. Шундай маркер тизимлардан бири, яшил флуоресциция чиқарувчи оқсил (GFP) асосида тайёрланган ва ўсимликларнинг ички тўқималарини псевдомонадалар билан колонизацияланишини мониторинг қилишда жуда қулай объект сифатида ишлатиб келинмоқда. Хромосомага киритилган конститутив промотор остида GFP гени сақловчи бактериал хужайраларни эпилюминесцент микроскопия ёки конфокаль лазерли сканирловчи микроскоп ёрдамида осон идентификация қилиш мумкин. Ўсимликларнинг ички тўқималарида колонизацияланган эндофит бактерияларни шунингдек, β-глюкуромидазали (GUS) репортер тизим орқали ҳам кузатиш мумкин. Масалан, *Herbaspirillum seropedicae* Z67 бактериясининг GUS маркерланган штаммидан шоли ўсимлиги майсаларини инокуляция қилиш учун фойдаланиш мумкин эканлиги кўрсатиб ўтилган ва бунда, колеоптилларда, латералли илдизлар ҳамда бош илдиз билан бириккан латералли илдизлар энг яхши бўялганлиги кузатилган. Ўсимлик ичида колониялар ҳосил қиладиган бактерияларни яшаш жойлари ҳар хил бўлиши мумкин. Масалан, *Herbaspirillum seropedical*ни ҳужайралар аро бўшлиқда, аэринхимада ва кортикалли хужайраларда тўпланиб кўпайиши кузатилган бўлса, бошқа бактерияларни хужайралари стелага кириб, ундан кейин илдиз тўқималарига ўтиши ҳақида маълумотлар чоп этилган [21-24].

Эндофит бактериялар сақлаган ўсимликларни ассоциацияси учун ҳамкорликни кўзга ташланадиган анатомик фарқланиши характерли бўлмаса-да, уларнинг ривожланишлари дуккакли-ризобиал ва арбускуляр-микоризали симбиозларда аниқланган молекуляр-механизмлар асосида содир бўлиши ҳам мумкин. “Эндофит бактерия – хўжайин ўсимлик” тизимида ўзаро таъсирга эга бўлган маълум даражада спецификлик мавжудлигини кўрсатувчи маълумотлар ҳам чоп этилган. Масалан, облигат азот фиксацияловчи эндофит *Azoarcus sp.* (BH72 штамм) хўжайин ўсимликнинг ҳимоя механизмларини индуциялайди. Бу эса шоли ўсимлигида бошқа эндофит микроорганизмларнинг колонизацияланишини қийинлаштиради. Маккажўхори ўсимлиги майсаларини ушбу ўсимлик пояларида устувор бўлган эндофитлар - *Bacillus pumilus, Bacillus subtilis, Pseudomonas aeruginosa* ва *Pseudomonas fluorescens* билан инокуляция қилиб, қиёсий ўрганилганда, майсаларда *Bacillus subtilis* эндофитининг титри бошқа бактерияларга нисбатан юқори бўлганлиги кузатилган [25-27].

Мана шу муаллифлар томонидан эндофит бактерияларнинг ўсимликларни ўстириш хусусияти ҳам ўрганиб чиқилганда, ризосферада колонияланадиган эндофитларини фитопатоген микроорганизмлар ўсишини ингибирлаш хусусияти мавжуд эмаслиги аниқланган. Синчиклаб ўрганиш натижасида бу бактерияларнинг ўсимликлар ўсишини рағбатлантириш хусусияти ўсимликларнинг минерал озиқланишини яхшилаш ҳисобига бўлиши аниқланган. Эндофит бактерияларнинг ўсимликларни фосфор билан озиқланишини кучайтириши, индол сирка кислотаси, сидерофорлар ва витаминлар синтез қилиши аниқланган. Булардан ташқари, эндофитлар осмотик босимни ва устьицаларни фаолиятини бошқаришда ҳам фаол

иштирок этадилар, ўсимликларнинг азотли озиқланишида ҳамда илдиз тизимининг ривожланишини модификациялашда қатнашадилар. Кейинги даврда ўсимликларнинг ўсишини рағбатлантирувчи эндофитлар ўрмон ўсимликларини қайта кўпайтиришда ва тупроқнинг техноген ифлосланишини фитормедиация қилишда ҳам ишлатила бошлади [28, 29].

Эндофит бактериялар, фитопатоген микроорганизмларни ўсимликларга зарарли таъсирини пасайтириш ёки йўқотиш хусусиятига ҳам эга. Ўсимликларни эндофит бактериялар билан инокуляция қилиш, ўсимликларга патоген замбуруғлар, бактериялар, ҳашаротлар ва нематодалар келтирадиган зарарни камайтиради. Маълумки, эндофит бактериялар ўсимликларнинг барқарорлигини индуцирланган тизими деб аталадиган ҳимоя механизмини ишга солиши мумкинлиги ҳақида башоратлар қилинган. Бу механизм олинган тизимли барқарорликка ўхшаб кетади. Демак, бактериал эндофитлар ўсимлик касалликларига қарши курашда фойдали бўлган экологик хавфсиз микробиологик ишланмалар учун истиқболли манба бўлиб хизмат қилишлари мумкин [30].

Эндофитларнинг кўплари *Pseudomonas, Burkholderia* ва *Bacillus* авлодига кирувчи тупроқ бактерияларининг вакиллари ҳисобланади. Бундай микроорганизмлар иккиламчи бактериал метаболитлар, яъни антибиотиклар, саратонга қарши бирикмалар, учувчан органик бирикмалар, фунгицидлар, инсектицидлар ва иммунодепрессив моддалар продуцентлари ҳисоблансалар-да, улардан биологик фаол моддалар продуцентлари сифатида фойдаланиш тўлиқ йўлга қўйилмаган [31].

Юқорида таъкидлаб ўтилганидек, эндофит бактерияларнинг ноёб штаммларидан ўсимликларнинг ички тўқималарига фаол колонизацияланадиган ва шу орқали ўсимликларда содир бўладиган биокимёвий ва физиологик жараёнларга ижобий таъсир этишини эътиборга олиб, улардан ўсимликларнинг уруғлари ва кўчатларига ишлов бериш мақсадида фойдаланилади. Улар биотик ва абиотик омилларнинг ўсимликларга салбий таъсирининг олдини оладилар [32].

Эндофитлар бу тўсатдан пайдо бўлиб қолган ва эндосферани эгаллаб олган бактериялар эмас. Улар ўсимликлар томонидан танлаб олинган бўлиб, ушбу танловда бўлажак ҳамкорликнинг хўжайин ўсимликни стресс омилларидан ҳимоя қилиш учун зарур бўлган моддаларни синтез қилиш имкониятларидан фойдаланишга асосланганлигини эътиборга олиш мақсадга мувофиқ бўлар эди. Ўсимликлар томонидан эндофит бактериялар биомассасини тўплашга сарфланадиган энергия хўжайин ўсимликнинг физиологик ҳолати ва ривожланишини яхшилаш ҳисобига қопланади [33].

Ўсимликларни эндофит микроорганизмлар билан инокуляция қилиш катта миқдорда инокулюм ишлатишни талаб қилмайди. Бунга сабаб ўсимлик-эндофит микроорганизмлар ўртасидаги юқори спецификлик ва эндофитларнинг рақобатбардошлигидир. Бу ёндашув анъанавий кимёвий усулларга муқобил сифатида таклиф қилинадиган биотехнологик ишлаб чиқариш учун жозибали ҳисобланади ва кимёвий пестицидлар ўрнида фойдаланиш имконини беради [34].

Келажакда, эндофитлар билан пестицидларни комбинацияси бир ёки бир нечта касаллик қўзғатувчиларига қарши курашда синергетик таъсирга эга бўлган самарали усул бўлиб хизмат қилиши мумкин. Маълумки, кимёвий пестицидлар фитопатоген микроорганизмларга қарши қисқа муддатли таъсир кўрсатади, биологик агентлар эса фитопатогенларга қарши бутун вегетация даврида таъсир этадилар [35].

Шундай қилиб, ўсимликлар табиатда эндофит бактериялар билан мустаҳкам ҳамкорликда ривожланадилар. Бу ҳамкорлик ўсимликнинг соғлом ривожланишини таъминлайди, ҳосилдорликни оширади, тупроқнинг фитормедиатсиясига ёрдам беради, патогенларнинг ривожланишини бўғиб қўяди, атмосфера азотини фиксация қилади ва турли хил биологик фаол моддаларни синтез қилади [36].

“Эндофит-ўсимлик” ўзаро муносабатларидан фойдаланиш ўсимликлар асосида олинадиган озиқ-овқат ва техник маҳсулотларни, яъни қишлоқ хўжалиги маҳсулотларини ишлаб чиқариш харажатларини камайтириш имконини беради. Эндофит бактерияларнинг ўсимликлар билан ўзаро муносабатга киришиш механизмларини яхши тушуниш ўсимликларнинг ривожланишига ижобий таъсир кўрсатиш ва микроорганизмларнинг биотехнологик имкониятларидан янада тўлиқроқ фойдаланишга йўл очади.

Ушбу тадқиқотлар Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Микробиология институтида амалга оширилаётган AL-9524115068 ва FL-8323102128 рақамли лойиҳалар доирасида бажарилди.

ФОЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР

1. Vippel, K. (2023). Plant and microbial features governing an endophytic lifestyle. Current Opinion in Plant Biology, 76, 102483. https://doi.org/10.1016/j.pbi.2023.102483

2. Fagorzi & Mengoni (2022). Endophytes: Improving Plant Performance. Microorganisms, 10, 1777. https://doi.org/10.3390/microorganisms10091777

3. Gouda S., Kerry R.G., Das G., Paramithiotis S., Shin H.-S., Patra J.K. (2021). Plant growth-promoting bacterial endophytes as biocontrol agents of pre- and post-harvest diseases: Fundamentals, methods of application and future perspectives. Microbiological Research, 242, 126612. https://doi.org/10.3390/applmicrobiol5020044

4. Wu W., Chen W., Liu S., et al. (2021). Beneficial Relationships Between Endophytic Bacteria and Medicinal Plants. Frontiers in Plant Science, 12, 646146.

5. Sharma P. (2021). Efficiency of bacteria and bacterial assisted phytoremediation of heavy metals: An update. Bioresource Technology, 328, 124835. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124835

6. Karaś M.A., Wdowiak-Wróbel S., Sokołowski W. (2021). Selection of Endophytic Strains for Enhanced Bacteria-Assisted Phytoremediation of Organic Pollutants Posing a Public Health Hazard. International Journal of Molecular Sciences, 22, 9557. https://doi.org/10.3390/ijms22179557

7. Orozco-Mosqueda M.C., Santoyo G. (2021). Plant-microbial endophytes interactions: Scrutinizing their beneficial mechanisms from genomic explorations. Current Plant Biology, 25, 100189. https://doi.org/10.1016/j.cpb.2020.100189

8. Gayathri Devi Kandasamy, Preethi Kathirvel. Insights into bacterial endophytic diversity and isolation with a focus on their potential applications – A review (2022). Microbiological Research. https://doi.org/10.1016/j.micres.2022.127256

9. Compant S., Samad A., Faist H., Sessitsch A. (2019). A review on the plant microbiome: Ecology, functions, and emerging trends in microbial application. Journal of Advanced Research, 19, 29–37. https://doi.org/10.1016/j.jare.2019.03.004

10. Santoyo G., Moreno-Hagelsieb G., Orozco-Mosqueda M.C., Glick B.R. (2016). Plant growth-promoting bacterial endophytes. Microbiological Research, 183, 92–99. https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.11.008

11. Reiter B., Sessitsch A. (2006). Bacterial endophytes of the wildflower Crocus albiflorus analyzed by characterization of isolates and by a cultivation-independent approach. Canadian Journal of Microbiology, 52(2), 140–149. https://doi.org/10.1139/w05-109

12. James E.K. et al. (2002). Infection and colonization of rice seedlings by the plant growth-promoting bacterium Herbaspirillum seropedicae Z67. Molecular Plant-Microbe Interactions, 15(9), 894–906. DOI: 10.1094/MPMI.2002.15.9.894.

13. Vyacheslav Shurigin, Dilfuza Egamberdieva, LI Li, Kakhramon Davranov, Hovik Panosyan, Nils-Kåre Birkeland, Stephan Wirth, Sonoko Dorothea Bellingrath-Kimura. Endophytic bacteria associated with halophyte Seidlitzia rosmarinus Ehrenb. ex Boiss. from saline soil of Uzbekistan and their plant beneficial traits. Journal of Arid Land. https://doi.org/10.1007/s40333-020-0019-4.

14. Vyacheslav Shurigin, Dilfuza Egamberdieva, Sitora Samadiy, Gulsanam Mardonova, Kakhramon Davranov. Endophytes from medicinal plants as biocontrol agents against fusarium caused diseases. ISSN 1028-0987. Мікробіол. журн., 2020, Т. 82, № 4. doi: https://doi.org/10.15407/microbiolj82.04.041

15. Oukala, N., Aissat, K., & Pastor, V. (2021). Bacterial Endophytes: The Hidden Actor in Plant Immune Responses against Biotic Stress. Plants, 10(5), 1012. https://doi.org/10.3390/plants10051012

16. Dilfuza Jabborova, Annapurna Kannepalli, Kakhramon Davranov, Abdujalil Narimanov, Yuriy Enakiev, Asad Syed, Abdallah M. Elgorban, Ali H. Bahkali, Stephan Wirth, R. Z. Sayyed & Abdul Gafur. Co-inoculation of rhizobacteria promotes growth, yield, and nutrient contents in soybean and improves soil enzymes and nutrients under drought conditions. Scientific Reports. (2021) 11:22081. https://doi.org/10.1038/s41598-021-01337-9

17. Zinniel D.K., Lambrecht P., Harris N.B., Feng Z., Kuczmarski D., Higley P., Ishimaru C.A., Arunakumari A., Barletta R.G., Vidaver A.K. (2002). Isolation and characterization of endophytic colonizing bacteria from agronomic crops and prairie plants. Applied and Environmental Microbiology, 68(5), 2198–2208.

18. Nigora Rustamova, Jakhongir Movlanov, Dildora Alimova, Heng Yin, Guozheng Huang, Maksud Isokov, Tang Li, Nasiba Khodjaeva, Aktam Nurniyozov, Sobirdjan

Sasmakov, Batyr Khasanov, Dilmurod Murodullayev, Bakhodir Mamarasulov, Alimardon Umruzokov, Toshkhon Gulyamova, Hongcheng Jiang, Weizheng Sun, Xiao-Chen Liu, Senhua Chen, Kakhramon Davranov, Abulimiti Yili. Soil-associated microorganisms: A natural source of biologically active compounds. Phytochemistry, Volume 246, 2026. https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2026.114820

19. Buschart A., Sachs S., Chen X., Herglotz J., Krause A., Reinhold-Hurek B. (2012). Flagella mediate endophytic competence rather than act as MAMPs in rice–Azoarcus sp. strain BH72 interactions. Molecular Plant-Microbe Interactions, 25(2). DOI: 10.1094/MPMI-05-11-0138.

20. Shurigin V., Davranov K., Wirth S., Egamberdieva D., Bellingrath-Kimura S.D. Medicinal plants with phytotoxic activity harbour endophytic bacteria with plant growth inhibitory properties. Environmental Sustainability. 2018. Vol 1:209-215. https://doi.org/10.1007/s42398-018-0020-4

21. Miché L., Battistoni F., Gemmer S., Belghazi M., Reinhold-Hurek B. (2006). Upregulation of jasmonate-inducible defense proteins and differential colonization of roots of Oryza sativa cultivars with the endophyte Azoarcus sp. Molecular Plant-Microbe Interactions, 19(5), 502–511. DOI: 10.1094/MPMI-19-0502.

22. Kakhramon Davranov, Vyacheslav Shurigin, Absakhat Mammadiev, Kholida Ruzimova. Epiphytic bacteria Bacillus subtilis UZNU-18 from Jerusalem Artichoke (Helianthus tuberosus l.) – the active biocontrol agent of phytopathogenic microorganisms. ISSN 1028-0987. Мікробіол. журн., 2019, Т. 81, № 3. doi: https://doi.org/10.15407/microbiolj81.03.027

23. Morales-Cedeño L.R., Orozco-Mosqueda M.C., Loeza-Lara P.D., Parra-Cota F.I., de los Santos-Villalobos S., Santoyo G. (2021). Plant growth-promoting bacterial endophytes as biocontrol agents of pre- and post-harvest diseases: Fundamentals, methods of application and future perspectives. Microbiological Research, 242, 126612. DOI: 10.1016/j.micres.2020.126612.

24. Sharma P. (2021). Efficiency of bacteria and bacterial assisted phytoremediation of heavy metals: An update. Bioresource Technology, 328, 124835. DOI: 10.1016/j.biortech.2021.124835.

25. Franco-Franklin V., Moreno-Riascos S., Ghneim-Herrera T. (2021). Are Endophytic Bacteria an Option for Increasing Heavy Metal Tolerance of Plants? A Meta-Analysis of the Effect Size. Frontiers in Environmental Science, 8, 603668. DOI: 10.3389/fenvs.2020.603668.

26. Pandharikar, G., et al. (2022). Salicylic Acid in Plant Symbioses: Beyond Plant Pathogen Interactions. Biology, 11(6), 861. https://doi.org/10.3390/biology11060861

27. Chen, X., Marszałkowska, M., & Reinhold-Hurek, B. (2020). Jasmonic Acid, Not Salicylic Acid Restricts Endophytic Root Colonization of Rice. Frontiers in Plant Science, 10, 1758. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01758

28. Bahodir Mamarasulov, Mohammed Al-zharani, Fahd A. Nasr, Lina M. Alneghery, Kakhramon Davranov, Muhabbat Jumaniyazova, Alimardon Umruzokov,

Dilfuza Jabborova, Jayanthi Barasarathi and Riyaz Sayyed. Soil Microbiome of the Dried Aral Sea Soils Promotes Wheat Growth Under Salinity. Egyptian Journal of Soil Science. vol. 65, No. 4, pp: 2019-2037 (2025) https://doi.org/10.21608/ejss.2025.436503.2424

29. Tshikhudo, P. P., Ntushelo, K., & Mudau, F. N. (2023). Sustainable Applications of Endophytic Bacteria and Their Physiological/Biochemical Roles on Medicinal and Herbal Plants: Review. Microorganisms, 11(2), 453. https://doi.org/10.3390/microorganisms11020453

30. Gamage, A., Gangahagedara, R., Gamage, J., Jayasinghe, N., Kodikara, N., Suraweera, P., & Merah, O. (2023). Role of Organic Farming for Achieving Sustainability in Agriculture. Farming System, 1(1), 100005. https://doi.org/10.1016/j.farsys.2023.100005

31. Liang, G. (2022). Nitrogen Fertilization Mitigates Global Food Insecurity by Increasing Cereal Yield and Its Stability. Global Food Security, 34, 100652. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2022.100652

32. Knights, H. E., Jorrin, B., Haskett, T. L., & Poole, P. S. (2021). Deciphering Bacterial Mechanisms of Root Colonization. Environmental Microbiology Reports, 13(4), 428–444. https://doi.org/10.1111/1758-2229.12934

33. Ali M.A., Ahmed T., Ibrahim E., Rizwan M., Chong K.P., Yong J.W.H. (2024). A review on mechanisms and prospects of endophytic bacteria in biocontrol of plant pathogenic fungi and their plant growth-promoting activities. Heliyon, 10(11), e31573. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e31573

34. Guha T., Biswas S.M. (2024). Recent progress in the role of seed endophytic bacteria as plant growth-promoting microorganisms and biocontrol agents. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 40, 218. DOI: 10.1007/s11274-024-04031-w

35. Kaur, G., Patel, A., Dwibedi, V. et al. Harnessing the action mechanisms of microbial endophytes for enhancing plant performance and stress tolerance: current understanding and future perspectives. Arch Microbiol 205, 303 (2023). https://doi.org/10.1007/s00203-023-03643-4

36. Anand U., Pal T., Yadav N., et al. (2023). Current Scenario and Future Prospects of Endophytic Microbes: Promising Candidates for Abiotic and Biotic Stress Management for Agricultural and Environmental Sustainability. Microbial Ecology, 86, 1455–1486. DOI: 10.1007/s00248-023-02190-1