

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI

OLIY TA'LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI

FARG'ONA DAVLAT UNIVERSITETI

**FarDU.
ILMIY
XABARLAR**

1995-yildan nashr etiladi
Yilda 6 marta chiqadi

4-2025
TABIY FANLAR

**НАУЧНЫЙ
ВЕСТИК.
ФерГУ**

Издаётся с 1995 года
Выходит 6 раз в год

R.A.Kulmatov, A.X.Alimov, J.A.Mirzaev, S.A.Odilov

Geografik axborot tizimlari asosida tuproq sho'rlanishini xaritalashtirish va fazoviy tahlil qilish.... 261

S.B.Xatamova, N.E.Rasulov

Shohimardon hududida qashqarbeda (*Melilotus officinalis* L.) o'simligining tarqalishi va bioekologik o'ziga xosligi 267

N.E.Rasulov

Shohimardon hududida o'suvchi Turkiston shotarachasi (*Fumariola turkestanica* korsh.) o'simligining bioekologik holati 273

N.E.Rasulov

Shohimardon hududida o'suvchi Oloy xiyoli (*Physochlaina alaica*) o'simligi bioekologiyasi 279

M.V.Obidov

Iqlim o'zgarishi sharoitida mikroorganizmlarning agroekologik barqarorlikni ta'minlashdagi roli... 284



UO'K: 579.64:581.1:631.95+551.583

IQLIM O'ZGARISHI SHAROITIDA MIKROORGANIZMLARNING AGROEKOLOGIK BARQARORLIKNI TA'MINLASHDAGI ROLI**РОЛЬ МИКРООРГАНИЗМОВ В ОБЕСПЕЧЕНИИ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА****THE ROLE OF MICROORGANISMS IN ENSURING AGROECOLOGICAL STABILITY UNDER CLIMATE CHANGE CONDITIONS****Obidov Muzaffarjon Valijonovich** 

Farg'ona davlat universiteti, Zoologiya va umumiy biologiya kafedrası dotsenti, b.f.f.d., PhD

Annotatsiya

Mazkur maqolada iqlim o'zgarishi sharoitida o'simliklarning o'sishi va rivojlanishiga ta'sir ko'rsatuvchi mikrobiologik preparatlarning ahamiyati ilmiy manbalar asosida tahlil qilingan. Foydali mikroorganizmlar, xususan rizobakteriyalar va mikorizal zamburug'lar o'simliklar bilan bevosita va bilvosita aloqaga kirishib, o'simliklarning oziqlanishini yaxshilaydi, o'sish gormonlari va sideroforlar sintezini kuchaytiradi, abiotik va biotik stress omillariga bardoshlilikini oshiradi. Shuningdek, ushbu ishda o'sishni rag'batlantiruvchi mikroorganizmlarning fitogormonlar biosintezini, fosfor va temir kabi elementlarni eruvchan holga aylantirishdagi roli, o'simlik patogenlariga qarshi bionazorat mexanizmlari, shuningdek mikrob bioo'g'itlar asosida biofortifikatsiya strategiyalari chuqur yoritilgan.

Аннотация

В данной статье представлен анализ научной литературы, посвящённой роли микробиологических препаратов в стимуляции роста и развития растений в условиях изменения климата. Полезные микроорганизмы, в частности ризобактерии и микоризные грибы, взаимодействуют с растениями как напрямую, так и опосредованно, улучшая усвоение питательных веществ, усиливая синтез фитогормонов и сидерофоров, а также повышая устойчивость к абиотическим и биотическим стрессовым факторам. Кроме того, в исследовании рассматривается роль микроорганизмов, стимулирующих рост растений (PGPR), в биосинтезе фитогормонов, растворении таких элементов, как фосфор и железо, в механизмах биологического контроля фитопатогенов, а также в применении микробных биоудобрений в стратегиях биофортификации.

Abstract

This article presents a literature-based analysis of the role of microbiological preparations in influencing plant growth and development under climate change conditions. Beneficial microorganisms, particularly rhizobacteria and mycorrhizal fungi, interact with plants both directly and indirectly, improving nutrient uptake, enhancing the synthesis of growth hormones and siderophores, and increasing resistance to abiotic and biotic stress factors. Furthermore, this study explores the role of plant growth-promoting microorganisms (PGPR) in phytohormone biosynthesis, the solubilization of elements such as phosphorus and iron, biological control mechanisms against phytopathogens, and the implementation of microbial biofertilizers in biofortification strategies.

Kalit so'zlar: Mikrobiologik preparat, mikroorganizm, PGPR, mikoriza, zamburug', agroekologik barqarorlik, bioo'g'it, fitogormon, biotik stress, abiotik stress, biofortifikatsiya, siderofor, biologik nazorat.

Ключевые слова: Микробиологический препарат, микроорганизм, PGPR, микориза, гриб, агроэкологическая устойчивость, биоудобрение, фитогормон, биотический стресс, абиотический стресс, биофортификация, сидерофор, биологический контроль.

Key words: Microbiological preparation, microorganism, PGPR, mycorrhiza, fungus, agroecological sustainability, biofertilizer, phytohormone, biotic stress, abiotic stress, biofortification, siderophore, biological control.

KIRISH

Barqaror qishloq xo'jaligida o'simliklarning ozuqa moddalariga bo'lgan ehtiyoji muhim agroekologik omillardan biri hisoblanadi. Bioo'g'itlar tarkibida o'simliklarning ozuqaviy holatini yaxshilaydigan va ularga tuproq orqali oziq moddalar kirishini ta'minlaydigan foydali mikroorganizmlar mavjud. Aholining tobora ortib borayotgan oziq-ovqat ehtiyojlarini qondirish uchun sifatli ekinlarni yetishtirish, ularni o'sishi va rivojlanishi uchun zarur bo'lgan makro- va mikroelementlar bilan ta'minlash juda muhim ilmiy muammolardan biri hisoblanadi. Bugungi kunda

ILMIY AXBOROT

bunday natijalarga erishishda, mikroorganizmlar asosida yaratilgan bioo'g'itlardan foydalanish samarali natija beradi. Shu sababli, mikroorganizmlar asosidagi bioinokulyantlar o'simliklarning o'sishini rag'batlantirish va tuproq unumdorligini oshirishning ekologik xavfsiz va samarali usullardan biri hisoblanadi.

Barqaror qishloq xo'jaligi amaliyotlarida ushbu foydali mikroorganizmlar ekinlar uchun ko'plab ijobiy ta'sir ko'rsatadi. Bakteriya va zamburug' kabi mikroorganizmlar o'simliklarda himoya funksiyalarini faollashtirish, immun javoblarni kuchaytirish, tuproqda temir, rux, magniy tanqisligi yoki fosforning eruvchanligi kabi jarayonlarni bartaraf etishda muhim ahamiyatga ega.

O'simliklar bilan aloqada bo'ladigan mikroorganizmlar turli sharoitlarda - tabiiy yoki ekstremal muhitda bo'lishidan qat'iy nazar - o'simliklarning o'sishini rag'batlantiradi. O'sishni rag'batlantiruvchi mikroorganizmlar (PGPR) atmosferadagi azotni fiksatsiyalash, o'sish gormonlarini ishlab chiqarish (auksinlar, gibberellinlar, sitokininlar), sideroforlar va vodorod siyanid (HCN) kabi moddalarni sintez qilish, gidrolitik fermentlar ishlab chiqarish (xitinaza, proteaza va boshq.) hamda kaliy, rux va fosfor eruvchan shakllarga aylantirishda faol ishtirok etadi.

Mazkur maqolada, o'sishni rag'batlantiruvchi mikroorganizmlarning o'simliklarning o'sishi va rivojlanishiga ta'sir mexanizmlari hamda ularning agroekotizimlarda qo'llanilishiga oid ilmiy manbalar tahlil qilindi va umumlashtirildi.

ADABIYOTLAR TAHLILI

O'simliklarning o'sishini rag'batlantiruvchi rizobakteriyalar o'simlik o'sishini turli mexanizmlar orqali faollashtirish xususiyatiga ega bo'lgan foydali mikroorganizmlar hisoblanadi [1]. Tuproq mikrobiotasi tarkibining genetik va fenotipik jihatdan yuqori darajadagi xilma-xilligi bu mikroorganizmlarni o'rganish va tavsiflash jarayonini murakkablashtiradi. So'nggi yillarda rizosfera (ildiz atrofi hududi) ekologik birlik sifatida katta ilmiy e'tibor qozonmoqda, chunki u o'simliklarning o'sishiga bevosita yoki bilvosita sezilarli ta'sir ko'rsatadigan PGPR turlari bilan tavsiflanadi [2].

O'simliklarning o'sishini rag'batlantiruvchi rizobakteriyalar erimaydigan fosfat birikmalarini eritib, atmosfera azotini fiksatsiyalash, shuningdek, o'simlik o'sishini tartibga soluvchi gormonlarni sintez qilish orqali o'simlik o'sishini rag'batlantiradi. Bundan tashqari, ular induksiyalangan tizimli qarshilik mexanizmi orqali o'simlik immun javobini faollashtirishi, ozuqa moddalariga raqobat qilishi, antibiotiklar va sideroforlar ajratishi, shuningdek, patogenlarning o'sishini to'xtatish kabi xususiyatlari bilan ajralib turadi [3].

Rizobakteriyalar faolligi patogenlarga qarshi antagonistik ta'sir ko'rsatishi va o'simlik bo'ylab tizimli qarshilikni shakllantirishi mumkin. Bu esa o'simliklarga bilvosita himoyani ta'minlab, ulardagi o'sish va rivojlanishni saqlashda muhim ahamiyat kasb etadi. O'simliklarning o'sishini rag'batlantiruvchi rizobakteriyalar tomonidan ishlab chiqariladigan ikkilamchi metabolitlar, lipopeptidlar va fitogormonlar patogen mikroorganizmlarga qarshi biologik kurashda samarali vosita sifatida xizmat qiladi [4, 5].

So'nggi yillarda olib borilgan tadqiqotlar o'simliklarning o'sishini rag'batlantiruvchi rizobakteriyalarni an'anaviy o'g'itlar va kimyoviy pestitsidlarning muqobili sifatida foydalanish imkoniyatlarini o'rganishga qaratilgan bo'lib, bu ularning qishloq xo'jaligidagi ahamiyatini yanada oshirdi [6]. Rizobakteriyalardan tuproq strukturasini yaxshilash, unda ozuqa elementlarining aylanishini tezlashtirish, organik moddalarni parchalash, mineral ozuqalarni eruvchan shaklga keltirish hamda urug' va tuproq orqali yuqadigan kasalliklarga qarshi bionazorat agentlari sifatida foydalanish mumkin [7, 8].

O'simliklarning o'sishini rag'batlantiruvchi rizobakteriyalarning biologik va abiotik omillar bilan o'zaro ta'sirini chuqurroq o'rganish, ayniqsa bioremediatsiya texnologiyalarini ishlab chiqishda muhim ahamiyatga ega. Shuningdek, bu mikroorganizmlar energiya ishlab chiqarish, farmatsevtika, kimyo va oziq-ovqat sanoatida ham istiqbolli biotexnologik yechimlar sifatida qo'llanishi mumkin. Rizobakteriyalarning yana bir muhim afzalligi shundaki, ular kimyoviy o'g'itlar sarfini kamaytirishga yordam beradi, bu esa qishloq xo'jaligi tizimlarining ekologik barqarorligi va umumiy hosildorligini oshirish imkonini beradi [9].

Bugungi kunda o'simliklarning o'sishini rag'batlantiruvchi rizobakteriyalar va boshqa foydali mikroorganizmlarni fosfor erituvchi zamburug'lar bilan birgalikda ishlatish orqali o'simliklarning temir va fosfor tanqisligiga bardoshlilikini oshirish, shuningdek, ishlab chiqarish xarajatlarini

kamaytirish va optimal agroteknik usullarni aniqlashga qaratilgan strategiyalar ishlab chiqilmoqda [10].

1-jadval

O'simliklarning o'sishini rag'batlantiruvchi rizobakteriyalarning madaniy ekinlarga ta'siri (Prasad va boshq., 2019)

T/r	Mikroorganizm turi (shtamm)	Madaniy ekin turi	Rizobakteriyalarning ta'sir mexanizmi
1	<i>Azospirillum</i> sp.	Bug'doy	Atmosfera azotini fiksatsiyalash va auksin (ayniqsa IAA - indol-3-sirka kislotasi) biosintezi orqali ildiz o'sishini rag'batlantiradi.
2	<i>Bacillus</i> sp.	Qulupnay	Antioksidant ferment tizimlarini (masalan, superoksid dismutaza, katalaza) faollashtirish va stressga qarshi erta bosqichda prolin akkumulyatsiyasini ta'minlaydi.
3	<i>Streptomyces</i> sp.	Pomidor	Ikkilamchi metabolitlar sintezi orqali o'simlikda karbon gidratlar (masalan, saxaroza, glyukoza) miqdorini oshiradi va metabolik faollikni kuchaytiradi.
4	<i>Pseudomonas</i> sp.	Arabidopsis	Deaminaza faolligi orqali etilen biosintezini kamaytiradi; gibberellin, abstsiz kislotasi, indol-3-sirka kislotasi va ekzopolisaxaridlar ishlab chiqarib, o'sish va stressga javob mexanizmlarini tartibga soladi.
5	<i>Enterobacter</i> sp.	Fasol	Prolin va malondialdegid miqdorini oshiradi, superoksid dismutaza, katalaza va peroksidaza kabi antioksidant fermentlar faolligini kuchaytiradi.
6	<i>Azospirillum brasilense</i>	Bug'doy	Prolin biosintezini faollashtiradi; H ₂ O ₂ darajasini pasaytirish orqali oksidlovchi stressni kamaytiradi va shu bilan birga katalaza hamda peroksidaza fermentlari faolligini tartibga soladi.

O'simliklarning o'sishiga yordam beruvchi rizobakteriyalar agrar ekotizimlar uchun muhim mikroorganizmlar hisoblanadi. Ularning o'simlik o'sishiga bo'lgan ijobiy ta'siri asosan rizobakteriyalarning biologik va ekologik xususiyatlariga bog'liqdir. Ular rizoferadagi mikrobial jamoalarni faollashtirish yoki o'zgartirish orqali oziqa moddalari (azot, fosfor, kaliy va boshqa muhim minerallar) bilan ta'minlash, shuningdek, o'simlik gormonlarini sintez qilish imkoniyatiga ega. Masalan, *Astrophytum* spp. o'simligi rizobakteriyalar asosida olingan preparatlar bilan ishlov berilib, bioko'mir bilan boyitilgan substratlarda yetishtirilganda ildiz rivojlanishi, gullash jarayoni sezilarli darajada yaxshilangan [11, 12]. O'simliklarning o'sishiga yordam beruvchi rizobakteriyalar bionazorat agentlari, ekologik muhofaza vositalari va ildiz zonasi kolonizatorlari sifatida ham faoliyat ko'rsata oladi. Ular patogen mikroorganizmlarning salbiy ta'sirini kamaytirish orqali o'simlik o'sishini bilvosita rag'batlantiradi [13].

Zamonaviy barqaror qishloq xo'jaligida mikroorganizmlarning mavjudligi muhim omil hisoblanadi. Shu bilan birga, mikrobiologik muvozanatning buzilishi o'simlik sifati va hosildorligining pasayishiga olib kelishi mumkin [14]. O'simliklarning o'sishiga yordam beruvchi rizobakteriyalar azotni fiksatsiyalash, organik moddalarni mineralizatsiya qilish, erimaydigan mineral ozuqa moddalari (masalan, fosfat) ni eruvchan holatga keltirish, shuningdek, fitogormonlar ishlab chiqarish orqali o'simliklarning oziqlanishini yaxshilaydi va ularning biotik hamda abiotik stresslarga (yuqori harorat, qurg'oqchilik) chidamliligini oshiradi. Ko'plab o'simliklarning o'sishiga yordam beruvchi rizobakteriyalarning turlari ekstremal ekologik sharoitlarga moslashgan bo'lib, bunday muhitlarda omon qolish qobiliyatiga ega. Ushbu mikroorganizmlar turli mexanizmlar - masalan, antibiotiklar, vodorod sianid, sideroforlar va gidrolitik fermentlar ishlab chiqarish orqali patogenlarga qarshi kurasha oladi [15].

Rizobakteriyalar tomonidan o'simlik o'sishini rag'batlantiruvchi bevosita mexanizmlar. Fitogormonlar o'simliklarning o'sish jarayonida hal qiluvchi rol o'ynaydi. Ular o'simlikning atrof-muhitga bo'lgan fiziologik javobini tartibga soluvchi biokimyoviy signal molekullari hisoblanadi. Ushbu gormonlar o'simlikning muayyan qismlarida (organlarida) sintez qilinadi va keyinchalik

ILMIY AXBOROT

boshqa organlarga tashiladi va shu yerda o'sishni rag'batlantiruvchi yoki tartibga soluvchi ta'sir ko'rsatadi.

Ildiz va barglarning o'sishi fitogormonlar ta'sirida yuzaga keladigan morfogenetik reaksiyalar bilan chambarchas bog'liq. O'simlik gormonlari tarkibiga auksinlar, gibberellinlar, etilen, sitokininlar kislota kiradi. Qiziqarli tomoni shundaki, o'sishni rag'batlantiruvchi rizobakteriyalar ushbu fitogormonlarning bir qismini o'zlari sintez qila oladi. Masalan, *Azospirillum* sp. turiga mansub bakteriyalar metabolizmi davomida bir necha auksinga o'xshash tabiiy molekulalarni ishlab chiqaradi [16].

Indol-3-sirka kislota (IAA) - eng keng tarqalgan bakterial auksin hisoblanadi va u sharoit va bakteriya shtammiga qarab 5 dan 50 mkg/ml gacha konsentratsiyada sintez qilinadi [17]. Shuningdek, indol-3-butirik kislota (IBA) va fenilasetik kislota (FAA) ham auksinlarga o'xshash biologik faollikka ega bo'lgan molekula hisoblanadi. *Azospirillum* sp. tomonidan hosil qilingan boshqa indol birikmalar tarkibiga indol-3-etanol, indol-3-metanol, indol-3-asetamid (IAM), indol-3-asetaldegid, triptamin (TAM), antranilat va boshqa o'rganilgan metabolitlar kiradi [18].

Sitokininlar esa asosan o'simliklarning ildiz va kurtaklarida hosil bo'lib, hujayra bo'linishi, hujayralar differensiyasi, apikal dominantlik, aksial kurtaklarning rivojlanishi va barglarning qarishini tartibga soladi [19]. Bu gormonlar nafaqat o'simliklarda, balki ayrim zamburug'lar va o'sishni rag'batlantiruvchi shtamlarda ham sintez qilinadi. Sitokininlarni sintez qiluvchi rizobakteriyalar qatoriga *Azotobacter*, *Pantoea agglomerans*, *Rhizobium*, *Rhodospirillum rubrum*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens* va *Paenibacillus polymyxa* larni misol qilib keltirish mumkin. Rizobakteriyalar, shuningdek, suv tanqisligi, sho'rlanish, harorat va boshqa abiotik stress sharoitida o'simliklarga yordam beruvchi mexanizmlarga ega [20, 21].

Gibberellinlar esa o'simliklarning rivojlanish bosqichlariga ijobiy ta'sir ko'rsatadi. Jumladan, poyaning cho'zilishi, urug'ning unib chiqishi, tinim davrining o'zgarishi (buzilishi), gullash va gul organlarining shakllanishini tartibga soladi. O'simliklar o'sishiga yordam beruvchi rizobakteriyalar tomonidan gibberellin sintezi, shuningdek, ushbu gormonni tartibga soluvchi sitokinin bilan bog'liq polimerik oqsil retseptorlar orqali sintezlanadi. IAA o'simlik va o'simliklar o'sishiga yordam beruvchi rizobakteriyalar o'rtasidagi o'zaro ta'sirda alohida o'rin tutadi. U ildiz uzayishini, lateral ildizlarning rivojlanishini, organogenezni, gen ifodasini, pigmentatsiyani, fotosintez faolligini va trofik reaksiyalarni faollashtiradi. IAA miqdori bakteriya shtammiga va o'simlik turiga qarab farq qiladi [22].

Etilen - aksariyat o'simliklar tomonidan sintez qilinadigan o'sish gormoni bo'lib, u stressga javoban ko'plab fiziologik jarayonlarda ishtirok etadi. Stress sharoitlarida (sho'rlanish, qurg'oqchilik, sovuq va ifloslanish) etilen sintezi o'simlik o'sishini cheklaydi [23]. O'simliklar o'sishiga yordam beruvchi rizobakteriyalar tarkibidagi 1-aminosiklopropan-1-karboksilat (ACC) deaminaza fermenti ushbu gormonning ortiqcha sintezini kamaytirib, o'simlikni mazkur holatdan himoya qiladi [24].

Abstsiz kislota (ABA) esa o'simliklarda stressga chidamli genlarni faollashtirish orqali qurg'oqchilikka bardoshlilikni ta'minlaydi. O'simliklar o'sishiga yordam beruvchi rizobakteriyalar tarkibidagi *Bacillus licheniformis* Rt4M10, *Azospirillum brasilense* sp. 245 va *Pseudomonas fluorescens* Rt6M10 kabi shtamlar ABA sintezini faollashtirib, o'simliklardagi ichki ABA miqdorini oshiradi, natijada qurg'oqchilikka nisbatan chidamlilik ortadi. Shuningdek, rizobakteriyalar azot fiksatsiyasi orqali azot yetishmovchiligini bartaraf etsa, fosfor kabi boshqa hayotiy muhim elementlarning eruvchan shaklga aylanishiga ham hissa qo'shadi [15].

2-jadval

O'simliklardagi issiqlik stressini yumshatishda rizobakteriyalarni qo'llash (*Bhat va boshq., 2020*)

T/r	Mikroorganizm turi (shtamm)	Madaniy o'simlik turi	Fiziologik va biokimyoviy javoblar	Stressga sabab bo'luvchi omil
1	<i>Enterobacter SA187</i>	<i>Arabidopsis thaliana</i> , bug'doy	Vegetativ biomassa, o'simlik morfometrik ko'rsatkichlari va urug' mahsuldorligining ortishi	Yuqori haroratga nisbatan fiziologik chidamlilik
2	<i>Septoglomus deserticola</i>	<i>Solanum lycopersicum</i>	Suv saqlash fiziologiyasining yaxshilanishi, gidravlik o'tkazuvchanlikning oshishi	Issiqlik va qurg'oqchilik stressi

3	<i>Pseudomonas fluorescens, Pantoea agglomerans</i>	<i>Triticum aestivum</i>	Antioksidant ferment tizimlari (SOD, POD, CAT) faolligining ortishi, oksidlovchi stressning kamayishi	Termik stress (issiqlik sharoitida oksidlovchi stress)
4	<i>Bacillus phytofirmans</i>	<i>Solanum tuberosum</i>	Prolin va glitsin-betain osmolitlarining akkumulyatsiyasi orqali osmotik muvozanatni ta'minlash	Yuqori haroratga moslashuv jarayonlari
5	<i>Bacillus cereus</i>	Soya	Fotosintetik pigmentlar (xlorofill a/b, karotinoidlar) biosintezining faollashuvi	Termik stressga bardoshlilikni kuchaytiruvchi mexanizmlar

Fosfatni erituvchi mikroorganizmlar. Tuproqda ko'p miqdorda fosfor mavjud bo'lishiga qaramay, ularning katta qismi erimaydigan shaklda bo'lib, o'simliklar tomonidan o'zlashtirilishi uchun yaroqsiz hisoblanadi. Fosfatni eruvchan shaklga aylantirishga qodir mikroorganizmlar guruhi "fosfat erituvchi mikroorganizmlar" (Phosphate Solubilizing Microorganisms - PSM) deb nomlanadi. Ushbu guruhga aktinomitsetlar, bakteriyalar, zamburug'lar, arbuskulyar mikorizalar va siyanobakteriyalar kiradi. Ular organik va noorganik fosfor birikmalarini eruvchan holatga keltirib, o'simliklar uchun foydali shaklga aylantirish xususiyatiga ega [25].

Indoneziyada Djuuna va hamkorlari tomonidan olib borilgan tadqiqotda rizosfera bilan bog'liq bo'lgan tuproq mikroorganizmlari o'rganilgan. Sabzavot, don va dukkakli ekinlar yetishtiriladigan turli hududlardan qishloq xo'jaligi tuproqlari namunasi olingan. O'rganilgan namunalar natijasida 1 g tuproqdagi fosfatni erituvchi zamburug'lar populyatsiyasi 25×10^3 dan 550×10^3 gacha, bakteriyalar esa $2,0 \times 10^3$ dan $5,0 \times 10^3$ oralig'ida ekanligi aniqlangan [26].

PSM lar o'z ichiga juda katta xilma-xillikni oladi. Odatda fosfatni erituvchi bakteriyalarga *Azospirillum*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Nitrosomonas*, *Erwinia*, *Serratia*, *Rhizobium*, *Xanthomonas*, *Enterobacter* va *Pantoea*, zamburug'lardan esa *Penicillium*, *Fusarium*, *Aspergillus*, *Alternaria*, *Helminthosporium*, *Arthrobotrys* va *Trichoderma* kabilarni misol qilib keltirish mumkin [27].

Arbuskulyar mikorizal zamburug'larning vakillari sifatida *Rhizophagus irregularis*, *Glomus mosseae*, *Glomus fasciculatum* va *Entrophospora colombiana* misol bo'la oladi. PSM aktinomitsetlarga mansub *Streptomyces*, *Thermobifida* va *Micrococcus* avlodlarida, shuningdek, ushbu xususiyat siyanobakteriyalar qatoriga kiruvchi *Calothrix braunii*, *Westiellopsis prolifica*, *Anabaena variabilis* va *Scytonema* turlarda ham uchraydi [28].

Temir tanqisligini kamaytirishda mikroorganizmlar faolligi. O'simliklar tuproqdan temir (Fe) elementini oz miqdorda talab qiladi, biroq Fe tanqisligi o'simliklarda oziqlanishning buzilishi bilan bog'liq muhim omil hisoblanadi. Bu holatning asosiy sababi, tuproqda temir odatda Fe^{3+} shaklida, oksid-gidroksid komplekslari ko'rinishida bo'lib, bu shakl o'simliklar hamda mikroorganizmlar tomonidan to'g'ridan-to'g'ri o'zlashtirilmaydi. Shu sababli, Fe^{3+} ni biologik aktiv shakli bo'lgan Fe^{2+} ga aylantirish zarur bo'ladi. Fe^{2+} shakli o'simliklar tomonidan nisbatan oson so'riladi va ularning fiziologik ehtiyojini qondiradi [29].

So'nggi yillarda olib borilgan ilmiy tadqiqotlar tuproqdagi ayrim mikroorganizmlarning temir tanqisligini bartaraf etishda muhim rol o'ynashini ko'rsatdi. Bu mikroorganizmlar ekologik toza va barqaror qishloq xo'jaligi amaliyotlarida ahamiyatli sanaladi. Ular nafaqat temirni biokimyoviy faol shakllarga aylantirish, balki o'simliklarga ta'sir etuvchi biotik va abiotik stresslarni yumshatish orqali foydali ekanligi isbotlangan [30].

O'simlik ildizi bilan bo'ladigan aloqalariga ko'ra, o'simlik o'sishini rag'batlantiruvchi rizobakteriyalar ikki guruhga ajratiladi: *birinchisi*, hujayradan tashqari PGPR bo'lib, ular rizosferada yoki ildiz korteksi hujayralari orasidagi hujayralararo bo'shliqlarda yashaydi; *ikkinchisi* esa hujayra ichida yashovchi PGPR bo'lib, ular odatda dukkakli o'simliklarning tugun hosil qiluvchi ixtisoslashgan hujayralarida joylashadi [31].

Micrococcus, *Pseudomonas*, *Agrobacterium* va *Bacillus* kabi mikroorganizmlar hujayradan tashqari o'simlik o'sishini rag'batlantiruvchi rizobakteriyalar vakillari sifatida ko'p uchraydi.

ILMIY AXBOROT

Tadqiqotlar o'simlik o'sishini rag'batlantiruvchi rizobakteriyalarning temir tanqisligi sharoitida sideroforlar, organik kislotalar va fenol birikmalar ishlab chiqarish orqali o'simlik tomonidan temirni o'zlashtirish jarayonini kuchaytirishini ko'rsatadi. Bundan tashqari, o'simlik o'sishini rag'batlantiruvchi rizobakteriyalar bodring, arabidopsis, nok kabi o'simliklarda temir xelat reduktaza (FCR) fermentining faolligini oshirishi orqali Fe^{2+} shaklidagi temirning so'rilishini ta'minlaydi [32].

So'nggi yillarda olib borilgan molekulyar tadqiqotlar o'simlik o'sishini rag'batlantiruvchi rizobakteriyalarning temir tanqisligi bilan bog'liq genlarini, xususan, FRO2 (temir xelat reduktaza geni) va IRT1 (Fe^{2+} tashuvchisi geni) ekspressiyasini faollashtirishi mumkinligini ko'rsatdi. Bu holat Zhou va hamkorlari [33] hamda Aras va boshqalar [34] tomonidan eksperimental asosda isbotlab berildi.

O'simliklar o'sishini bilvosita qo'llab-quvvatlovchi rizobakteriyalar tomonidan faollashtirilgan mexanizmlar. *Mikroorganizmlar o'z tabiiy yashash muhitida ozuqa moddalariga va kolonizatsiya hududlariga nisbatan doimiy raqobat holatida bo'ladi. PGPR bu raqobatda ustunlikka erishish uchun evolyutsiya davomida bir qator mexanizmlarni ishlab chiqqan. Ular atrof-muhitga antibiotiklar, litik fermentlar yoki zaif organik kislotalarni ajratish orqali boshqa mikroorganizmlarning rivojlanishini cheklashga qodir [35]. Shu tarzda, PGPR dagi mikroblar va o'simlik patogenlariga qarshi samarali kurashuvchi vositalar sifatida foydalanilishi mumkin. Biroq antibiotiklarni ishlab chiqaruvchi bakteriyalar doimiy qo'llanilganda, patogen mikroorganizmlarda ushbu moddalarga nisbatan chidamlilik rivojlanish xavfi mavjud. PGPR tomonidan ajratiladigan fermentlarning Botrytis cinerea, Fusarium oxysporum, Sclerotium rolfsii, Phytophthora spp., Pythium ultimum va Rhizoctonia solani kabi o'simlik patogenlarini to'xtatishi ko'plab tadqiqotlarda tasdiqlangan. Bunday faol fermentlarga o'simlik tomonidan ajratiladigan sellulazalar, xitinazalar, lipazalar va proteazalar kiradi [36].*

O'simliklar patogenlarga qarshi ikkita asosiy himoya yo'li orqali javob qaytaradi. Jumladan, orttirilgan tizimli qarshilik va induksiyalangan tizimli qarshilik. Orttirilgan tizimli qarshilik o'simlik to'qimalarida patogen tomonidan dastlabki infeksiya sodir bo'lganda yuzaga keladi va bu holat mahalliy nekrotik lezyonlar hamda salitsil kislotasining (SA) hujayralarda to'planishi bilan tavsiflanadi. Induksiyalangan tizimli qarshilik esa ko'rinadigan simptomlar bilan ifodalanmaydi va odatda salitsil kislotasini o'z ichiga olmaydi [37].

PGPR inokulyatsiyasi o'simlikda tizimli qarshilikni faollashtirishi mumkin, bu esa turli bakterial patogenlardan himoya mexanizmini kuchaytiradi. PGPR lar o'simliklarning meva o'sishi va pishishiga ham ijobiy ta'sir ko'rsatadi. Shu bilan birga, etilen gormoni tuz, qurg'oqchilik yoki patogen ta'siriga javoban hosil bo'ladigan fitogormon bo'lib, o'simliklarning javob reaksiyalarida ishtirok etadi. Ammo etilenning haddan tashqari ko'p ishlab chiqarilishi o'simlik to'qimalariga zarar yetkazishi mumkin. PGPR lar tomonidan ajratiladigan 1-aminosiklopropan-1-karboksilat (ACC) deaminaza fermenti etilen biosintezining oraliq moddasini parchalaydi va bu orqali etilen darajasini pasaytirib, o'simlikdagi stressni yengillashtiradi [38].

O'simlik ildizlari zararli rizobakteriyalar tomonidan kolonizatsiyalanishi mumkin, ularning ba'zilari begona o'tlar ustidan biologik nazorat vositasi sifatida ishlaydi. Bu bakteriyalar siyanidlar deb nomlanuvchi toksik birikmalarni ishlab chiqaradi. Siyanidlar bakteriyalar, suv o'tlari, zamburug'lar va o'simliklar tomonidan sintez qilinadi va ular o'simlik raqobatchilarining hayot faoliyatini to'xtatadi. Begona o'tlarga qarshi biologik vositalar, o'simliklar bilan raqobatlashmaydigan maxsus PGPR shtammlaridan olinadi. Siyanid ishlab chiqaruvchi bakteriyalar bilan inokulyatsiya qilingan o'simliklarda salbiy ta'sirlar kuzatilmaydi [39].

Begona o'simliklarni tarqalishini oldini olishda samarali bo'lgan vodorod siyanidi elektron tashish zanjirini bloklaydi va hujayralarda energiyani hosil bo'lishini cheklaydi. Aksariyat zararli mikroorganizmlar PGPR lar bilan ozuqa moddalariga raqobatdosh hisoblanadi, ammo bu ozuqa moddalari ko'pincha oz miqdorda mavjud bo'ladi, bu esa kasallik qo'zg'atuvchi mikroblarning o'sishini cheklaydi. Patogen bo'lmagan mikroorganizmlarga boy unumdor tuproqlarda bu foydali bakteriyalar ildiz yuzasini tezda kolonizatsiyalaydi va mavjud ozuqa manbalarini o'zlashtirib, patogenlar faoliyatini susaytiradi. Bu mexanizmni tabiiy tizimlarda o'rganish murakkab bo'lsa-da, u PGPR lar va patogenlar o'rtasidagi raqobat orqali o'simliklar o'sishini bilvosita rag'batlantirishda muhim omil hisoblanadi [40].

O'simliklarning o'sishiga yordam beruvchi rizobakteriyalar tomonidan o'simlik patogenlarini bionazorat qilish. Ekinlarni patogenlar va zararkunandalardan himoya qilish - hosildorlikni saqlab qolish, mahsulot sifatini oshirish, oziq-ovqat xavfsizligini ta'minlash, qishloq xo'jaligi ishlab chiqarishining barqarorligini mustahkamlash hamda resurslardan samarali foydalanish nuqtai nazaridan muhim ahamiyatga ega. Atrof-muhit va inson salomatligiga zarar yetkazmaydigan ishlab chiqarish tizimlari asosida olingan o'simliklarni himoya qilish vositalaridan imkon qadar kam foydalanilgan holda organik mahsulot yetishtirish zamonaviy qishloq xo'jaligi oldidagi dolzarb vazifalardan biridir.

Rizobakteriyalar tomonidan o'simlik patogenlarini nazorat qilishda ishtirok etuvchi asosiy bionazorat mexanizmlari quyidagilardan iborat: antibiotik va parchalovchi fermentlarni ishlab chiqarish, sideroforlar sintezi, parazitizm va yirtqichlik, joy va ozuqa moddalari uchun raqobat hamda o'simliklarda induksiyalangan tizimli qarshilik (ISR) mexanizmini faollashtirishdan iborat [41].

PGPR larning patogenlarga qarshi antagonistik faolligi ko'pincha turli xil antibiotik birikmalarni ishlab chiqarish orqali amalga oshadi. Eng yaxshi o'rganilgan antibiotiklar qatoriga fenazinlar, pioluteorin, pirrolnitrin, oligomitsin A, kanosomin, zwittermitsin A (*Zwittermicin A*) va P ksantotsin kiradi. Bunday metabolitlar *Bacillus*, *Streptomyces* va *Stenotrophomonas* avlodlariga mansub mikroorganizmlar tomonidan sintez qilinadi. Ba'zi PGPR shtammlari uchuvchi ikkilamchi metabolitlar - masalan, ammiak (NH_3) va vodorod siyanid (HCN) ni ishlab chiqaradi. Ushbu moddalarning fitopatogen bakteriyalar va zamburug'larga qarshi yuqori samaradorligi aniqlangan.

Sideroforlar - bu temir (Fe^{3+}) ionlarini bog'laydigan va tashuvchi yuqori xelatlovchi xususiyatga ega organik moddalardir. Ular temirga nisbatan selektiv bog'lanish sohasiga ega bo'lgan oqsillardan iborat bo'lib, ko'plab mikroorganizmlar tomonidan temir tanqisligi sharoitida sintez qilinadi [84]. Masalan, *Pseudomonas* avlodiga mansub bakteriyalarda pyoverdin va pseudobaktin kabi sideroforlar mavjud bo'lib, ular temirga nisbatan yuqori faollikka ega. Ayniqsa *Pseudomonas fluorescens* shtammlarining temir olish qobiliyati aynan ushbu sideroforlar bilan bog'liqdir. Bu bakteriyalar shuningdek, qo'shimcha retseptorlarga ega bo'lib, ular orqali tuproqda yashovchi boshqa fitopatogen mikroorganizmlardan temirni tortib oladi va ularning o'sishini cheklaydi [42].

Joy va ozuqa moddalari uchun raqobat ham bionazorat mexanizmlaridan biri hisoblanadi. Bu holat ildiz atrofida faol kolonizatsiyalovchi PGPR lar tomonidan sodir bo'ladi. Ular o'sish uchun zarur bo'lgan kislorod va ozuqa moddalari birikmalarini o'zlashtiradi va shu orqali patogen mikroorganizmlar uchun mavjud manbalarni cheklaydi. Ammo bu mexanizm samarali bo'lishi uchun mikroorganizmning tez va faol ko'payish qobiliyati muhim hisoblanadi.

Induksiyalangan tizimli qarshilik (ISR) o'simliklarda signal molekullari - yasmonat kislotasi (JA) va etilen ishtirokida yuzaga keladi. Bu jarayon o'simlik hujayralarining ushbu fitogormonlarga sezuvchanligini oshiradi. ISR tizimi salitsil kislotasi asosida yuzaga keladigan himoya tizimidan farqli ravishda, patogenlikka oid oqsillarni sintez qilishni ko'p hollarda talab qilmaydi, ammo o'simlikni patogen hujumiga nisbatan tez va kuchli himoya javobiga tayyor holatda ushlab turadi [43].

Biologik nazorat konsepsiyasi o'simliklarga zarar yetkazuvchi organizmlarni ularning tabiiy dushmanlari yoki ularning metabolitlari (ekstraktlar, fermentlar) yordamida to'xtatishga asoslanadi. Bunday vositalarning samaradorligi ishlov berilgan ekinlarda qoldiq qoldirmasdan aniq muhitga moslasha olish xususiyati bilan bog'liq. Bostiruvchi ta'sir ko'pincha mikroorganizmlar orasidagi antagonistik aloqalar orqali yuzaga chiqadi. Masalan, *Coniothyrium minitans* - *Sclerotinia* avlodiga mansub zamburug'larning mikoparaziti bo'lib, quruq muhitga moslashgan. U o'simliklarga to'g'ridan-to'g'ri gifalar orqali kiradi va maxsus litik fermentlar - masalan, ekzoxinazalar va glukanzalar yordamida hujayra devorlarini parchalab, mikoparazitlik faoliyatini amalga oshiradi. Yana bir misol - *Ampelomyces quisqualis*, u *Erysiphe* tartibiga mansub biotrofik patogen zamburug'larning vegetativ tuzilmalariga kirib, piknidiyalar hosil qiluvchi mikoparazit hisoblanadi. U *Cucurbitaceae*, *Solanaceae* oilalariga mansub o'simliklarda chirish kasalligini to'xtadi [44].

Bitta bionazorat agentining bir nechta ta'sir mexanizmiga ega bo'lishi uning samaradorligini sezilarli darajada oshiradi. Masalan, *Fusarium oxysporum* ning patogen bo'lmagan shtammlari tomonidan endofitik kolonizatsiya hosil qilinishi natijasida ildiz infeksiyasi zonalari uchun raqobat

ILMIY AXBOROT

kuchayadi, o'simliklarda esa spetsifik himoya reaksiyalari faollashadi. Bunday mexanizm *Pythium ultimum* ga qarshi bodringni himoya qilish yoki fusarium so'lishiga qarshi loviyada mikrokonidial suspenziya shaklida qo'llanganda samarali natija beradi. *Trichoderma* va *Gliocladium* avlodlariga mansub zamburug'lar *Hypocreaceae* oilasiga kiradi va keng spektrli biologik nazorat vositalari sifatida tanilgan. Ular tabiiy muhitda, ayniqsa yog'och va boshqa parchalanadigan organik moddalar ustida keng tarqalgan. Bu zamburug'lar jinssiz yo'l bilan konidiya hosil qilib ko'payadi [93]. Ular o'z gifalarini patogen gifalari atrofida o'stirib, ichiga kiradi va patogen xossalariga o'xshash tuzilmalar hosil qiladi, shu bilan birga hujayra devorlarini litik fermentlar yordamida parchalab patogenga zarba beradi. *Trichoderma* zamburug'lari ayniqsa *Pythium spp.*, *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium rolsii*, *Sclerotinia spp.*, *Verticillium spp.* va *Fusarium oxysporum* kabilar tuproqda tarqaluvchi patogenlarni bostirishda ham himoyalangan, ham ochiq dala sharoitida faol ishlatiladi. Ushbu zamburug'lar turli xil antibiotiklar, zamburug'ga qarshi faollikka ega fermentlar va o'simlik qarshiligini faollashtiruvchi signal birikmalarni ishlab chiqaradi. *Gliocladium catenulatum* o'simlik yer ustki qismiga qo'llanilganda, pomidorda *Alternaria* kasalligiga qarshi faollashtiruvchi mexanizmlar orqali ijobiy ta'sir ko'rsatadi [45]. Shuningdek, tijoratda qo'llanilishi mumkin bo'lgan, ammo kamroq o'rganilgan boshqa antagonistik zamburug'lar ham mavjud. Bular qatoriga *Talaromyces flavus* va *Phlebia gigantea* kiradi. Ular *Verticillium dahliae*, *Rhizoctonia solani* va *Sclerotinia sclerotiorum* kabi patogenlarga, hamda ignabargli daraxtlarda ildiz va poya chirishiga sabab bo'luvchi *Heterobasidion spp.* ga qarshi biologik nazorat vositalari sifatida taklif etilgan [46].

Mikoriza zamburug'lari ko'plab o'simliklarning ildiz tizimi bilan simbioz aloqada bo'ladi. Ular o'simlikdan uglevodlar (yog' kislotalari, shakarlar) oladi, evaziga esa o'simlikka suv va ozuqa moddalari (ayniqsa fosfor) ta'minotiga yordam beradi. Mikorizaning mavjudligi ko'pincha ildiz tizimining rivojlanishini kuchaytiradi, bu esa o'simlikning oziq moddalarni yutilish qobiliyatini oshiradi.

Simbioz munosabatlar natijasida mikoriza tuproqning agregat strukturasini yaxshilaydi, minerallarni eruvchan holatga keltiradi va erimaydigan glikoprotein - glomalin sintezi orqali tuproq unumdorligini oshiradi. *Trichoderma* zamburug'larining ayrim turlari o'simlik ildiz yuzasini kolonizatsiyalaydi [47], ildiz ekssudatlarini ozuqa sifatida ishlatadi, auksinlar va uchuvchi organik birikmalar ishlab chiqaradi. Bu esa ildiz tizimi rivojlanishini rag'batlantiradi, fotosintez faolligini, o'tkazuvchanlikni, oziq moddalarning o'zlashtirilishini kuchaytiradi, shuningdek ekologik stress (sho'rlanish, sovuq, og'ir metallar) sharoitida o'simliklarni barqaror rivojlanishini ta'minlaydi [48].

Mikrobiologik preparatlar (bioo'g'it) ni qo'llash usullari. *Bioo'g'itlar turli usullar orqali tuproqqa qo'llanilishi mumkin, xususan urug'larni quruq yoki suyuq bioo'g'itlar bilan emlash orqali amalga oshiriladi. Agrokimyoviy moddalardan foydalanishni kamaytirish, ularning atrof-muhitga salbiy ta'sirini cheklash maqsadida, o'simliklarning o'sishi va hosildorligini rag'batlantiruvchi foydali mikrobiomalar issiqxonalarda hamda ochiq dalalarda turli tadqiqotlar orqali baholangan. Bu borada PGPR mikroorganizmlari ichida Azospirillum eng ko'p o'rganilgan va istiqbolli guruh sifatida ajralib turadi* [49].

Bugungi kunda *Azospirillum brasilense* shtammlariga asoslangan inokulyantlar Yevropa va Janubiy Afrikada keng qo'llanilmoqda. Turli kompaniyalar tomonidan *Azospirillum* va boshqa foydali mikroorganizmlar asosida yangi mahsulotlar ishlab chiqish jarayoni tobora kengaymoqda. Biroq, *Azospirillum*ning tijoratlashirilishida ma'lum cheklovlar mavjud bo'lib, bu dala tajribalarida olingan natijalarning nomuvofiqligi bilan bog'liq. Bunday nomuvofiqlikka tuproqning fizik-kimyoviy holati, pH o'zgarishlari, shtammlarning ildiz tizimiga moslashmasligi, harorat va yog'ingarchilik miqdorining o'zgaruvchanligi sabab bo'ladi [50].

Bioo'g'itlar kimyoviy vositalarga ekologik toza alternativ bo'lib, sog'lom mahsulotlarga talab ortib borayotgan hozirgi davrda ekologik qishloq xo'jaligi tizimlari uchun ayni muddaodir. Foydali mikroorganizmlar nafaqat biotik stress omillariga, balki abiotik stress - suv tanqisligi, ortiqcha sho'rlanish va suv toshqinlari sharoitiga nisbatan o'simliklarning bardoshlilikini oshiradi [51].

Biroq, tuproq turi, harorat, kiritilayotgan shtammning tabiati, inokulyatsiya zichligi va o'simlik turi PGPR larning samaradorligiga ta'sir etuvchi muhim omillardir. Inokulyatsiyadan so'ng mikroorganizmlar soni tez pasayishi mumkin, bu esa ildizlarda yetarlicha kolonizatsiya hosil bo'lishiga to'siqinlik qiladi. Bundan tashqari, kiritilgan shtammlar tuproqda ekologik bo'sh joy

topolmay qolishi mumkin. Shtammlar ishlab chiqarish jarayonida kontsentratsiyalash va stabilizatsiya bilan bog'liq stresslarga bardosh berishga qodir bo'lishi kerak [52].

Bioo'g'itlarni qo'llash usullari:

-urug'larni ekish vaqtida bioo'g'it bilan qoplash;

-bioo'g'it bilan qoplangan urug'lardan foydalanish (mikroblarni o'z ichiga olgan matritsalar bilan qoplash);

-inokulyantni ekish vaqtida to'g'ridan-to'g'ri o'simlik ildiziga solish;

-o'simlik o'sishi davrida sepish (purchash) yoki sug'orish orqali qo'llash.

Urug'larni inokulyatsiya qilish orqali dehqonlar bir vaqtning o'zida ekish va mikroblarni qo'llashni amalga oshirishlari mumkin, bu esa vaqt va resursni tejaydi. Yana bir muqobil usul - mikroblarni alginat kabi polimerlarda kapsullash bo'lib, bu ularni atrof-muhitdan himoya qiladi va tuproqqa asta-sekin ajralib chiqishini ta'minlaydi. Masalan, *Pseudomonas fluorescens* uchun bionazorat va biostimulyatsiya vositasi sifatida, *Azospirillum brasilense* uchun esa biofertilizatsiya agenti sifatida alginat formulalari ishlab chiqilgan [53].

Zamburug' inokulyatsiyasi odatda sporalar yoki mitseliy bo'laklari orqali amalga oshiriladi. Tavsiya etilgan dozalar va qo'llash usullariga qat'iy rioya etish, mahsulotning yaroqlilik muddati va saqlash shartlariga amal qilish zarur. Tuproqda yoki ekiladigan urug'dagi mavjud kimyoviy qoldiqlar foydali zamburug'larning hayotchanligiga salbiy ta'sir ko'rsatishi va bionazorat samaradorligini pasaytirishi mumkin. Zamburug'larning omon qolishi va faol rizosfera kolonizatsiyasini ta'minlashi uchun mos harorat va pH muhitini yaratish, tuproqni organik moddalarga boyitish, zararli kimyoviy ishlov berishdan qochish tavsiya etiladi. Dastlabki qo'llash maksimal dozalarda, keyingi qo'llashlar esa pastroq konsentratsiyalarda takroran amalga oshirilsa, bu samaradorlikni oshiradi.

Preparatlarning muvaffaqiyati har doim ham ularni tashkil etuvchi mikroorganizmlar soniga bog'liq emas - bu yerda ular o'rtasidagi sinergiya va muvofiqlik muhim ahamiyatga ega. Masalan, loviyada *Rhizoctonia solani* ga qarshi kurashda *Trichoderma harzianum*, *Rhizophagus intraradices* va *Bacillus pumilus* ning turli kombinatsiyalari ijobiy ta'sir ko'rsatgan. Eng yaxshi natijani *Trichoderma* asosidagi konsortsiyalar bergan. Oldindan emlashda esa faqat *T. harzianum* yakka holda yaxshi natija bergan, *T. harzianum* va *R. intraradices* kombinatsiyasi esa unchalik samarali bo'lmagan [54].

Shuningdek, soya o'simligida *Trichoderma citrinoviride*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus cereus* va *B. amyloliquefaciens* dan iborat konsortsiyalar *Macrophomina phaseolina* va *Sclerotinia sclerotiorum* patogenlariga qarshi muvaffaqiyatli qo'llanilgan. Bu mikroorganizmlar sideroforlar, litik fermentlar va ammoniy ishlab chiqarishda yuqori faollik ko'rsatgan.

Trichoderma harzianum va *Pseudomonas fluorescens* kombinatsiyasi esa guruchda *Magnaporthe oryzae* va *Xanthomonas oryzae* pv. sabab bo'ladigan barg kuyishi (blast) kasalligiga qarshi sinergik ta'sir ko'rsatgan [55].

Mikrob bioo'g'itlari bilan biofortifikatsiya (biologik boyitish) qilish. Temir (Fe), rux (Zn) va magniy (Mg) kabi mikroelementlar oziq-ovqat ekinlarining nafaqat hosildorligini, balki inson salomatligini ham yaxshilashda muhim ahamiyat kasb etadi. Ayniqsa, tuproqda ruxning yetishmasligi ko'plab mintaqalarda maksimal hosildorlikka erishishda asosiy chekllovchi omil sifatida qaraladi. Rivojlanayotgan mamlakatlarda aholining asosiy kaloriya manbai bo'lgan don mahsulotlari tarkibida rux miqdori kam bo'lishi, ko'pincha bunday ekinlarning ruxga boy bo'lmagan tuproqlarda yetishtirilishi bilan bog'liq. Shu sababli, rux tanqisligiga oid muammolar ko'pincha don mahsulotlariga asoslangan dietadan kelib chiqadi [56].

Mikroblal bioo'g'itlardan foydalanish o'simliklar uchun mavjud bo'lmagan yoki kam mavjud shakldagi ruxni eruvchan va yutilishga qulay shakllarga aylantirish orqali ushbu muammoni bartaraf etishi mumkin. Donli ekinlarda, xususan bug'doy va guruchda temir va rux yetishmovchiligi keng tarqalgan bo'lib, bunday ekinlar ko'plab mamlakatlarda asosiy oziq-ovqat hisoblanadi [57].

Temir va ruxning donda to'planishini kuchaytirish bo'yicha kimyoviy o'g'itlardan foydalanish strategik yondashuvlardan biri bo'lishi mumkin. Biroq, bu usulda mikroelementlarning o'zlashtirilish darajasi juda past bo'ladi. Jumladan ushbu ko'rsatgich atigi 2-5 % ni tashkil etadi [58]. Shu sababli, donli va dorivor ekinlarining ozuqaviy qiymatini oshirishda genotiplarning ozuqaviy samaradorligini kuchaytirish va turli mikroorganizmlar asosida biofortifikatsiyani amalga oshirish ekologik jihatdan maqbulroq yondashuv hisoblanadi.

ILMIY AXBOROT

So'nggi yillarda olib borilgan ilmiy tadqiqotlar o'simlik va tuproq mikrobiomlaridan foydalanish orqali mikroelementlarning so'rilishini samarali ravishda oshirish mumkinligini tasdiqladi. Jumladan, turli *Bacillus* spp. shtamlari bug'doy rizosferasida sideroforlar, organik kislotalar va boshqa biologik faol birikmalar ajratish orqali temirning yutilishini sezilarli darajada yaxshilashi mumkin. Shu bilan birga, *Bacillus* va *Paenibacillus* turlarining ayrim vakillari makkajo'xori donlarida fosfor (P), azot (N), kaliy (K), temir (Fe) va rux (Zn) miqdorining ortishiga olib kelishi kuzatilgan [59, 60].

Shu sababli mikrobial bioo'g'itlar nafaqat o'simlik o'sishini rag'batlantiruvchi bakteriyalar sifatida, balki ekologik toza va barqaror biofortifikatsiya vositalari sifatida ham qishloq xo'jaligida keng imkoniyatlarga ega.

XULOSA

Butun dunyoda o'simlik o'sishini rag'batlantiruvchi mikroorganizmlarni bioo'g'itlar va biopestitsidlar sifatida qo'llash sohasida sezilarli yutuqlarga erishilmoqda. Ushbu guruhga kiruvchi turli xil mikroorganizmlarning o'zaro bevosita ta'siri natijasida o'simliklarning o'sishini faollashtiruvchi, tuproq unumdorligini yaxshilovchi va agroekotizimda muvozanatni saqlovchi asosiy jarayonlar amalga oshadi.

Biroq o'simlik o'sishini rag'batlantiruvchi mikroorganizmlarni keng miqyosda joriy etishda hali ham bir qator muhim muammolarni hal etish zarur. Eng avvalo, laboratoriya va issiqxona sharoitidan, dala sinovlariga o'tishda ushbu mikroorganizmlarni qanday yetishtirish, saqlash, jo'natish, shakllantirish (formulyatsiyalash) va qo'llash bo'yicha mos va samarali usullar ishlab chiqilishi lozim. Dehqonlar uchun mikrobial bioo'g'itlardan qanday to'g'ri foydalanish, ularni qanday saqlash, ularning o'simlik o'sishiga qanday ijobiy ta'sir ko'rsatishi, kimyoviy o'g'itlar va pestitsidlar hajmini kamaytirish imkoniyati hamda qo'llashda inson salomatligi uchun xavfsizlik masalalari bo'yicha yetarli darajada axborot berilishi zarur.

Shuningdek, o'simliklar turli patogenlar tomonidan yuzaga keladigan kasalliklarga duchor bo'ladi. Bunday holatlar ko'pincha hosil yo'qotilishiga va kimyoviy pestitsidlar qo'llanilishining kuchayishiga olib keladi, bu esa ekologiya va salomatlik uchun salbiy oqibatlariga sabab bo'ladi. Aholi sonining ortib borayotgan bugungi kunda, ularni sifatli oziq-ovqat, dori-darmon bilan ta'minlash uchun ekologik xavfsiz va barqaror muqobil usullarni ishlab chiqish nihoyatda muhimdir.

Barqaror qishloq xo'jaligi faqat o'simlik yetishtirish bilan cheklanmasligi, balki o'simlik-mikrob hamkorliklariga asoslangan agroekotizimlarni shakllantirishga qaratilgan bo'lishi zarur. Bunday yondashuv kam energiya sarfi, kimyoviy moddalardan kam foydalanish va atrof-muhitga eng kam ta'sir orqali yuqori hosildorlikka erishishni ta'minlaydi. Shu maqsadda mikroorganizmlarga asoslangan agrotekhnologiyalarni rivojlantirish uchun genetika, molekulyar biologiya va ekologiya sohalaridagi mutaxassislar o'rtasida chuqur hamkorlik zarur.

ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Basu, A.; Prasad, P.; Das, S.N.; Kalam, S.; Sayyed, R.Z. Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) as Green Bioinoculants: Recent Developments, Constraints, and Prospects. *Sustainability* 2021, 13, 1140.
2. Camaille, M.; Fabre, N.; Clément, C.; Ait Barka, E. Advances in Wheat Physiology in Response to Drought and the Role of Plant Growth Promoting Rhizobacteria to Trigger Drought Tolerance. *Microorganisms* 2021, 9, 687.
3. Emmanuel, O.C.; Babalola, O.O. Productivity and quality of horticultural crops through coinoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting bacteria. *Microbiol. Res.*
4. Enebe, M.C.; Babalola, O.O. The influence of plant growth-promoting rhizobacteria in plant tolerance to abiotic stress: A survival strategy. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*
5. Forni, C.; Duca, D.; Glick, B.R. Mechanisms of plant response to salt and drought stress and their alteration by rhizobacteria.
6. Grover, M.; Bodhankar, S.; Sharma, A.; Sharma, P.; Singh, J. PGPR mediated alterations in root traits: Way toward sustainable crop production. *Front. Sustain. Food Syst.* 2021, 4, 39.
7. Khan, N.; Bano, A.; Shahid, M.A.; Nasim, W.; Babar, M.A. Interaction between PGPR and PGR for water conservation and plant growth attributes under drought condition. *Biologia* 2018, 73, 1083–1098.
8. Kumari, B.; Mallick, M.A.; Solanki, M.K.; Solanki, A.C.; Hora, A. Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR): Modern Prospects for Sustainable Agriculture. In *Plant Health Under Biotic Stress*; Springer: Singapore, 2019; pp. 109–127.
9. Poveda, J.; Gonzalez-Andres, F. *Bacillus* as a source of phytohormones for use in agriculture. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2021, 105, 8629–8645.

10. Prasad, M.; Srinivasan, R.; Chaudhary, M.; Choudhary, M.; Jat, L.K. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) for sustainable agriculture: Perspectives and challenges. In *PGPR Amelioration in Sustainable Agriculture*; Woodhead Publishing: Sawston, UK, 2019; pp. 129–157.
11. Song, Q.; Song, X.S.; Deng, X.; Luo, J.Y.; Song, R.Q. Effects of plant growth promoting Rhizobacteria microbial on the growth, rhizosphere soil properties, and bacterial community of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* seedlings. *Scand. J. Res.* 2021, 36, 249–262.
12. Prisa, D. Biochar effects in the growing and control of biotic and abiotic stress in *Astrophytum myriostigma* and *Astrophytum capricorne*. *GSC Biol. Pharm. Sci.* 2021, 16, 186–194.
13. Ullah, N.; Ditta, A.; Imtiaz, M.; Li, X.; Jan, A.U. Appraisal for organic amendments and plant growth-promoting rhizobacteria to enhance crop productivity under drought stress: A review. *J. Agron. Crop Sci.* 2021, 207, 783–802.
14. Wang, H.; Liu, R.J.; You, M.P.; Barbetti, M.J.; Chen, Y.L. Pathogen biocontrol using plant growth-promoting bacteria (PGPR): Role of bacterial diversity. *Microorganisms* 2021, 9, 1988.
15. Abdelaal, K.; Alkahtani, M.; Attia, K.; Hafez, Y.; Király, L.; Künstler, A. The role of plant growth-promoting bacteria in alleviating the adverse effects of drought on plants. *Biology* 2021, 10, 520.
16. Dar, S.A.; Bhat, R.A.; Dervash, M.A.; Dar, Z.A. Azotobacter as biofertiliser for sustainable soil and plant health under saline environmental conditions. In *Microbiota and Biofertilisers*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2021; Volume 4, pp. 231–254.
17. Martinez-Morales, L.; Soto-Urzu, L.; Baca, B.; Sanchez-Ahedo, J. Indole-3-butyric acid (IBA) production in culture medium by wild strain *Azospirillum brasilense*. *FEMS Microbiol. Lett.* 2003, 228, 167–173.
18. Somers, E.; Ptacek, D.; Gysegom, P.; Srinivasan, M.; Vanderleyden, J. *Azospirillum brasilense* produces the auxin-like phenylacetic acid by using the key enzyme for indole-3-acetic acid biosynthesis. *Appl. Environ. Microbiol.* 2005, 71, 1803–1810.
19. Dubey, A.; Malla, M.A.; Khan, F.; Chowdhary, K.; Yadav, S.; Kumar, A.; Sharma, S.; Khare, P.K.; Khan, M.L. Soil microbiome: A key player for conservation of soil health under changing climate. *Biodivers. Conserv.* 2019, 28, 2405–2429.
20. Fadji, A.E.; Babalola, O.O.; Santoyo, G.; Perazzolli, M. The potential role of microbial biostimulants in the amelioration of climate change-associated abiotic stresses on crops. *Front. Microbiol.* 2022, 12, 829099.
21. Ramakrishna, W.; Yadav, R.; Li, K. Plant growth promoting bacteria in agriculture: Two sides of a coin. *Appl. Soil Ecol.* 2019, 138, 10–18.
22. Vorholt, J.A.; Vogel, C.; Carlström, C.I.; Müller, D.B. Establishing causality: Opportunities of synthetic communities for plant microbiome research. *Cell Host Microbe* 2017, 22, 142–155.
23. Kaminsky, L.M.; Trexler, R.V.; Malik, R.J.; Hockett, K.L.; Bell, T.H. The inherent conflicts in developing soil microbial inoculants. *Trends Biotechnol.* 2019, 37, 140–151.
24. Naylor, D.; Degraaf, S.; Purdom, E.; Coleman-Derr, D. Drought and host selection influence bacterial community dynamics in the grass root microbiome. *ISME J.* 2017, 11, 2691–2704.
25. Akhtar, N.; Ilyas, N.; Hayat, R.; Yasmin, H.; Nourelddeen, A.; Ahmad, P. Synergistic effects of plant growth promoting rhizobacteria and silicon dioxide nanoparticles for amelioration of drought stress in wheat. *Plant Physiol. Biochem.* 2021, 166, 160–176.
26. Djuuna, I.A.F.; Prabawardani, S.; Massora, M. Population Distribution of Phosphate-solubilizing Microorganisms in Agricultural Soil. *Microbes Environ.* 2022, 37, ME21041.
27. 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, 21, 49–68.
28. Saif, S.; Khan, M.S.; Zaidi, A.; Ahmad, E. Role of Phosphate-Solubilizing Actinomycetes in Plant Growth Promotion: Current Perspective. In *Phosphate Solubilizing Microorganisms*; Khan, M., Zaidi, A., Musarrat, J., Eds.; Springer: Cham, Switzerland, 2014; pp. 137–156.
29. Zuo, Y.; Zhang, F. Soil and crop management strategies to prevent iron deficiency in crops. *Plant Soil.* 2011, 339, 83–95.
30. Meena, K.K.; Sorty, A.M.; Bitla, U.M.; Choudhary, K.; Gupta, P.; Pareek, A.; Singh, D.P.; Prabha, R.; Sahu, P.K.; Gupta, V.K.; et al. Abiotic stress responses and microbe-mediated mitigation in plants: The omics strategies. *Front. Plant Sci.* 2017, 8, 1–25.
31. Pii, Y.; Penn, A.; Terzano, R.; Crecchio, C.; Mimmo, T.; Cesco, S. Plant microorganism-soil interactions influence the Fe availability in the rhizosphere of cucumber plants. *Plant Physiol. Biochem.* 2015, 87, 45–52.
32. Bhat, M.A.; Kumar, V.; Bhat, M.A.; Wani, I.A.; Dar, F.L.; Farooq, I.; Bhatti, F.; Koser, R.; Rahman, S.; Jan, A.T. Mechanistic insights of the interaction of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) with plant roots toward enhancing plant productivity by alleviating salinity stress. *Front. Microbiol.* 2020, 11, 1952.
33. İpek, M.; Aras, S.; Arıkan, Ş.; Eşitken, A.; Pirlak, L.; Donmez, M.F.; Turan, M. Root plant growth promoting rhizobacteria inoculations increase ferric chelate reductase (FC-R) activity and Fe nutrition in pear under calcareous soil conditions. *Sci. Hortic.* 2017, 219, 144–151.
34. Saleem, M.; Law, A.D.; Sahib, M.R.; Pervaiz, Z.H.; Zhang, Q. Impact of root system architecture on rhizosphere and root microbiome. *Rhizosphere* 2018, 6, 47–51.
35. Narayanasamy, S.; Thangappan, S.; Uthandi, S. Plant growth-promoting *Bacillus* sp. cahoots moisture stress alleviation in rice genotypes by triggering antioxidant defense system. *Microbiol. Res.* 2020, 239, 126518.
36. Vandana, U.K.; Rajkumari, J.; Singha, L.P.; Satish, L.; Alavilli, H.; Sudheer, P.D.; Chauhan, S.; Ratnala, R.; Satturu, V.; Mazumder, P.B. The endophytic microbiome as a hotspot of synergistic interactions, with prospects of plant growth promotion. *Biology* 2021, 10, 101.

ILMIY AXBOROT

37. Khan, M.A.; Asaf, S.; Khan, A.L.; Ullah, I.; Ali, S.; Kang, S.-M.; Lee, I.-J. Alleviation of salt stress response in soy-bean plants with the endophytic bacterial isolate *Curtobacterium* sp. SAK1. *Ann. Microbiol.* 2019, 69, 797–800.
38. Gadhave, K.R.; Devlin, P.F.; Ebertz, A.; Ross, A.; Gange, A.C. Soil inoculation with *Bacillus* spp. modifies root endophytic bacterial diversity, evenness, and community composition in a context-specific manner. *Microb. Ecol.* 2018, 76, 741–750.
39. Lally, R.D.; Galbally, P.; Moreira, A.S.; Spink, J.; Ryan, D.; Germaine, K.J.; Dowling, D.N. Application of endophytic *Pseudomonas fluorescens* and a bacterial consortium to *Brassica napus* can increase plant height and biomass under greenhouse and field conditions. *Front. Plant Sci.* 2017, 8, 2193.
40. Homma, Y.; Sato, Z.; Hirayama, F.; Konno, K.; Shirahama, H.; Suzui, T. Production of antibiotics by *Pseudomonas cepacia* as an agent for biological control of soilborne plant pathogens. *Soil. Biol. Biochem.* 1989, 21, 723–728.
41. Jenifer, M.R.A.; Reena, A.; Aysha, O.S.; Valli, S.; Nirmala, P.; Vinothkumar, P. Isolation of siderophore producing bacteria from rhizosphere soil and their antagonistic activity against selected fungal plant pathogens. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl.* 2013, 2, 59–65.
42. Larkin, R.P.; Tavantzis, S. Use of biocontrol organisms and compost amendments for improved control of soilborne diseases and increased potato production. *Am. J. Potato Res.* 2013, 90, 157–167.
43. Pal, K.K.; Gardener, M. *Biological Control of Plant Pathogens. The Plant Health Instructor*; APSnet: Paul, MN, USA, 2006; pp. 1–25.
44. Goettel, M.S.; Koike, M.; Kim, J.J.; Aiuchi, D.; Shinya, R.; Brodeur, J. Potential of *Lecanicillium* spp. for management of insects, nematodes and plant diseases. *J. Invertebr. Pathol.* 2008, 98, 256–261.
45. Singh, A.; Shukla, N.; Kabadwal, B.C.; Tewari, A.K.; Kumar, J. Review on plant *Trichoderma* pathogen interaction. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* 2018, 7, 2382–2397.
46. Egel, D.S.; Hoagland, L.; Davis, J.; Marchino, C.; Bloomquist, M. Efficacy of organic disease control products on common foliar diseases of tomato in field and greenhouse trials. *Crop Prot.* 2019, 122, 90–97.
47. Arora, N.K.; Khare, E.; Maheshwari, D.K. *Plant Growth Promoting Rhizobacteria: Constraints in Bioformulation, Commercialization, and Future Strategies*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2010; pp. 97–116.
48. Herrmann, L.; Lesueur, D. Challenges of formulation and quality of biofertilisers for successful inoculation. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2013, 97, 8859–8873.
49. Lucy, M.; Reed, E.; Glick, B.R. Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria. *Antonie Van Leeuwenhoek* 2004, 86, 1–25.
50. Glodowska, M.; Schwinghamer, T.; Husk, B.; Smith, D. Biochar based inoculants improve soybean growth and nodulation. *Agric. Sci.* 2017, 8, 1048–1064.
51. del Carmen Orozco-Mosqueda, M.; Fadji, A.E.; Babalola, O.O.; Glick, B.R.; Santoyo, G. Rhizobiome engineering: Unveiling complex rhizosphere interactions to enhance plant growth and health. *Microbiol. Res.* 2022, 16, 127137.
52. Hussein, A.N.; Abbasi, S.; Sharifi, R.; Jamali, S. The effect of biocontrol agents consortia against Rhizoctonia root rot of common bean *Phaseolus vulgaris*. *J. Crop Prot.* 2018, 7, 73–85.
53. Jambhulkar, P.P.; Sharma, P.; Manokaran, R.; Lakshman, D.K.; Rokadia, P.; Jambhulkar, N. Assessing synergism of combined applications of *Trichoderma harzianum* and *Pseudomonas fluorescens* to control blast and bacterial leaf blight of rice. *Eur. J. Plant Pathol.* 2018, 152, 747–757.
54. Varo, A.; Raya-Ortega, M.C.; Trapero, A. Selection and evaluation of micro-organisms for biocontrol of *Verticillium dahliae* in olive. *J. Appl. Microbiol.* 2016, 121, 766–767.
55. Mia, M.B.; Shamsuddin, Z. Nitrogen fixation and transportation by rhizobacteria: A scenario of rice and banana. *Int. J. Bot.* 2010, 6, 235–242.
56. Tabassum, B.; Khan, A.; Tariq, M.; Ramzan, M.; Khan, M.S.I.; Shahid, N.; Aaliya, K. Bottlenecks in commercialisation and future prospects of PGPR. *Appl. Soil Ecol.* 2017, 121, 102–117.
57. Hashem, A.; Tabassum, B.; Fathi Abd Allah, E. *Bacillus subtilis*: A plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress. *Saudi J. Biol. Sci.* 2019, 26, 1291–1297.
58. Miljakovic, D.; Marinkovic, J.; Balesevic-Tubic, S. The significance of *Bacillus* spp. in disease suppression and growth promotion of field and vegetable crops. *Microorganisms* 2020, 8, 1037.
59. Naik, K.; Mishra, S.; Srichandan, H.; Singh, P.K.; Sarangi, P.K. Plant growth promoting microbes: Potential link to sustainable agriculture and environment. *Biocatal. Agric. Biotechnol.* 2019, 21, 101326.
60. Ghosh, S.K.; Bera, T.; Chakrabarty, A.M. Microbial siderophore a boon to agricultural sciences. *Biol. Control* 2020, 144, 104214.