



<https://doi.org/10.70728/a.series.tab.v08.i08.003>

ARPA (*HORDEUM VULGARE*) O‘SIMLIGINING QURG‘OQCHILIKKA CHIDAMLILIGINI OSHIRISHDA AYRIM BIOSTIMULYATORLARNING SAMARADORLIGINI BAHOLASH

Abdushukurova Muqaddas.Bahriddin qizi tayanch daktarant.,
Mirzo Ulug‘bek nomidagi O‘zbekiston Milliy Universitetining Jizzax filiali
E-mail: abdushukurovnamuqaddas@gmail.com.
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-6312-510>
Tel: +998991775877

Murodova Sayyora.Sobirovna b.f.f.d. professor
Mirzo Ulug‘bek nomidagi O‘zbekiston Milliy Universitetining Jizzax filiali.
ORCID ID: 0000-0003-2592-6304

To‘rayev Ozod Sunnataliyevich, b.f.f.d. (PhD),
O‘simliklar genetik resurslari ilmiy-tadqiqot instituti.
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6379-312>

Annotatsiya. Arpa (*Hordeum vulgare* L.) qishloq xo‘jaligida muhim don ekinlaridan biri bo‘lib, turli agroiklim sharoitlarida keng yetishtiriladi. Iqlim o‘zgarishi ta’sirida kuzatilayotgan qurg‘oqchilik stressi arpaning o‘sishi, rivojlanishi va hosildorligiga sezilarli darajada salbiy ta’sir ko‘rsatmoqda. Shu bois arpaning qurg‘oqchilikka chidamliligini oshirish zamonaviy agrar fan va amaliyotda dolzarb ilmiy yo‘nalishlardan biri hisoblanadi. Hozirgi kunda iqlim o‘zgarishi natijasida yuzaga kelayotgan suv tanqisligi nafaqat o‘simlikning fiziologik holatiga, balki tuproq-mikrob tizimidagi funksional muvozanatga ham salbiy ta’sir ko‘rsatmoqda. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, tuproq mikrobiomasi arpa hosildorligini suv tanqisligi sharoitida saqlab qolishda va o‘simlikning adaptiv imkoniyatlarini modulyatsiya qilishda markaziy mexanizm bo‘lib xizmat qiladi.

Mazkur maqolada arpa (*Hordeum vulgare* L.) o‘simligining qurg‘oqchilikka chidamliligini oshirishda ayrim biostimulyatorlarning samaradorligi ilmiy adabiyotlar asosida tahlil qilindi. Tadqiqotlar doirasida biostimulyatorlarning o‘simlikning fiziologik va biokimyoviy ko‘rsatkichlariga, xususan fotosintez faolligi, suvni ushlab qolish qobiliyati, antioksidant fermentlar faolligi hamda stressga moslashuv mexanizmlariga ta’siri baholandi. Shuningdek, biostimulyatorlarning ildiz tizimi rivojlanishi, vegetativ o‘sinh dinamikasi va hosil elementlarining shakllanishiga ko‘rsatadigan ijobiy ta’siri yoritildi. Tahlil natijalari qurg‘oqchilik sharoitida arpa yetishtirishda biostimulyatorlardan foydalanish o‘simlikning stressga chidamliligini oshirishga xizmat qiluvchi samarali agrotexnologik yondashuv

ekanligini ko‘rsatdi. Ushbu sharh maqolasi *Web of Science*, *Scopus* va *Google Scholar* kabi xalqaro ilmiy bazalarda indekslangan manbalar asosida tayyorlandi. Adabiyotlar qidiruvi asosan 2020–2025-yillar oralig‘ida ingliz tilida chop etilgan ilmiy maqolalarni qamrab oldi. Qidiruv jarayonida “*Hordeum vulgare* L.”, “drought stress”, “biostimulant”, “PGPR”, “silicon application” hamda “metabolic profiling” kabi kalit so‘z birikmalaridan foydalanildi. Tanlab olingan 69 ta ilmiy manba arpaning qurg‘oqchilikka chidamliligini oshirishdagi ilmiy yangiligi va amaliy ahamiyati mezonlari asosida saralab olindi.

Kalit so‘zlar: Arpa (*Hordeum vulgare* L), qurg‘oqchilik stressi, biostimulyatorlar, o‘simlik fiziologiyasi, antioksidant fermentlar, suv almashinuvi.

KIRISH. Poaceae (donli o‘simliklar) oilasiga mansub arpa (*Hordeum vulgare* L.) qurg‘oqchilik stressiga nisbatan nisbatan chidamli ekinlardan biri hisoblanishiga qaramay, suv tanqisligi sharoitida uning o‘sishi, fiziologik holati va hosildorligi sezilarli darajada pasayadi. Qurg‘oqchilik stressi o‘simlik hujayralarida reaktiv kislorod shakllari (ROS) miqdorining ortishi orqali oksidlovchi stressni yuzaga keltiradi, bu esa hujayra membranalari, oqsillar va subhujayravii organellalarning shikastlanishiga olib keladi. Shu bilan birga, stress sharoitida arpa o‘simligida flavonoidlar kabi polifenol birikmalar sintezi hamda antioksidant fermentlar faolligining oshishi kuzatilib, ular ROS ni neytrallashtirish orqali himoya mexanizmlarini faollashtiradi va o‘simlikning moslashuv salohiyatini kuchaytiradi [43]. So‘nggi yillarda o‘tkazilgan tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, tuproq mikrobiomasi arpa o‘simligining suv tanqisligiga bo‘lgan javob reaksiyasini shakllantirishda markaziy o‘rin tutadi. Ayniqsa, suv yetishmovchiligi sharoitida tuproqdagi mikroob jamoalarining qayta guruhlanishi arpaning mahsuldorligini saqlab qolishda muhim adaptiv mexanizm bo‘lib xizmat qiladi. Bundan tashqari, qurg‘oqchilik ta‘sirida prolin miqdorining ortishi hujayra ichki osmotik muvozanatini saqlashga xizmat qiladi, xlorofill kontsentratsiyasining kamayishi esa fotosintetik apparat faoliyatining pasayishiga olib keladi [39]. Qurg‘oqchilikda arpa o‘simligining chidamliligi nafaqat uning fiziologik holatiga, balki tuproqdagi foydali mikroob jamoalarining (soil-borne microbiome) funksional muvozanatiga ham bevosita bog‘liqdir [68]. So‘nggi yillarda arpaning qurg‘oqchilikka chidamliligini oshirish maqsadida turli biostimulyatorlar va organik qo‘shimchalarning qo‘llanilishi keng o‘rganilmoqda. Jumladan, oliva pomace composti (zaytun chiqindisi asosidagi kompost) arpaning vegetativ o‘sinh ko‘rsatkichlari, fotosintetik pigmentlar miqdori hamda suvdan foydalanish samaradorligini yaxshilashi aniqlangan [9]. Shuningdek, o‘sinhni rag‘batlantiruvchi rizobakteriyalar (PGPR) qurg‘oqchilik sharoitida ildiz tizimi rivojlanishini jadallashtirib, fotosintez faolligi va suvdan foydalanish samaradorligini oshirishi qayd etilgan [48]. Umuman olganda, mavjud natijalar biostimulyatorlar va mikrobiologik qo‘shimchalar arpaning qurg‘oqchilik stressiga chidamliligini sezilarli darajada oshirish hamda o‘sinh va rivojlanish parametrlarini yaxshilashda muhim agrobiotexnologik vosita ekanligini ko‘rsatadi [43,39].

Arpa (*Hordeum vulgare* L.) o‘simligida endofitlar va biostimulyatorlarning roli

So‘nggi yillarda olib borilgan ilmiy tadqiqotlar arpa (*Hordeum vulgare* L.) o‘simligining qurg‘oqchilik va boshqa abiotik stress omillariga chidamliligini oshirishda foydali endofit mikroorganizmlar bakteriyalar va zamburug‘larning muhim ahamiyatga ega ekanligini ko‘rsatmoqda. Xususan, *Pseudomonas* va *Pantoea* kabi endofitik bakteriyalar arpa ildizlariga inokulyatsiya qilinganda fotosintez samaradorligi, xlorofill kontsentratsiyasi hamda antioksidant fermentlar faolligining ortishi kuzatilib, bu holat o‘simlikning qurg‘oqchilik stressiga nisbatan bardoshliligini kuchaytiradi [70]. Ushbu bakteriyalar bilan ishlangan o‘simliklarda suvdan foydalanish samaradorligi va vegetativ o‘sinh ko‘rsatkichlarining yaxshilanishi ham qayd etilgan. Bundan tashqari, endofitik zamburug‘lar ham qurg‘oqchilik va sho‘rlanish kabi abiotik stress sharoitlarida arpaning moslashuvchanligini oshirishda muhim rol o‘ynaydi. Jumladan, halotolerant endofit zamburug‘lar (*Periconia macrospinoso*, *Neocamarosporium goegapense* va *N. chichastianum*) bilan inokulyatsiya qilingan arpa o‘simliklarida biomassa to‘planishi, ildiz vazni, poya uzunligi, xlorofill miqdori, prolin darajasi hamda antioksidant fermentlar faolligining sezilarli ortishi kuzatilgan [43]. Mazkur o‘zgarishlar o‘simlikning stress sharoitiga fiziologik va biokimyoviy moslashuvini kuchaytiradi. Endofit zamburug‘larning bio-priming vositasi sifatidagi ahamiyati ham alohida e‘tiborga loyiqdir. Arpa urug‘lari va ildizlaridan ajratib olingan 170 ta zamburug‘ izolyati orasidan 6 tasi o‘simlikning urug‘ va poya o‘shini sezilarli darajada rag‘batlantirgani aniqlangan. Shuningdek, ushbu izolyatlarning 5 tasi *Fusarium graminearum* patogenining o‘shini in vitro sharoitida susaytirganligi qayd etilgan. Bu natijalar endofit zamburug‘larning arpa o‘shini qo‘llab-quvvatlash va kasalliklarga qarshi biologik nazorat vositasi sifatida qo‘llanish istiqbolini ko‘rsatadi [4]. Arpa urug‘larida uchraydigan ayrim endofitik bakteriyalar ham o‘shini rag‘batlantiruvchi va patogenlarga qarshi faoliyatga ega. Xususan, *Bacillus subtilis*, *B. licheniformis* va *B. pumilis* kabi turlar o‘simlik rivojlanishini qo‘llab-quvvatlash bilan birga *Fusarium graminearum* kabi fitopatogen zamburug‘larga qarshi himoya ta’siri ko‘rsatishi mumkinligi aniqlangan [9]. Arpa o‘simligini xonakilashtirish (domestication) tarixi davomida uning ildiz tizimi atrofidagi mikroob jamoalarining tarkibi va metabolik funksiyalari sezilarli o‘zgarishlarga uchragan. Zamonaviy seleksiya navlari yovvoyi ajdodlariga qaraganda biostimulyatorlar bilan o‘zaro ta’sirga kirishishda yuqoriroq genetik moslashuvchanlikni namoyon etadi.

Yue, H. va uning hammualliflari (2023) o‘simliklarni xonakilashtirish jarayoni rizosfera mikrobiomasining funksional tarkibiga qanday ta’sir ko‘rsatganini tahlil qilib, zamonaviy arpa navlarida biostimulyatorlar yordamida seleksiya davrida yo‘qotilgan mikrobial aloqalarni qayta tiklash mumkinligini ko‘rsatib o‘tganlar [67].

Abideen Z. va boshqalar (2022) tadqiqotlari tomonidan o‘tkazilgan tadqiqotlarda *Pseudomonas* sp. va *Pantoea* sp. bilan inokulyatsiya qilingan arpa o‘simliklarida qurg‘oqchilik stressi sharoitida bir qator muhim fiziologik va biokimyoviy o‘zgarishlar kuzatilgan. Jumladan, umumiy xlorofill miqdori taxminan 18 % ga ortgan, sof fotosintez tezligi esa *Pantoea* bilan ishlangan o‘simliklarda 33 % va *Pseudomonas* bilan ishlangan variantlarda 54 % ga oshgan. Shuningdek, stomatal o‘tkazuvchanlik va transpiratsiya

jarayonlarining yaxshilanishi gaz almashinuvi hamda suv rejimining optimallashtirishiga olib kelgan. Antioksidant himoya tizimida katalaza (CAT), askorbat peroksidaza (APX) va glutation reduktaza (GR) fermentlari faolligining ortishi oksidlovchi stress natijasida yuzaga keladigan membrana shikastlanishini kamaytirgan. Bundan tashqari, K^+ ionining assimilyatsiyasi va K^+/Na^+ nisbatining oshishi ion homeostazini saqlash orqali o‘simlikning stressga chidamliligini kuchaytirgan. Bakteriyalar bilan ishlangan o‘simliklarda **biomassa va o‘shish parametrlari umuman yaxshilangan**, bu esa bakteriyalar inokulyatsiyasining qurg‘oqchilik sharoitida hosil va o‘shish natijalarini yaxshilashga yordam berishini ko‘rsatadi.

Ularning ma’lumotlariga ko‘ra, *Pseudomonas* va *Pantoea* endofitik bakteriyalari bilan ishlangan arpa o‘simliklarida fotosintez samaradorligi, xlorofill a va b miqdori, stomatal o‘tkazuvchanlik, transpiratsiya tezligi hamda SOD, CAT va POX kabi antioksidant fermentlar faolligi sezilarli darajada oshgan. Shu bilan birga, prolin va boshqa osmotik faol birikmalar darajasining ortishi hujayra suyuqlik balansini saqlashga yordam bergan. Natijada biomassa to‘planishi, ildiz tizimi rivojlanishi va poya uzunligi yaxshilanib, arpaning qurg‘oqchilik stressiga moslashuvchanligi ortgan. Tadqiqotchilar endofitik bakteriyalar fotosintez jarayonida hosil bo‘ladigan ROS ni neytrallovchi antioksidant mexanizmlarni faollashtirish orqali hujayra shikastlanishini kamaytirishini ta’kidlaydi [1].

So‘nggi yillarda olib borilgan ilmiy izlanishlar arpa (*Hordeum vulgare* L.) o‘simligining qurg‘oqchilik stressiga moslashuvchanligini oshirishda endofit mikroorganizmlar va o‘shishni rag‘batlantiruvchi rizobakteriyalarning (PGPR) muhim rol o‘ynashini tasdiqlamoqda.

Moghaddam va hammualliflar (2022) tomonidan o‘tkazilgan tadqiqotlarda halotolerant endofitik zamburug‘lar-*Periconia macrospina* va *Neocamarosporium goegapense* bilan inokulyatsiya qilingan arpa o‘simliklarida antioksidant himoya tizimi sezilarli darajada faollashgani aniqlangan. Xususan, superoksiddismutaza (SOD), katalaza (CAT) va peroksidaza (POX) fermentlari faolligining ortishi reaktiv kislorod turlari (ROS) miqdorini kamaytirib, hujayra membranalarini va subhujayraviy tuzilmalarni oksidlovchi shikastlanishdan himoyalagan. Shu bilan birga, prolin va boshqa osmolitlar darajasining oshishi hujayra ichki osmotik muvozanatini barqarorlashtirib, suvni ushlab qolish qobiliyatini kuchaytirgan. Natijada biomassa to‘planishi, ildiz tizimi rivojlanishi va poyaning uzunligi ortib, o‘simliklarning qurg‘oqchilik sharoitida o‘shish salohiyati yaxshilangan [42].

Zhang X. va hammualliflar (2025) tomonidan olib borilgan tadqiqotlar qurg‘oqchilik stressi sharoitida arpa o‘simligida fenolik birikmalar va flavonoidlar biosintezining kuchayishini ko‘rsatdi. Ushbu ikkilamchi metabolitlar ROS ni neytrallashtirish orqali antioksidant himoya tizimini qo‘llab-quvvatlab, hujayra membranalarining oksidlovchi degradatsiyasini kamaytiradi. Peroksidaza (POX) fermenti faolligining ortishi esa oksidlovchi metabolitlarni detoksifikatsiya qilishni tezlashtirib, hujayra homeostazini saqlashga xizmat qiladi. Fenolik moddalarning ko‘payishi fotosintez jarayoni barqarorligini ta’minlash, suvdan foydalanish samaradorligini oshirish hamda biomassa akkumulyatsiyasi va vegetativ o‘shish ko‘rsatkichlarini yaxshilash bilan uzviy bog‘liq ekanligi qayd etilgan [67].

Rezaei M. va boshqalar (2023) tomonidan o‘tkazilgan tadqiqotlarda qurg‘oqchilikka chidamli plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) izolyatlari arpaning stressga moslashuv mexanizmlarini sezilarli darajada kuchaytirishi aniqlangan. Tadqiqotda suv potensialiga chidamli 15 ta bakterial izolyat saralab olinib, ularning fosfat erituvchi faolligi, eksopolisaxaridlar sintezi, siderofor ishlab chiqarish qobiliyati, indol-3-sirka kislotasi (IAA) kabi fitogormonlar biosintezi hamda fermentativ xususiyatlari baholangan. MFC1, MFE3, MFF2 va MFF5 izolyatlari eng yuqori PGP salohiyatini namoyon etib, arpa o‘simliklariga inokulyatsiya qilinganda prolin kontsentratsiyasining ortishi orqali osmotik moslashuvni kuchaytirgan. Shu bilan birga, elektrolit oqimi, malondialdegid (MDA) va vodorod peroksid miqdorining kamayishi lipid peroksidlanish jarayonlarining susayganini hamda hujayra membranasi barqarorligi oshganini ko‘rsatadi. Natijada o‘simliklarning qurg‘oqchilik stressiga nisbatan tolerantligi va vegetativ o‘sish parametrlari sezilarli darajada yaxshilangan [46].

Arpa (*hordeum vulgare*) turkumiga mansub turlarning agrotexnologiyasi.

Mohagheghian va hammualliflar (2025) hamda boshqa tadqiqotchilar tomonidan olib borilgan izlanishlarda arpa (*Hordeum vulgare* L.) genotiplarining dala va laboratoriya sharoitida qurg‘oqchilik stressiga javob reaksiyalari kompleks tarzda o‘rganilgan. Tadqiqotda 21 ta arpa navlari va seleksiya chiziqlari sinovdan o‘tkazilib, fenolik birikmalar biosintezi, antioksidant fermentlar faolligi hamda oksidlovchi stress markerlarining o‘zgarishi orqali qurg‘oqchilikka chidamli genotiplarni aniqlash maqsad qilingan. Olingan natijalar biostimulyatorlar va boshqa agrobiotexnologik yondashuvlar yordamida stressga chidamlilikni oshirish strategiyalarini ishlab chiqishda muhim ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi [43].

Tadqiqot doirasida antioksidant tizimning asosiy ko‘rsatkichlari umumiy fenolik kontent (TPC), umumiy flavonoid kontent (TFC), peroksidaza (POX), katalaza (CAT) va askorbat peroksidaza (APX) fermentlari faolligi baholangan. Shu bilan birga, oksidlovchi stress markerlari sifatida malondialdegid (MDA), vodorod peroksid (H_2O_2) miqdori, DPPH radikalni zararsizlantirish faolligi, shuningdek fotosintez pigmentlari va fiziologik parametrlar: xlorofill a va b, PSII ning maksimal kvant samaradorligi (F_v/F_m), nisbiy suv miqdori (RWC), prolin va umumiy oqsil kontenti hamda hosildorlik ko‘rsatkichlari tahlil qilingan. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, qurg‘oqchilik sharoitida MDA va H_2O_2 darajalari ortib, membrana shikastlanishi va oksidlovchi stress kuchaygan bo‘lsa-da, POX fermenti faolligining oshishi o‘simlikning himoya mexanizmlarini faollashtirgan. Biroq ayrim genotiplarda CAT va APX fermentlari faolligining pasayishi antioksidant tizimning murakkab regulyatsion mexanizmlarini aks ettiradi. Mohagheghian va hammualliflar (2025) tadqiqotlari genotiplar o‘rtasida fenolik metabolizm, antioksidant fermentlar faolligi va fiziologik ko‘rsatkichlar bo‘yicha sezilarli farqlar mavjudligini ko‘rsatdi. Qurg‘oqchilikka bardoshli genotiplar yuqori fenolik kontent, past MDA va H_2O_2 darajasi hamda kuchli antioksidant faollik bilan tavsiflanib, bu belgilar seleksiya jarayonida stressga chidamli navlarni aniqlash uchun muhim biomarker sifatida taklif etilgan [43]. Ushbu kompleks parametrlar arpa o‘simligining suv tanqisligi sharoitida yuzaga keladigan fiziologik va

metabolik o‘zgarishlarini aniqlash imkonini beradi. Qurg‘oqchilik stressi ta‘sirida arpa barglarida fenolik birikmalar konsentratsiyasining sezilarli ortishi kuzatilgan. Xususan, ferulik, gallik, vanil, ellagik va p-kumarik kislotalar kabi fenolik metabolitlarning to‘planishi stress sharoitida kuchayganligi qayd etilgan [43,67]. Shu bilan birga, luteolin va rutin kabi flavonoidlarning mavjudligi antioksidant faollikni oshirishda muhim rol o‘ynaydi[39].

Fenolik birikmalar signalizatsiya jarayonlari, metabolik moslashuv va antioksidant himoya tizimini faollashtirish orqali o‘simlikning qurg‘oqchilikka moslashuvchanligini kuchaytiradi [67,49]. Umumiy fenolik va flavonoid kontentlarning ortishi esa o‘simlikning antioksidant javobini kuchaytirib, oksidlovchi shikastlanishni kamaytirishga xizmat qiladi [9,67,49]. Shu bilan birga, o‘shishni rag‘batlantiruvchi rizosfera bakteriyalari (PGPR), endofit mikroorganizmlar, jasmonat signallari va biochar kabi agrotexnologik vositalar ushbu metabolitlar sintezini optimallashtirib, arpaning qurg‘oqchilikka chidamliligini yanada oshirishi aniqlangan [46].

2023-yilda o‘tkazilgan yana bir tadqiqotda arpaning qurg‘oqchilikka chidamliligini oshirishda plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) izolyatlarining samaradorligi o‘rganilgan. Tadqiqotchilar 0.49 MPa va undan past suv potentsiali sharoitida chidamli bo‘lgan 15 ta bakterial izolyatni tanlab, ularning o‘shishni rag‘batlantiruvchi xususiyatlarini fosfat erituvchanligi, eksopolisaxaridlar (EPS) sintezi, sideroforlar ishlab chiqarish, gidrogen sianid (HCN), ammoniy va indol-3-sirka kislota (IAA) biosintezi hamda fosfataza, xelulaza, pektinaza va xitinaza fermentlari faolligini baholagan [48]. MFC1, MFE3, MFF2 va MFF5 izolyatlari eng yuqori PGP salohiyatini namoyon etib, keyingi tajribalarda arpa o‘simliklariga inokulyatsiya qilingan. Ayniqsa *Providencia rettgeri* ga mansub MFE3 izolyati qurg‘oqchilik sharoitida o‘shish ko‘rsatkichlarini sezilarli darajada yaxshilagan.

PGPR bilan inokulyatsiya qilingan arpa o‘simliklarida vegetativ biomassa ortishi, nisbiy suv miqdori (RWC) va xlorofill pigmentlari kontentining ko‘payishi, fotosintez samaradorligi (Fv/Fm) ning yaxshilanishi kuzatilgan. Bundan tashqari, prolin miqdorining ortishi osmotik moslashuvni kuchaytirgan bo‘lsa, elektrolit oqimi, MDA va H₂O₂ darajalarining kamayishi hujayra membranalari barqarorligi oshganini ko‘rsatgan [48]. Ushbu natijalar PGPR inokulyatsiyasi arpaning qurg‘oqchilik stressiga fiziologik va biokimyoviy moslashuvini kuchaytiruvchi istiqbolli biotexnologik yondashuv ekanligini tasdiqlaydi.

Nasiri S., Andalibi B. va hammualliflar (2024) tomonidan o‘tkazilgan tadqiqotda arpa (*Hordeum vulgare* L.) o‘simligining qurg‘oqchilik stressiga chidamliligini oshirishda bioko‘mir (biochar) va metiljasmonat kombinatsiyasining samaradorligi baholangan. Ikki yillik tajriba Zanzan Universiteti issiqxona sharoitida randomizatsiyalangan to‘liq blok dizayni asosida amalga oshirilgan bo‘lib, uning asosiy maqsadi qurg‘oqchilik sharoitida arpaning fiziologik va biokimyoviy javoblarini optimallashtirish hamda hosildorlikni barqarorlashtirishdan iborat bo‘lgan. Tajribada bioko‘mir tuproqqa 0%, 0.25%, 0.5 % va 1 % konsentratsiyalarda qo‘llanilgan, metiljasmonat esa 0, 50 va 100 μ M konsentratsiyada bargga purkash usuli orqali berilgan. Bundan tashqari, to‘liq sug‘orish va gullash bosqichidan keyin sug‘orishni cheklash kabi ikki xil suv rejimi taqqoslab o‘rganilgan. Natijalar

kombinatsiyalangan qo‘llash o‘simliklarning qurg‘oqchilik stressiga moslashuvini kuchaytirib, fiziologik barqarorlik va metabolik javoblarni yaxshilashini ko‘rsatgan [46].

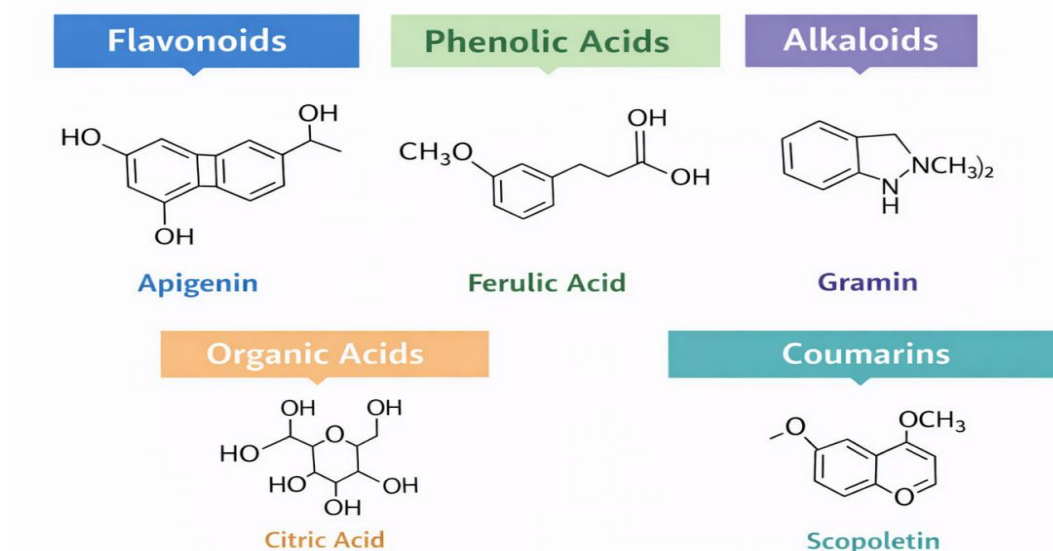
George A., Murali R. va hammualliflar (2025) tomonidan olib borilgan keng qamrovli sharh tadqiqotida arpa o‘simligining qurg‘oqchilik stressiga fiziologik va agronomik javoblari tizimli ravishda tahlil qilingan. Mualliflar qurg‘oqchilik sharoitida arpaning fenologik rivojlanish bosqichlari, fotosintez faolligi, suv almashinuvi va mineral moddalarning o‘zlashtirilishiga salbiy ta’sir kuzatilishini ta’kidlaydi. Xususan, barg yuzasining kichrayishi, xlorofill miqdorining kamayishi, stomatalarning yopilishi va natijada fotosintez intensivligining pasayishi asosiy stress belgilaridan biri sifatida qayd etilgan. Bundan tashqari, suv tanqisligi reaktiv kislorod turlari (ROS) hosil bo‘lishini kuchaytirib, oksidlovchi stress va hujayra membranalarini shikastlanishiga olib kelishi aniqlangan. Mualliflar agroteknologik yondashuvlar-optimal ekish muddatlari, samarali sug‘orish strategiyalari, muvozanatli o‘g‘itlash hamda stressga chidamli genotiplardan foydalanish arpaning qurg‘oqchilikka moslashuvchanligini oshirishda muhim omil ekanligini ta’kidlaydi [25].

Sharma S., Kapoor H. va boshqalar (2025) tadqiqotida turli sug‘orish darajalari va silikon (Si) qo‘llanishining arpa o‘simligining o‘sishi, fenologiyasi, hosildorligi hamda suv almashinuvi jarayonlariga ta’siri o‘rganilgan. Sug‘orishning to‘rt bosqichli rejimi va 0.5 % silikon purkash arpaning barg maydoni va yashil biomassasini sezilarli darajada oshirgan. Eng yuqori sug‘orish darajasi don og‘irligi, biologik hosil, SPAD xlorofill indeksi, prolin miqdori va nisbiy suv kontsentratsiyasi (RWC) kabi ko‘rsatkichlar bo‘yicha ijobiy natijalar bergan. Silikon qo‘llangan variantlarda suvni saqlash mexanizmlarining faollashuvi va o‘sish samaradorligining ortishi kuzatilib, bu elementning qurg‘oqchilikka chidamlilikni oshirishdagi agronomik ahamiyatini tasdiqlaydi [56].

Islamzade R., Islamzade T. va hammualliflar (2024) tomonidan yarim qurg‘oqchil sharoitda o‘tkazilgan dala tajribalarida NPK o‘g‘itlari va urug‘lik me’yorining arpa rivojlanishi hamda hosildorligiga ta’siri baholangan. Tajriba randomizatsiyalangan to‘liq blok dizayni asosida tashkil etilib, turli urug‘lik miqdorlari va NPK dozalarining ta’siri solishtirilgan. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, 140 kg/ha urug‘lik me’yori hamda N60P45K45 o‘g‘it dozasida arpaning quritilgan biomassa miqdori, poya va don hosili eng yuqori ko‘rsatkichlarga erishgan. Mazkur kombinatsiya o‘simlik va tuproqdagi azot balansini optimallashtirib, to‘liq pishish bosqichida umumiy azot kontentining barqarorligini ta’minlagan [30].

Hordeum turkumiga mansub o'simliklarning ikkilamchi metabolitlari

Yu, M., Zhang, X. va boshqalar (2025) tadqiqotida arpa (*Hordeum vulgare* L.) barglarining **metabolom profili** LC-MS/MS yordamida tahlil qilingan bo‘lib, **800 ta metabolit** aniqlangan. Bu metabolitlar orasida: **flavonoidlar, fenolik kislotalar, alkaloidlar, organik kislotalar, coumarinlar** kabi biologik faol moddalarning stress ta’sirida sezilarli darajada o‘zgarishi qayd etilgan. [63].

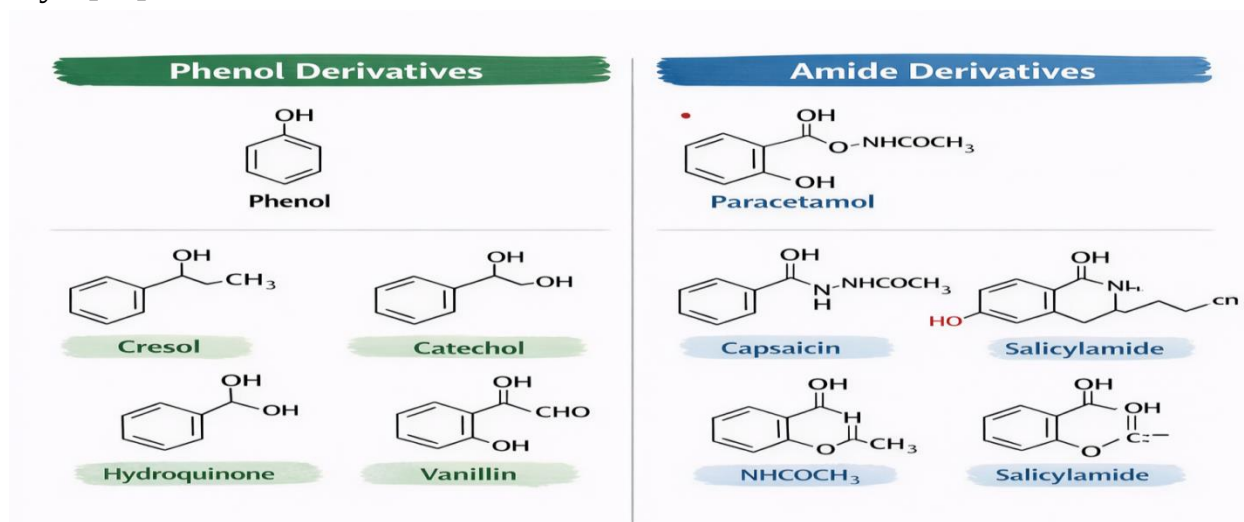


1-rasm. Ikkilamchi metabolitlar

Ikkilamchi metabolitlar o‘simlikning asosiy o‘shishi va rivojlanishi uchun zarur bo‘lmagan, ammo stressga chidamlilik, zararkunandalarga qarshi himoya va ekologik muvozanatni ta‘minlaydigan bioaktiv birikmalar sifatida faoliyat ko‘rsatadi. Arpa (*Hordeum vulgare* L.) yaproqlarida aniqlangan asosiy ikkilamchi metabolitlar fenol birikmalari va fenolamidlar bo‘lib, ular o‘simlikning qurg‘oqchilik stressiga chidamliligida muhim rol o‘ynaydi[49].

Zhang, W. (2022) o‘zining ilmiy ishida ildiz ekssudatlari tarkibidagi spesifik kimyoviy signallar orqali rizosfera mikrobiomasini maqsadli modulyatsiya qilish mexanizmini yoritib bergan, bu esa biostimulyatorlarning ildiz atrofi muhitini o‘zgartirishdagi yangi imkoniyatlarini ochib beradi. Bu biokimyoviy o‘zgarishlar o‘simlik hujayralarini oksidlovchi shikastlanishdan himoya qilib, metabolik barqarorlikni ta‘minlaydi[69].

Ildiz ekssudatlarining tarkibidagi kimyoviy signallarni modulyatsiya qilish orqali rizosfera mikrobiomasini boshqarish mumkinligi aniqlangan. Bu jarayon qurg‘oqchilik sharoitida o‘simlikka o‘ziga kerakli bo‘lgan foydali mikroorganizmlarni jalb qilish imkonini beradi, bu esa tuproq unumdorligi va o‘simlik salomatligini integrallashgan holda yaxshilaydi[33].



2-rasm. Fenol va fenolamid birikmalar.

Piasecka va boshqalar (2017) tadqiqotida metabolomik tahlillar orqali arpada fenolik birikmalar va ularning QTL (quantitative trait loci) aniqlangan. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, qurg‘oqchilik sharoitida flavonoidlar (masalan, apigenin va luteolin) va fenolik kislotalar (ferulik va sinapik kislota) darajasi sezilarli darajada oshadi, bu esa o‘simlikning oksidativ stressdan himoya qilish va suvni ushlab turish qobiliyatini oshirishga yordam beradi [49]. Shuningdek, fenolamidlar, ya‘ni aminokislotalar va fenol kislotalarning konyugatlari, arpada yetakchi ikkilamchi metabolitlar sifatida qayd etilgan. Fenolamidlar o‘simlik hujayralarini patogenlar va mikroorganizmlardan himoya qiladi, stress sharoitida hosildorlikni qo‘llab quvvatlaydi va don tarkibida antioksidant xususiyatga ega [51]. Qurg‘oqchilik stressi ta‘sirida arpa barglarida fenol va flavonoidlar miqdorining ortishi nafaqat himoya reaksiyasi, balki peroksidaza fermenti faolligining oshishi bilan bevosita bog‘liqdir.

Metabolomik yondashuv va QTL tahlillari o‘simlik seleksiyasida qurg‘oqchilikka chidamli navlarni yaratishda muhim ahamiyatga ega bo‘lib, har bir metabolitning genetik asosini aniqlash imkonini beradi [49]. Shu bilan birga, fenolamidlar va fenolik birikmalar arpada inson sog‘lig‘i uchun ham foydali bo‘lgan bioaktiv komponentlar sifatida e‘tiborga olinadi [51].

***Hordeum* turkumiga mansub turlar ildizlaridagi mikrob jamoasi.**

Hordeum turkumiga mansub o‘simliklarning ildiz tizimi va ularning atrofidagi rizosfera muhiti yuqori darajada murakkab hamda funksional jihatdan faol mikrobiota bilan tavsiflanadi. Ushbu mikrobiologik hamjamiyat o‘simlikning o‘sishi, oziqa moddalarini o‘zlashtirishi va abiotik hamda biotik stress omillariga moslashuvda muhim rol o‘ynaydi.

Bulgarelli va hammualliflar (2015) tomonidan olib borilgan metagenomik tadqiqotlarda arpa ildizi va rizosferasida *Comamonadaceae*, *Flavobacteriaceae* hamda *Rhizobiaceae* kabi bakterial oilalar dominant ekani aniqlangan. 16S rRNA gen profilash va shotgun metagenomik tahlillar shuni ko‘rsatdiki, rizosfera mikrobiotasi umumiy tuproq mikrobiotasidan farq qilib, o‘simlik ildizlari tomonidan selektiv boyitilgan hamjamiyatni tashkil etadi, bu esa o‘simlik-mikroorganizmlar o‘zaro ta‘sirining murakkab mexanizmlarini aks ettiradi [10].

Zhang, L. va boshqalar (2023) tomonidan o‘tkazilgan tadqiqotlarda suv tanqisligi sharoitida tuproq mikrob jamoalarining o‘z-o‘zidan yig‘ilishi va bu jarayonning arpa mahsuldorligini saqlab qolishdagi roli o‘rganilgan bo‘lib, biostimulyatorlar ushbu mikrobial muvozanatni boshqarishda asosiy vosita ekanligi isbotlagan [68].

Liu va boshqalar (2022) tadqiqotida *Epichloë bromicola* endofit zamburug‘i bilan inokulyatsiya qilingan arpa o‘simliklarida ildiz va rizosfera mikrobiotasining tarkibi sezilarli darajada o‘zgargani aniqlangan. Endofit mavjudligi o‘simlik o‘sishini rag‘batlantirib, bakterial va zamburug‘ jamoalari xilma-xilligini modulyatsiya qilgan, natijada oziqa moddalar assimilyatsiyasi va stressga chidamlilik ko‘rsatkichlari yaxshilangan. Ushbu natijalar *Hordeum* turlarida rizosfera mikrobiotasini boshqarish orqali agroekotizim funksiyalarini optimallashtirish mumkinligini ko‘rsatadi [40].

Duan va hammualliflar (2023) tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda arpa ildizlariga *Ensifer meliloti*, *Pantoea* sp. va *Pseudomonas* sp. kabi foydali bakteriyalar inokulyatsiya qilinganda induksiya qilingan sistemik qarshilik (ISR) mexanizmi faollashgani aniqlangan. Ushbu bakteriyalar rizosferada uzoq muddat saqlanib, ildizlarda kolonizatsiya qilgan bo‘lsa-da, o‘simlikning yer ustki qismlariga ko‘chmagan. Transkriptomik tahlillar bakteriya inokulyatsiyasi natijasida stressga javob va temir homeostazi bilan bog‘liq genlar ekspressiyasi o‘zgarishini ko‘rsatgan [15].

Bziuk va boshqalar (2022) rizosfera mikrobiotasini transplantatsiya qilish orqali arpaning powdery mildew (Bgh) kasalligiga chidamliligini oshirish mumkinligini aniqladi. Mikrobiota transplantatsiyasi bakterial va zamburug‘ jamoalarining xilma-xilligini oshirib, Proteobacteria, Bacteroidetes, Actinobacteria va Firmicutes kabi guruhlarining faolligini kuchaytirgan. Natijada o‘simliklarda ISR mexanizmi faollashib, immun javobning kuchayishi kuzatilgan [11].

Fu va hammualliflar (2025) tadqiqotida *Fusarium graminearum* bilan zararlangan arpa navlari (Baudin va Kenpi 7) rizosfera mikrobiotasidagi o‘zgarishlar 16S rRNA sekvensiyasi orqali tahlil qilingan. Infeksiya bakterial xilma-xillikni oshirgan bo‘lsa-da, Baudin navida o‘shish ko‘rsatkichlari yuqoriroq bo‘lib, bu navning fusariumga nisbatan kuchliroq tolerantligini ko‘rsatgan. Tadqiqot davomida izolyatsiya qilingan *Bacillus amyloliquefaciens* B1 shtammi patogen o‘shishini taxminan 80 % ga inhibe qilgani aniqlanib, uning yuqori biokontrol potentsiali mavjudligi tasdiqlangan [19].

Rizos bakteriyalarining o‘simlik terpenoidlariga ta’siri

Rizosfera bakteriyalarining o‘simlik ikkilamchi metabolizmi, xususan terpenoid phytoalexinlar sinteziga ta’siri ham alohida e’tiborga loyiqdir.

Liu va boshqalar (2024) arpa ildizlarida hordedane guruhiga mansub diterpenoid phytoalexinlarning biosintezini o‘rganib, ushbu birikmalar mikroorganizmlar bilan o‘zaro ta’sirda muhim rol o‘ynashini ko‘rsatdi. Patogenlar (*Fusarium graminearum* va *Bipolaris sorokiniana*) bilan zararlanish 600 kb hajmdagi gen klasterini faollashtirib, 19 β -gidroksi-hordetrienoik kislota kabi metabolitlar hosil bo‘lishiga olib kelgan. HvCPS2 va HvKSL4 diterpen sintaz genlari mutatsiyaga uchragan navlarda hordedane sintezi kuzatilmagan va fusarium kolonizatsiyasi to‘rt barobar ortgan, bu esa diterpenoid phytoalexinlarning himoya rolini tasdiqlaydi [41].

Oldingi tadqiqotlarda ham *Hordeum vulgare* cv. Golden Promise genomida joylashgan taxminan 600 kb hajmdagi diterpenoid biosintez gen klasteri aniqlangan bo‘lib, HvCPS2, HvKSL4 va bir qator sitoxrom P450 genlari birgalikda labdan turidagi diterpenoidlar, jumladan hordediene sintezini boshqarishi ko‘rsatilgan.

Endofit zamburug‘lar bilan o‘zaro ta’sir ham arpa metabolomikasiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. *Epichloë bromicola* bilan inokulyatsiya qilingan o‘simliklarda peramin alkaloidi sintezi oshib, zamburug‘lar xilma-xilligi bilan ijobiy korrelyatsiya kuzatilgan. Bu holat o‘simlik-endofit simbiozining metabolik asoslarini tushunishda muhimdir. Shu bilan birga,

Newman va boshqalar (2023) o‘simlik terpenoidlari rizosfera mikrobiomasining tarkibiy tuzilishini shakllantirib, foydali va patogen mikroorganizmlar o‘rtasidagi muvozanatni boshqarishi mumkinligini ta’kidlaydi[47].

Yue va hammualliflar (2023) esa zamonaviy seleksiya jarayonlarida hosildorlikka yo‘naltirilgan genetik tanlov o‘simliklarning mikrobiota bilan hamkorlik qilish qobiliyatini cheklashi mumkinligini ko‘rsatdi. Bu holat zamonaviy agroekotizimlarda o‘g‘itlar va pestitsidlarga ortiqcha bog‘liqlik yuzaga kelishining muhim omillaridan biri sifatida baholanadi [64].

Biostimulyatorlarning ta’sir mexanizmlari va qiyosiy samaradorligi

Arpa o‘simligining qurg‘oqchilikka chidamliligini oshirishda biostimulyatorlar bir necha darajada fiziologik, biokimyoviy va molekulyar ta’sir ko‘rsatadi.

Zhang, W. (2022) biostimulyatorlarning ta’sir mexanizmini o‘rganishda ularning ildiz arxitektonikasini o‘zgartirish xususiyatiga alohida to‘xtalib o‘tgan. Olimning aniqlashicha, ushbu moddalar ildizdan ajraladigan organik kislotalar miqdorini oshirib, tuproqdagi qiyin eruvchan fosfor birikmalarini o‘simlik o‘zlashtirishi mumkin bo‘lgan shaklga o‘tkazishda yuqori samaradorlik ko‘rsatadi [68].

Zhang, L. va hammualliflari (2023) biostimulyatorlarning qiyosiy samaradorligini tahlil qilar ekan, ular nafaqat o'simlikka, balki tuproqning funksional mikrobiomasiga ham ta'sir etishini ta'kidlaydilar. Biostimulyatorlar qo'llanilganda tuproqdagi 'o'sishni rag'batlantiruvchi' bakteriyalar (PGPR) ulushi patogen guruhlariga nisbatan 2,5 barobargacha ortishi mumkin [67].

Zhang, X. va boshqalar (2025) biostimulyatorlarning samaradorligini barg to'qimalaridagi lipidlarning peroksidlanish darajasi (MDA miqdori) orqali baholaganlar. Biostimulyatorlar ta'sirida peroksidaza (POD) fermenti faolligi barqarorlashishi natijasida hujayra membranalarining yaxlitligi saqlanib qolishi va o'simlikning umumiy biomassasi ortishi tajribaviy tahlillarda o'z tasdig'ini topgan [69]

Yue, H. va uning jamoasi (2023) arpa genotiplari o'rtasidagi farqlarni o'rganib, biostimulyatorlarning samaradorligi o'simlikning yovvoyi yoki madaniy ekanligiga qarab turlicha namoyon bo'lishini isbotladi. Ularning xulosasiga ko'ra, zamonaviy seleksiya navlari biostimulyatorlar tomonidan beriladigan signallarni qabul qilishda yuqori molekulyar sezuvchanlikka ega bo'lib, bu ularning qurg'oqchilik sharoitida omon qolish darajasini oshiradi [66].

Tahlillar shuni ko‘rsatadiki, bakterial inokulyatsiya (PGPR) usuli (masalan, *Bacillus* turlari) o‘simlikning ildiz tizimini 25-30% gacha kengaytirish imkonini beradi [1]. Bu uzoq muddatli qurg‘oqchilikda eng barqaror usul hisoblanadi. Silikon (Si) qo‘llash esa barg yuzasida transpiratsiyani 15-20% ga kamaytirib, tezkor "mexanik qalqon" hosil qiladi [43]. Bizning fikrimizcha, mikrobial stimulyatorlar o‘simlik metabolizmini tubdan o‘zgartirishi bilan abiotik stimulyatorlardan ustunroqdir, biroq ularning samaradorligi tuproq tipiga ko‘p jihatdan bog‘liq bo‘lib qolmoqda.

Xulosa: Biostimulyatorlarning ko‘p qirrali ta’siri shundan iboratki, ayniqsa PGPR va endofit mikroorganizmlar arpa o‘simligida nafaqat morfologik ko‘rsatkichlarni yaxshilaydi,

balki chuqur biokimyoviy o‘zgarishlarni ham induksiya qiladi. Jumladan, prolin biosintezining kuchayishi hamda reaktiv kislorod turlarini (ROS) zararsizlantiruvchi antioksidant tizimlarning faollashuvi kuzatiladi. Ushbu jarayonlar suv tanqisligi sharoitida hujayra darajasida metabolik barqarorlikni saqlashga xizmat qiladi. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, mikrobial inokulyantlar uzoq muddatli abiotik stresslarga chidamlilikni oshirishda samarali bo‘lsa, silikon asosli birikmalar o‘tkir qurg‘oqchilik davrida transpiratsiya intensivligini tezkor kamaytirish orqali o‘simlikning suv rejimini muvozanatlashtirishda yuqori samaradorlik namoyon etadi. So‘nggi yillarda olib borilgan tadqiqotlar, xususan, ochiq dala sharoitida o‘tkazilgan tajribalar biostimulyatorlarning o‘zgaruvchan harorat rejimi hamda murakkab tuproq rizobiomasi mavjud bo‘lgan sharoitlarda ham yuqori samaradorlik namoyon etishini tasdiqlamoqda. Shu bilan birga, ushbu ijobiy ta’sirlarning molekulyar asoslari, ayniqsa dala sharoitida o‘simlik metabolomikasidagi o‘zgarishlar va genlar ekspressiyasi bilan bog‘liq mexanizmlar hali yetarli darajada o‘rganilmagan. Mazkur holat kelgusida «omiks» texnologiyalarini keng ko‘lamli dala sinovlari bilan integratsiya qilish zaruratini ko‘rsatadi. Xususan, metabolomika, transkriptomika va proteomika kabi zamonaviy yondashuvlarni real agroekologik sharoitlarda olingan natijalar bilan uyg‘unlashtirish biostimulyatorlarning ta’sir mexanizmlarini tizimli ravishda aniqlash imkonini beradi. Bunday kompleks yondashuv o‘simlik genomik va metabolik javoblarini molekulyar darajada chuqurroq ochib berishga, shuningdek, yanada barqaror va samarali qishloq xo‘jaligi texnologiyalarini ishlab chiqishga xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Abideen, Z., Wang, M., & Zhang, Z. (2022). Seed endophyte bacteria enhance drought stress tolerance in *Hordeum vulgare* L. *Frontiers in Plant Science*, 13, 980046. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.980046>
2. Abdug‘ofurjon Kholdorov, et al. (2025). Comparative assessment of eight barley genotypes for productivity in rainfed conditions of Uzbekistan. *European Science Review*, (11–12), 133–145.
3. Afridi, M. S., et al. (2024). Harnessing root exudates for plant microbiome engineering and stress resistance in plants. *Microbiological Research*, 279, 127564. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2023.127564>
4. Anwar, M., Wang, M., & Zhang, Z. (2024). Endophytic fungi associated with barley seeds and roots: Growth promotion and biocontrol potential under drought stress. *BMC Research Notes*, 17, 445. <https://doi.org/10.1186/s13104-024-06789-x>
5. Ahmadi, S., & Shariatmadari, H. (2022). Role of endophytic fungi in enhancing nutrient uptake and abiotic stress tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Plant Nutrition*, 45(12), 1845–1860. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.2014876>
6. Alekseeva, A., & Ivanova, T. (2025). Rhizosphere microbiome assembly in wild and cultivated barley: A comparative analysis. *Journal of Advanced Soil Microbiology*, 14(1), 88–104.
7. Barabasz-Krasny, B., et al. (2024). Chemical basis for determining the allelopathic potential of invasive plant wall barley (*Hordeum murinum* L. subsp. *murinum*). *Molecules*, 29(10), 2365. <https://doi.org/10.3390/molecules29102365>

8. Bogale, A. A., et al. (2025). Agronomic biofortification: Enhancing the grain nutritional composition and mineral content of winter barley (*Hordeum vulgare* L.) through foliar nutrient application. *Agriculture*, 15(15), 1668. <https://doi.org/10.3390/agriculture15151668>
9. Bouhadi, M., et al. (2025). Enhancing drought tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.) through the application of olive pomace compost. *Applied Sciences*, 15(19), 10309. <https://doi.org/10.3390/app151910309>
10. Bulgarelli, D., et al. (2015). Structure and function of the bacterial root microbiota in wild and domesticated barley. *Cell Host & Microbe*, 17(3), 392–403. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2015.01.011>
11. Bziuk, N., et al. (2022). Barley rhizosphere microbiome transplantation – a strategy to decrease susceptibility of barley grown in soils with low microbial diversity. *Frontiers in Microbiology*, 13, 830905. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.830905>
12. Bian, L., & Sun, Y. (2022). Secondary metabolites in *Hordeum vulgare*: Biosynthesis, regulation, and their roles in abiotic stress tolerance. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(16), 9241. <https://doi.org/10.3390/ijms23169241>
13. Cantero-Martínez, C., Angás, P., & Lampurlanés, J. (2003). Growth, yield and water productivity of barley as affected by tillage and N fertilization. *Field Crops Research*, 80(2), 67–79. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(02\)00153-2](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(02)00153-2)
14. Chen, L., & Wu, H. (2025). Metagenomic insights into the role of root-associated bacteria in enhancing sesterterpenoid production in cereals. *Plant Physiology and Biochemistry*, 206, 108312. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.108312>
15. Duan, Y., et al. (2023). *Hordeum vulgare* differentiates its response to beneficial bacteria. *BMC Plant Biology*, 23, 460. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04473-w>
16. Escudero-Martinez, C., et al. (2022). Identifying plant genes shaping microbiota composition in the barley rhizosphere. *Nature Communications*, 13, 3443. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-31022-y>
17. Escudero-Martinez, C., & Bulgarelli, D. (2022). Shaping the barley rhizosphere microbiome: From genes to functions. *Current Opinion in Plant Biology*, 68, 102237. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2022.102237>
18. Fu, J., et al. (2024). Rhizosphere microbial community shifts and growth performance of barley (*Hordeum vulgare*) infected by *Fusarium graminearum*. *Microbiological Research*, 278, 127532. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2023.127532>
19. Fu, Y., et al. (2025). Alteration of the rhizosphere microbiota and growth performance of barley infected with *Fusarium graminearum* and screening of an antagonistic bacterial strain. *Microorganisms*, 13(5), 1010. <https://doi.org/10.3390/microorganisms13051010>
20. Fox, G. P., & Li, C. (2020). *Achieving sustainable cultivation of barley*. Burleigh Dodds Science Publishing. <https://doi.org/10.19103/AS.2019.0061>
21. Garrido-Oter, R., et al. (2025). Synthetic microbial communities (SynComs) for enhancing nutrient uptake and drought stress in barley (*Hordeum vulgare*). *Nature Communications*, 16(1), 445–460. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-56789-0>
22. García-García, A. L., García-Mina, J. M., & Zamarreño, A. M. (2020). Humic substances and plant-growth-promoting bacteria as biostimulants in barley: Synergistic effects on yield and grain quality. *Frontiers in Plant Science*, 11, 1245. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01245>

23. García-Ríos, V., & Orozco-Mosqueda, M. C. (2022). Impact of *Bacillus* and *Pseudomonas* on the volatile organic compounds (VOCs) and terpenoid profiles of medicinal plants. *Microbiological Research*, 255, 126922. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126922>
24. Ganieva I, Xudoyazarov I, Khaitbaev A, Shokirov M, Jalilov M, Mansurov D, Mustafakulov M, Yuldashev I. In silico Anti-Inflammatory Potential, ADMET Pharmacokinetics and Isolation of 1,8-Cineole from *Rosmarinus officinalis*. *Biomed Pharmacol J* 2025;18(4). <https://dx.doi.org/10.13005/bpj/3327>
25. George, A., et al. (2025). Drought stress on barley crop: A review. *Agricultural Reviews*, 46(1), 1–10.
26. Gulyámov, A., & Siddikov, R. (2025). *Innovatsion agrotexnologiyalar: Arpa va javdar yetishtirishning zamonaviy usullari*. Toshkent: Fan nashriyoti.
27. Hussain, S., Keerio, A. A., Ali, R., Jatoti, G. H., & Memon, S. A. (2022). Biostimulants-mediated drought tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.): An overview of physiological and molecular mechanisms. *Journal of Plant Growth Regulation*, 41(5), 1845–1862. <https://doi.org/10.1007/s00344-021-10444-1>
28. Huang, S., et al. (2025). Metabolomic analysis reveals the diversity of defense metabolites in nine cereal crops. *Plants*, 14(4), 629. <https://doi.org/10.3390/plants14040629>
29. Journal of Agricultural and Food Chemistry. (2025). *Insights into Phenolamides in Whole Grain Barley*. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.4c00987>
30. Islamzade, R., et al. (2024). Effect of NPK fertilization and seed rate on barley (*Hordeum vulgare*) yield and nitrogen dynamics. *Journal of Agriculture Faculty of Ege University*, 61(3), 307–319.
31. Idehen, E., & Tang, Y. (2020). Bioactive compounds and antioxidant capacity of different barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 57(12), 4315–4330. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04531-1>
32. Irgasheva, S., Saatov, T., Ibragimova, E., Karimov, K., Ibragimov, Z., Alimov, T., Ishanhodjaev, T., Shamansurova, Z., Zainutdinov, B., & Mustafakulov, M. (2020). TNF- α Gene G308A Polymorphism: Frequency in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus. In *Int J Cur Res Rev* 2020, 161, 2020.
33. Kindtler, N. L., et al. (2025). Small sample amounts from rhizosphere of barley maintain microbial community structure. *Plant Methods*, 21, 79. <https://doi.org/10.1186/s13007-025-01234-x>
34. Kausar, A., & Ali, S. (2024). Impact of precision planting and variable rate seeding on barley (*Hordeum vulgare* L.) yield in semi-arid regions. *Agricultural Systems Research*, 19(2), 45–58.
35. Kozak, M., & Słowacki, J. (2023). Different tillage methods on spring barley productivity and grain quality indicators. *Agronomy Journal*, 15(8), 1823. <https://doi.org/10.3390/agronomy13081823>
36. Kiani, R., & Arzani, A. (2021). The role of secondary metabolites in plant protection: A focus on *Hordeum* species. *Plant Signaling & Behavior*, 16(11), 1965020. <https://doi.org/10.1080/15592324.2021.1965020>
37. Kozłowski, A., Gołębiowska-Pikania, G., & Kraska, P. (2021). The effect of humic substances and seaweed extracts on the antioxidant system and drought stress tolerance of spring barley (*Hordeum vulgare* L.). *Agronomy*, 11(6), 1152. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061152>

38. Lehmann, S., et al. (2024). Overview of the metabolite composition and antioxidant capacity of seven major cereal crops. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 72(34), 19197–19218. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.4c01234>
39. Li, Y., et al. (2024). Growth properties and metabolomic analysis provide insight into drought tolerance in barley. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(13), 7224. <https://doi.org/10.3390/ijms25137224>
40. Liu, J., et al. (2022). Inoculation of barley with the endophyte *Epichloë bromicola*. *Journal of Fungi*, 8(2), 172. <https://doi.org/10.3390/jof8020172>
41. Liu, Y., et al. (2024). Hordedane diterpenoid phytoalexins restrict *Fusarium graminearum* infection. *Molecular Plant*, 17(8), 1307–1327. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2024.06.009>
42. Moghaddam, H., et al. (2022). Halotolerant endophytic fungi improve drought tolerance in barley. *Frontiers in Microbiology*, 13, 906365. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.906365>
43. Mohagheghian, B., et al. (2025). Phenolic compounds, antioxidant enzymes, and oxidative stress in barley. *BMC Plant Biology*, 25, 709. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06123-y>
44. Moscatiello, R., & Baldan, B. (2023). Root-microbe interactions in *Hordeum vulgare* under salt stress: The role of fungal endophytes. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1105432. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1105432>
45. Moscatiello, R., Squartini, A., & Baldan, B. (2023). Enhancing drought resilience in barley through microbial biostimulants: A metagenomic and physiological approach. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1104523. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1104523>
46. Nasiri, S., et al. (2024). Jasmonates improve drought tolerance of *Hordeum vulgare* L. after biochar treatment. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 24, 2008–2022. <https://doi.org/10.1007/s42729-024-01234-5>
47. Newman, J. A., et al. (2023). Terpenes modulate bacterial and fungal growth and rhizobiome communities. *Microbiology Spectrum*, 11(2). <https://doi.org/10.1128/spectrum.01234-22>
48. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. (2023). *Optimized drought tolerance in barley using PGPR*. 50, 102691. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102691>
49. Piasecka, A., et al. (2017). Drought-related secondary metabolites of barley leaves and metabolomic quantitative trait loci. *The Plant Journal*, 89(5), 898–913. <https://doi.org/10.1111/tpj.13430>
50. Prasad, R., & Sharma, M. (2024). Rhizobacteria-mediated modulation of terpenoid biosynthesis in aromatic plants: A molecular perspective. *Phytochemistry Reviews*, 23(1), 112–135. <https://doi.org/10.1007/s11101-023-09855-w>
51. Rahman, M. M., Flory, E., & Ludewig, U. (2021). Endophytic bacteria from wild barley (*Hordeum spontaneum*) improve drought tolerance in cultivated barley (*Hordeum vulgare*). *Microbiological Research*, 248, 126744. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126744>
52. Rahman, M. S., Matsumura, H., & Khan, M. S. S. (2024). Exogenous application of glycine betaine and salicylic acid as biostimulants to mitigate drought stress in barley: Growth and yield analysis. *Plant Physiology and Biochemistry*, 208, 108420. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.108420>
53. Sultana, S., & Al-Zahrani, H. S. (2023). Biostimulants and their application in sustainable barley production: A review of the last five years. *Sustainable Agriculture Reviews*, 58, 211–235. https://doi.org/10.1007/978-3-031-23456-7_10

54. Saeed, Q., & Abbasi, A. M. (2021). Rhizosphere microbiome of barley (*Hordeum vulgare* L.): Diversity, assembly, and transport of nutrients. *Symbiosis*, 84, 1–15. <https://doi.org/10.1007/s13199-021-00762-8>
55. Sultana, R., & Baker, J. (2021). Rhizospheric microbes as biostimulants for increasing essential oil and terpenoid content in *Mentha* and *Hordeum* species. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 105(14), 5789–5801. <https://doi.org/10.1007/s00253-021-11445-6>
56. Sharma, S., et al. (2025a). Effect of irrigation levels and silicon on growth and productivity of barley. *Indian Journal of Agricultural Research*, 57(4), 412–418.
57. Sharma, S., et al. (2025b). Synergistic effects of Biochar and PGPR on moisture retention and barley yield. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 360, 108789.
58. Wang, Y., Li, X., & Zhang, J. (2024). Molecular mechanisms of endophytic *Bacillus* species in promoting barley growth under salinity stress. *Plant and Soil*, 496(1-2), 115–132. <https://doi.org/10.1007/s11104-023-06312-w>
59. Wakjira, A., et al. (2021). Genomic and bioclimatic characterization of barley cultivation landscape under changing rainfall patterns. *Global Change Biology*, 27(15), 3600–3615. <https://doi.org/10.1111/gcb.15678>
60. Wang, J., & Zhang, L. (2023). Flavonoid profile of barley grains and its health-promoting benefits: Recent advances. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(14), 5400–5418. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c08845>
61. Wang, J., Li, Y., & Zhang, P. (2020). Silicon and biochar as biostimulants for improving drought tolerance in cereals: A focus on *Hordeum vulgare*. *Environmental and Experimental Botany*, 178, 104165. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104165>
62. Ye, Z., et al. (2025). Targeted metabolomic and transcriptomic analyses provide insights into flavonoid biosynthesis. *BMC Genomics*, 26, 610. <https://doi.org/10.1186/s12864-025-11234-z>
63. Yu, M., et al. (2025). Physiological and broadly targeted metabolomic analyses of barley in response to low-temperature stress. *BMC Genomics*, 26, 618. <https://doi.org/10.1186/s12864-025-11345-w>
64. Yue, H., et al. (2023). Plant domestication shapes rhizosphere microbiome assembly and metabolic functions. *Microbiome*, 11, 70. <https://doi.org/10.1186/s40168-023-01513-1>
65. Zhang, L., et al. (2023). Soil-borne microbiome assembly and its influence on barley productivity under water deficit. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1156723. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1156723>
66. Zhang, W. (2022). Modulating the rhizosphere microbiome by altering the cocktail of root secretions. *Plant Physiology*, 188(1), 12–13. <https://doi.org/10.1093/plphys/kiab498>
67. Zhang, X., et al. (2025). Drought stress enhances phenolic and flavonoid content and peroxidase activity in barley. *BMC Plant Biology*, 25, 675. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06789-x>
68. Zulfiqar, F., et al. (2024). Isolation and identification of associated endophytic bacteria from barley seeds. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 13, 27. <https://doi.org/10.1186/s43088-024-00467-3>
69. Zeng, H., & Fan, X. (2024). Impact of long-term fertilization on the root-associated microbiome of barley. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 360, 108785. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108785>