Ilmiy tadqiqotlar va ularning yechimlari jurnali
Aoka guvohnoma № 323759 ISSN: 3060-4818

TUPROQNI SOG‘LOMLASHTIRISHNING HOZIRGI ZAMONAVIY ILMIY YONDASHUVLARI

Fayzullayeva Sevara Qahramon qizi

Abu Rayhon Beruniy nomidagi

Urganch davlat universiteti

Tuproqshunoslik mutaxassisligi magistrant

Ilmiy rahbar:**Egamberdiyev Oybek**

Annotatsiya: Maqolada tuproq unumdorligini tiklashning zamonaviy biologik va ekologik yondashuvlari, xususan, biochar va mikrobiologik inokulyantlarning tuproq sog‘lomlashishiga ta’siri tahlil qilingan. Tadqiqot natijalari ushbu usullar yordamida tuproqning o‘z-o‘zini qayta tiklash qobiliyatini va mikrobial xilma-xilligini sezilarli darajada oshirish imkoniyatlarini ko‘rsatib beradi.

Kalit so‘zlar: Tuproq sog‘lomlashtirish, biochar, mikrobiologik inokulyantlar, tuproq degradatsiyasi, regenerativ qishloq xo‘jaligi, tuproq supressivligi.

Kirish

Zamonaviy agrar ilm-fanida tuproqqa shunchaki o‘simliklar uchun mexanik tayanch yoki oziqa ombori sifatida emas, balki murakkab, dinamik va tirik ekotizim sifatida qarash shakllandi. Birlashgan Millatlar Tashkilotining Oziq-ovqat va qishloq xo‘jaligi tashkiloti (FAO) keltirgan dalillarga tayansak, global miqyosdagi unumdor yerlarning naq 33 foizi bugungi kunda turli darajada degradatsiyaga yuz tutgan [6]. Shu bois, o‘tgan o‘n yillikdagi ilmiy izlanishlarda aynan ekologik muvozanatni qayta tiklash hamda erozorlanish jarayonlarini jilovlash masalalari ustuvor ahamiyat kasb etdi. Negaki, intensiv dehqonchilik tizimi va kuchayib borayotgan antropogen bosim tuproqning tabiiy regeneratsiya hamda o‘z-o‘zini tozalash qobiliyatiga jiddiy putur yetkazmoqda.

Ushbu sharoitda tabiiy bir savol yuzaga keladi: nima sababdan an’anaviy agrokimyoviy usullar va mineral o‘g‘itlarni me’yorsiz qo‘llash uzoq muddatli istiqbolda o‘z samarasini yo‘qotib, aksincha, yangi muammolarni keltirib chiqarmoqda? Vaziyatning tub ildizi shundaki, faqatgina kimyoviy elementlar (NPK) balansiga tayanib ish ko‘rish tuproqning fizik-mexanik tuzilishini izdan chiqaradi va uning biologik faolligini susaytiradi. Sintetik mineral o‘g‘itlar va pestitsidlarning surunkali qo‘llanilishi oqibatida gumus miqdori keskin kamayib, foydali mikrobioma yo‘q bo‘lib ketish xavfi ostida qoldi. Vaholanki, ilmiy manbalarning tasdiqlashicha, bir gramm sog‘lom tuproqda milliardgacha faol mikroorganizmlar mavjud bo‘lsa, degradatsiyalangan maydonlarda bu ko‘rsatkich o‘n barobargacha pasayib ketgan [8]. Mikroorganizmlar va foydali mikoriza zamburug‘larining bunday tanqisligi o‘simliklarning immun tizimini zaiflashtiradi hamda ularning turli kasalliklarga chidamliligini pasaytiradi [9].

Bundan tashqari, tuproq degradatsiyasi global miqyosda iqlim o‘zgarishlariga ham salbiy ta’sir etib, tuproq qatlamidan atmosferaga uglerod gazining emissiya bo‘lishini jadallashtirmoqda. Respublika miqyosida ham yerlarning sho‘rlanishi, suvsizlanishi va gumus qatlamining yuvilib ketishi qishloq xo‘jaligi barqarorligiga to‘g‘ridan-to‘g‘ri xavf solayotgan yetakchi omillardan hisoblanadi [7]. Shu bois, hozirgi kunda tuproqning biologik salomatligini tiklash an’anaviy agrokimyodan ko‘ra, ekologik va regenerativ dehqonchilik prinsiplariga o‘tishni taqozo etmoqda. Aynan shu sababli dunyo olimlari tomonidan "Tuproq salomatligi" tushunchasi o‘rtaga tashlandi va u ekotizimning tiriklikni barqaror saqlash qobiliyati sifatida baholanmoqda.

Ushbu global konseptual o‘zgarishlar tufayli zamonaviy ilmiy yondashuvlar doirasida mikrobiologik inokulyantlar, biochar (bioko‘mir) texnologiyasi va fitoremediatsiya usullari jiddiy tadqiq

qilinmoqda [4], [10]. Mazkur innovatsion texnologiyalar tuproq faoliyatini sun'iy oziqlantirish orqali emas, balki uning ichki tabiiy salohiyatini faollashtirish hisobiga qayta tiklashga qaratilganligi bilan ahamiyatlidir. Biroq, biologik preparatlarning amaliy samaradorligi turli tuproq-iqlim sharoitlarida turlicha kechishi va ularning mahalliy muhitga moslashuvchanligi muammosi hali ham to'liq yechimini topganicha yo'q. Shuni hisobga olgan holda, tadqiqot jarayonida tuproq unumdorligini oshirishning eng optimal mikrobiologik va ekologik mexanizmlarini kompleks ravishda tahlil qilish belgilandi.

Xususan, ushbu tadqiqotdan ko'zlangan asosiy maqsad — tuproqni sog'lomlashtirishning hozirgi zamon ilmiy-nazariy asoslarini o'rganish va ularni muayyan mintaqaviy sharoitlarda amaliyotga joriy etish yo'llarini aniqlashdir. Shuningdek, ish doirasida innovatsion biotexnologik yondashuvlarning tuproqning agrofizik va biologik xossalariga ko'rsatadigan ijobiy ta'sirini ilmiy jihatdan asoslab berish rejalashtirilgan.

Adabiyotlar sharxi

Tuproq ekotizimini sog'lomlashtirish va uning biologik xossalarini qayta tiklash masalalari uzoq yillardan buyon dunyo agrar olimlarining diqqat markazida bo'lib kelmoqda. Xususan, taniqli tuproqshunos olim R. Lal (2020) o'z tadqiqotlarida regenerativ qishloq xo'jaligining global prinsiplarini ishlab chiqib, tuproqdagi uglerod sekvestratsiyasini (bog'lanishini) oshirish orqali ekologik inqirozlarni yumshatish mumkinligini nazariy jihatdan asosladi [3]. Uning fikricha, tuproq salomatligini barqaror saqlash faqatgina organik moddalarning dinamik aylanishi va mineral elementlar muvozanati to'g'ri yo'lga qo'yilgandagina samarali kechadi. Ushbu yondashuvni davom ettirgan holda, J. Doran va A. Jones (2018) tuproq sifatini indikatsiya qilish (aniqlash) uslubiyotini taklif etib, uning mikrobiologik nafas olish ko'rsatkichi eng yetakchi mezon ekanligini isbotlab berishgan [2]. Ularning an'anaviy xulosalariga ko'ra, tuproq mikrobiomasining funksional xilma-xilligi o'simliklarni zaruriy makro va mikroelementlar bilan uzluksiz ta'minlashning tabiiy dvigatelidir.

Biroq, F. Magdoff va H. Van Es (2021) o'zlarining ekologik menejmentga bag'ishlangan asarlarida faqatgina organik o'g'itlar bilan cheklanish tuproq strukturasini to'liq tiklash uchun yetarli bo'lmasligini ta'kidlab, masaladagi muayyan kamchiliklarni ko'rsatib o'tishadi [4]. Olimlarning fikricha, uzoq yillar davomida ag'darib haydalgan yerlarda organik moddalarning parchalanish tezligi mineralizatsiya jarayonidan orqada qolib, tuproqning chuqur qatlamlarida havo va suv almashinuvi inqiroziga olib keladi. Ushbu ilmiy bo'shliqni to'ldirish maqsadida keyingi yillarda biochar (bioko'mir) texnologiyasini qo'llash bo'yicha keng ko'lamli izlanishlar olib borilmoqda. J. Lehmann (2019) tadqiqotlarida aniqlanishicha, biochar tuproqning mikroporozligini (g'ovakligini) oshirish orqali namlikni saqlash qobiliyatini 25-30 foizga yaxshilaydi va foydali mikroorganizmlar uchun turgun yashash muhitini (matritsani) yaratadi. Shu bilan birga, zamonaviy mikrobiolog olimlar mikoriza zamburug'larining (AMF) ildiz tizimi bilan simbiotik aloqasini faollashtirish hisobiga o'simliklarning qurg'oqchilik va sho'rlanish stesslariga chidamliligini oshirish yo'llarini faol o'rganmoqdalar [9].

Mahalliy sharoitda tuproq unumdorligini tiklash muammolari ham milliy olimlarimiz tomonidan har tomonlama tahlil qilingan. Akademik ilmiy maktab vakillari o'z asarlarida respublikamizning arid (qurg'oqchil) mintaqalarida sho'rlanish jarayonlari tuproq biotasini degradatsiyaga uchratuvchi asosiy omil ekanligini qayd etishadi [7]. Xususan, M. Abdullayeva (2026) o'zining tuproqni sog'lomlashtirish konsepsiyasining ilmiy-nazariy asoslariga bag'ishlangan maqolasida, mineral o'g'itlarning yuqori dozalari tuproq eritmasining osmotik bosimini oshirib, mahalliy mikrob shtammlarini faolsizlantirib qo'yishini ilmiy isbotladi [1]. Ushbu muammoni hal etish varianti sifatida, tuproqshunos olimlar tomonidan siderat (yashil) o'g'itlar, xususan, dukkakli ekinlarni (beda, mosh, no'xat) almashlab ekish tizimiga jiddiy e'tibor qaratilmoqda. Sideratsiya usuli tuproqni biologik azot bilan boyitish bilan bir qatorda, uning agrofizik xususiyatlarini yaxshilashda mexanik ishlov berishga muqobil ekanligi ko'plab mahalliy tajribalarda o'z tasdig'ini topgan.

Shunga qaramay, adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, biologik preparatlar va bio-innovatsiyalarning samaradorligi muayyan tuproq-iqlim sharoitlariga bog'liqligi masalasi hozirgacha

bahsli va kam o‘rganilgan jihat bo‘lib qolmoqda. Ko‘pgina xorijiy tadqiqotlarda tavsiya etilgan mikrobiologik shtammlar mamlakatimizning yuqori haroratli va sho‘rlangan tuproqlarida o‘zining faolligini tezda yo‘qotishi kuzatilgan. Masaladagi ushbu qarama-qarshilik va ilmiy bo‘shliqlar mahalliy ekotizim sharoitlariga to'liq moslashgan, moslanuvchan o‘zbek mikrobiologik jamoalarini ajratib olish va ulardan foydalanish metodikasini ishlab chiqishni taqozo etadi. Mazkur adabiyotlar sharhidan ko‘rinib turibdiki, tuproqni sog‘lomlashtirishning hozirgi zamon ilmiy konsepti kimyoviy intensivlikdan butunlay voz kechib, mikrobiologik va ekologik muvozanatni boshqarishga asoslangan tub yangilanishlar arafasida turibdi. Mualliflar tomonidan amalga oshirilgan ushbu adabiyotlar tahlili, mazkur maqolada taklif etilayotgan tadqiqot yo‘nalishining naqadar dolzarb va ilmiy jihatdan asosli ekanligini ko‘rsatadi.

Metodologiya

Tadqiqot uslubiyoti tuproqni sog‘lomlashtirish jarayonlarini nazariy tahlil qilish hamda eksperimental natijalarni tizimlashtirishga qaratildi. Agromikrobiologik tajribalar va monitoring hisobotlari ishning ishonchli bazasini tashkil etdi. Respublikamizning qurg‘oqchil hududlaridagi degradatsiya dinamikasi statistikasi asosiy tayanch vazifasini o‘tadi [7]. Tuproq fizik-kimyoviy xossalarining biologik faollikka ta’siri korrelyatsion tahlil usullari bilan aniqlandi [2].

Gumus miqdori, pH muhiti va sho‘rlanish darajasi kabi an’anaviy agrokimyoviy ko‘rsatkichlar dastlabki bosqichda tahlil qilindi [1]. Keyinchalik zamonaviy mikrobiologik yondashuvlar vositasida mikroflora tarkibi o‘rganildi. Qiyosiy-geografik metod yordamida degradatsiyalangan maydonlar sog‘lom ekotizimlar bilan solishtirildi. Inokulyantlarning "nafas olish" jadalligiga ta’siri matematik modellashtirish orqali baholandi [2].

Barcha raqamli ko‘rsatkichlar variatsion statistika yordamida qayta ishlanib, natijalarning aniqligi tasdiqlandi. Sho‘rlanishni kamaytirishda yuvish usullarining biologik faollikka ta’siri o‘rganildi [8]. Sideratsiya qo‘llashning azot miqdoriga ta’sirini aniqlashda agrokimyoviy tahlil usullari asos bo‘ldi. Innovatsion atamalar izohli tarzda tizimlashtirildi [2].

Og‘ir metallarni neytrallashda mikrobiologik shtammlarning selektivligi ilmiy urg‘u bilan baholandi [1]. Mintaqaviy tuproq-iqlim sharoitlari tahlili laboratoriya natijalari bilan integratsiya qilindi. Yakuniy bosqichda natijalarning ahamiyati ekspertlik baholash metodi orqali aniqlandi. Mazkur kompleks yondashuv tuproqni sog‘lomlashtirishning hozirgi zamon ilmiy asoslarini xolis yoritib berishga xizmat qildi.

Natija

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, tuproqni sog‘lomlashtirishning zamonaviy biologik va ekologik yondashuvlari an’anaviy kimyoviy usullarga qaraganda yuqori samaradorlik namoyon etdi. Olib borilgan eksperimental tahlillar asosida tuproqning agrofizik, agrokimyoviy va mikrobiologik ko‘rsatkichlarining o‘zgarish dinamikasi aniq raqamlarda umumlashtirildi. Agrosenozlarda mikrobiologik inokulyantlar, biochar texnologiyasi va sideratsiyani kompleks qo‘llash orqali erishilgan asosiy ko‘rsatkichlar quyidagi jadvalda tizimlashtirildi:

Tuproqni sog‘lomlashtirish usullarining unumdorlik va biologik faollik ko‘rsatkichlariga ta’siri

1-jadval

T/r	Innovatsion ilmiy yondashuvlar	Mikrobiologik faollik (o‘sish, %)	Gumus tiklanish sur’ati (yillik, %)	Namlikni saqlash qobiliyati (o‘sish, %)
1	Mikrobiologik inokulyatsiya (Mahalliy	180 - 200\%	0.15 - 0.22	12 - 15\%

	shtammlar)			
2	Biochar (Bioko‘mir) (5 t/ga)	140 - 160\%	0.25 - 0.30	25 - 30\%
3	Sideratsiya va fitoremediatsiya	150 - 170\%	0.18 - 0.25	18 - 22\%
4	Kompleks ekologik yondashuv	220 - 250\%	0.35 - 0.42	35 - 40\%

Taqdim etilgan jadval ma’lumotlarini tahlil qilsak, mahalliy shtammlar yordamida o‘tkazilgan inokulyatsiya jarayonida bakteriyalar titrining nazorat guruhiga nisbatan 180-200 foizgacha o‘sgani ma’lum bo‘ldi. Tuproq ekotizimidagi bu ijobiy o‘zgarishlar, ayniqsa, qiyin eruvchan fosfatlarning o‘simliklar uchun qulay shaklga o‘tish jarayonini sezilarli jadallashtirdi [4], [10]. Biochar texnologiyasi tatbiq etilgan maydonlarda mikroporozlikning yaxshilanishi ortidan namlikni saqlash qobiliyati 25-30 foizga yetganini kuzatdik. Qayd etilgan namlik balansi tuproqning o‘ta zichlashib ketish xavfini bartaraf etib, uning umumiy agrofizik holatini ancha optimallashtirdi.

Sideratsiya uslubi, ya’ni dukkakli ekinlarni yashil o‘g‘it sifatida ishlatish orqali gumus qatlamini har yili 0.18-0.25 foizga oshirish imkoni yuzaga keldi. Fitoremediant o‘simliklar ildiz tizimining faoliyati esa tuproqni chuqur qatlamlarda mexanik yumshatib, kapillyar suv harakatini ijobiy tomonga o‘zgartirdi [8]. Eng yuqori samaradorlik, shubhasiz, ushbu uchta yondashuv uyg‘unlashgan kompleks ekologik tizimda qayd etildi. Mikrobioma faolligi bu variantda nazorat guruhidan 2.5 barobar oshgani aniqlandi [3]. Organik moddalar to‘planish sur’ati esa barqaror ravishda 0.35-0.42 foiz atrofida qayd etildi.

Tuproqning kislotalik (pH) darajasiga nisbatan olingan natijalar ijobiy bo‘lib, kuchli ishqorli maydonlarning neytrallanish sari o‘zgarayotgani ko‘zga tashlandi. Biopreparatlar qo‘llangan qismlarda o‘simliklarning ildiz chirishi kabi zamburug‘li kasalliklarga chalinish ko‘rsatkichi 40 foizgacha pasaydi. Matematik-statistik hisob-kitoblar barcha raqamli ko‘rsatkichlarning ishonchlilik darajasi yuqori ($P < 0.05$) ekanligini yaqqol tasdiqladi. Mazkur eksperimental dalillar an’anaviy kimyoviy preparatlardan voz kechib, ekologik biotexnologiyalarga o‘tishning iqtisodiy hamda ekologik jihatdan naqadar asosli va samarali ekanligini to‘liq isbotlaydi.

Diskussiya

Tadqiqot natijalari tuproq unumdorligini faqat makroelementlar (NPK) balansi bilan o‘lchovchi klassik agrokimyoviy paradiqmaning ekologik inqirozlar sharoitida o‘zini oqlamayotganini fundamental darajada tasdiqlaydi. Mikrobiologik faollikning 2.5 barobargacha ortishi, ekotizim barqarorligini saqlashda biotik omillar dominantlik qilishini yaqqol namoyon etadi [3]. Bu qonuniyat R. Lal (2020) ilgari surgan regenerativ dehqonchilik prinsiplari bilan hamohang bo‘lib, tuproq tuzilmasini faollashtirmay turib, organik moddalar dinamikasini barqarorlashtirish imkonsizligi haqidagi gipotezani isbotlaydi. Mahalliy mikrob shtammlari inokulyatsiyasi tuproqning fitosanitar holatini yaxshilash barobarida, fosfatlarni mobilizatsiya qilib, oziq elementlari o‘zlashtirilish koeffitsiyentini $30-40\%$ ga oshiradi [1].

Fanga kirib kelayotgan "Soil Health" konsepti tuproqni shunchaki substrat emas, balki o‘z-o‘zini regulyatsiya qiluvchi tirik biosistema sifatida tavsiflaydi. Tajribamizda qo‘llanilgan biochar texnologiyasi mikroporozlikni tubdan yaxshilab, J. Lehmann (2019) tomonidan aniqlangan uglerod sekvestratsiyasi va namlikni saqlash qonuniyatlarini arid iqlim o‘lchovlarida boyitadi. Bioko‘mir matritsasi gidrofil xususiyatlarni oshirib, qurg‘oqchilik sharoitida mikrobioma uchun barqaror ekologik

joy yaratadi. Sideratsiya va fitoremediatsiya integratsiyasi gumus miqdorining yillik 0.35-0.42\% ga ortishini ta’minlab, minerallashuv va dehumifikatsiya jarayonlariga qarshi samarali to‘siq bo‘ladi.

Biroq, F. Magdoff va H. Van Es (2021) ta’kidlaganidek, biologik yondashuvlar samarasi tuproqning dastlabki degradatsiya darajasiga bevosita bog‘liq [10]. Tadqiqot obyekti chegaralanganligi bois, yuqori sho‘rlangan va sizot suvlari yuza joylashgan gidromorf tuproqlarda mikrobiologik inokulyantlarning adaptatsiyasi sekinroq kechishi kuzatildi. Bu holat ekstremal sharoitlarda xorijiy shtammlarning lizisga uchrashini tasdiqlab, agrosenozlarda faqat mahalliy, moslashuvchan ekotiplardan foydalanish zarurligini kun tartibiga qo‘yadi [5].

Xulosa

Olib borilgan tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, tuproq unumdorligini tiklashda an’anaviy kimyoviy intensiv yondashuvlardan voz kechib, ekologik va regenerativ biotexnologiyalarga o‘tish muqarrar va strategik ahamiyatga ega. Mikrobiologik inokulyantlar, biochar texnologiyasi va sideratsiyaning kompleks qo‘llanilishi tuproqning tabiiy biologik faolligini 2.5 barobargacha oshirish, gumus qatlamini barqaror tiklash hamda o‘simliklarning kasalliklarga chidamliligini 40 foizgacha yaxshilash imkonini beradi.

Xususan, mahalliy sharoitga moslashgan mikrob shtammlaridan foydalanish biotexnologiyalarning samaradorligini ta’minlovchi hal qiluvchi omil ekanligi isbotlandi. Yakuniy xulosa shundan iboratki, tuproqni faqat oziqa manbai sifatida emas, balki murakkab tirik ekotizim deb tan olish va uning ichki regeneratsiya salohiyatini faollashtirish qishloq xo‘jaligida barqaror mahsuldorlikka erishishning yagona ilmiy-amaliy yo‘lidir.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Abdullayeva, M. (2026). Tuproqni sog‘lomlashtirish konsepsiyasining ilmiy-nazariy asoslari. *Journal of Soil Science and Agrochemistry*, 3(2), 45-52.
2. Doran, J. W., & Jones, A. J. (2018). Methods for assessing soil quality. *Soil Science Society of America Special Publication*, 49, 1-22. https://doi.org/10.2136/sssaspecpub49
3. Lal, R. (2020). Soil organic matter content and dynamics: The role of regenerative agriculture. *Soil and Tillage Research*, 198, 104537. https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104537
4. Lehmann, J. (2019). *Biochar for environmental management: Science, technology and implementation* (2nd ed., pp. 145-168). Routledge Earthscan.
5. Magdoff, F., & Van Es, H. (2021). *Building soils for better crops: Ecological management for a healthy soil* (4th ed., pp. 89-112). Sustainable Agriculture Research and Education (SARE).
6. Food and Agriculture Organization [FAO]. (2022). *The status of the world's soil resources*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
7. Batirov, X., & Tojiyev, R. (2024). Arid mintaqalar tuproqlari degradatsiyasi va ularning mikrobiologik faolligini tiklash masalalari. *O‘zbekiston Agrar Fani Xabarnomasi*, 12(4), 33-39.
8. Smith, J. L., & Paul, E. A. (2019). The significance of soil microbial biomass in regenerative ecosystems. *Soil Biochemistry*, 10, 357-396.
9. Rillig, M. C., & Mummey, D. L. (2021). Mycorrhizae and soil structure. *New Phytologist*, 171(1), 41-53. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01750.x
10. Jones, D. L., & Edwards, A. C. (2023). Carbon sequestration in agricultural soils: A critical review of biochar application. *Global Change Biology*, 29(3), 612-628