UDK: 631.417.2:633.51

IQLIM O‘ZGARISHI VA TUPROQ DEGRADATSIYASI SHAROITIDA KREMNIY ASOSLI PREPARATLARNING GUMUS BARQARORLIGI VA G‘O‘ZADA ANTIOKSIDANT HIMOYANI KUCHAYTIRISHDAGI ROLI

Gafurova Lazizaxon Akramovna*,
Mamasoliyeva Malika Adxamovna*,
Mazirov Mixail Arnoldovich**

**Mirzo Ulug’bek nomidagi O’zbekiston Milliy Universiteti,*
***Timiryazev nomidagi RDAU-MQXA*
e-mail: lifebiology08@gmail.com

Annotatsiya. Global iqlim o‘zgarishi va davom etayotgan tuproq degradatsiyasi qurg‘oqchil agroekotizimlarga sezilarli ta’sir ko‘rsatib, tuproqlarda biokimyoviy jarayonlar va uglerod barqarorligini izdan chiqarmoqda. Ushbu tadqiqot sug‘oriladigan allyuvial-o‘tloqi tuproqlarda kremniy asosidagi preparatlarning tuproqdagi gumus miqdori va “Buxoro-8” g‘o‘za navining 12 kunlik nihollarida antioksidant fermentlar faolligiga ta’sirini baholadi. Tadqiqot natijalari fermentativ faollikning oshishida ayniqsa, Aminosid-Silicon preparatining eng yuqori ta’sirga egaligini ko‘rsatdi. Olingan ma’lumotlar kremniyli preparatlar tuproq gumusining barqarorligini ta’minlashi hamda g‘o‘zada ferment tizimlarini faollashtirishi orqali qurg‘oqchil hududlarda degradatsiya jarayonlarini yumshatishda istiqbolli adaptatsion yondashuv ekanini tasdiqlaydi.

Kalit so‘zlar: iqlim o‘zgarishi, sho‘rlangan tuproqlar, g‘o‘za, peroksidaza, polifenol oksidaza, superoksidismutaza, gumus, o‘simlik biokimyosi, kremniyli preparatlar, adaptatsion yondashuvlar.

Аннотация. Глобальные изменения климата и продолжающаяся деградация почв оказывают существенное влияние на засушливые агроэкосистемы, нарушая биохимические процессы и устойчивость углерода в почве. В данной работе изучено воздействие кремнийсодержащих препаратов на содержание гумуса в орошаемых аллювиально-луговых почвах, а также на активность антиоксидантных ферментов у 12-дневных сеянцев хлопчатника сорта «Бухара-8». Результаты показали, что наибольшее стимулирующее влияние на ферментативную активность оказывает препарат Аминосид-Silicon. Полученные данные свидетельствуют о том, что применение кремнийсодержащих препаратов способствует стабилизации гумуса в почве и усилению ферментативной активности хлопчатника, являясь перспективным адаптационным подходом для смягчения деградации почв в засушливых регионах.

Ключевые слова: изменение климата, засоленные почвы, хлопчатник, пероксидаза, полифенолоксидаза, супероксиддисмутаза, гумус, биохимия почв, кремнийсодержащие препараты, адаптационные подходы.

Annotation. Global climate change and ongoing soil degradation exert significant pressure on arid agroecosystems, disrupting soil biochemical processes and carbon stability. This study evaluated the effects of silicon-based amendments on soil humus content and antioxidant enzyme activity in 12-day-old seedlings of the cotton variety “Bukhara-8” grown in irrigated alluvial-meadow soils. The results demonstrated that the Aminosid-Silicon produced the most pronounced enhancement in enzymatic activity. The findings indicate that silicon amendments contribute to humus stabilization in soils and stimulate enzymatic activity in cotton plants, representing a promising adaptive strategy to mitigate soil degradation processes in arid environments.

Key words: climate change, saline soils, cotton, peroxidase, polyphenol oxidase, superoxide dismutase, humus, soil biochemistry, silicon amendments, adaptive strategies

Kirish. Tuproq - yer qobig‘ining eng yuqori qatlamida hosil bo‘lgan biologik faol g‘ovak muhit bo‘lib, u o‘simliklar uchun suv va ozuqa moddalarining asosiy manbai, zararli chiqindilarni filtrlash vositasi hamda global ekotizimda uglerod va boshqa elementlarning aylanishida muhim ishtirokchidir [1]. Tuproq o‘simliklarni suv, ozuqa moddalari va mexanik himoya bilan ta’minlovchi dinamik tabiat birliklaridan biri sifatida ham tanilgan [2]. Tuproq tizimining tarkibiy qismlari o‘simliklar uchun zarur bo‘lgan 14 ta mineral oziq moddaning tabiiy manbai bo‘lib, organik moddalarni saqlash va ozuqa moddalarining ekinlar tomonidan assimilyatsiyasini ta’minlash vazifasini bajaradi [3]. Shu bilan birga, tuproqdan oqilona foydalanish ekologik toza o‘gitlar yordamida biologik va boshqa xossalarni saqlab, qishloq xo‘jaligi ekinlaridan sifatli va mo‘l hosil olishga xizmat qiladi [3].

Zamonaviy qishloq xo‘jaligida “smart” yoki aqlli o‘gitlar ozuqa moddalarining chiqarilish tezligini, vaqtini va davomiyligini nazorat qiluvchi vositalar sifatida keng qo‘llanilmoqda [17]. Raimondi va boshqalar bunday o‘gitlarni ozuqa moddalarining chiqarilish vaqtini fizik, kimyoviy va biologik yo‘llar bilan o‘simlik ehtiyojlariga moslashtira oladigan nanomateriallar va bioformulyatsiyalar sifatida ta’riflaydilar [13]. Aqlli o‘gitlar nafaqat ekinlarning o‘sishi va rivojlanishini yaxshilaydi, balki an’anaviy o‘gitlarga nisbatan atrof-muhitga ta’sirini kamaytiradi. Ular nano, kompozit va biologik turlarga bo‘linadi [13].

Kremniyli (Si) o‘gitlar esa o‘simliklarning biotik va abiotik stresslarga chidamliligini oshirishda samarali vosita hisoblanadi [14]. Si ning o‘simliklar tomonidan qabul qilinishi o‘simlik turi, ildiz tizimi va tuproq kimyosiga bog‘liq bo‘lib, u o‘sish sur’ati, mahsuldorlik va ozuqa moddalarini o‘zlashtirishni yaxshilaydi [10,4]. Sho‘rlangan tuproqlarda ham Si o‘gitlarining qo‘llanilishi o‘simliklarning stressga chidamliligini oshiradi va ularni patogen zamburug‘lardan himoya qiladi [12,7]. Shu bilan birga, tuproqning biologik, fizik-kimyoviy va suv tarkibini yaxshilaydi hamda o‘simliklar uchun ozuqa moddalarining mavjudligini oshiradi [1,5].

Tuproqdagi fermentativ faollik mikroorganizmlarning metabolizmi, ozuqa moddalarining minerallashuvi va aylanishida muhim ahamiyatga ega [3,11]. Masalan, katalaza fermenti tuproqdagi kislorod miqdori va organik moddalar bilan bog‘liq holda o‘zgarib turadi. Fosfatazalar erimaydigan fosfat komplekslarini parchalaydi va ularni o‘simliklar uchun mavjud qiladi, peroksidazalar esa lignin depolimerizatsiyasida rol o‘ynaydi [11]. O‘zbekiston sharoitida sur tuproqlari katalaza fermenti faolligi gumus moddalarning miqdoriga bevosita bog‘liq ekanligi aniqlangan [18].

Bugungi kunda qishloq xo‘jaligida adaptatsion texnologiyalar – tuproq va ekinlar o‘rtasidagi munosabatlarni optimallashtirish, resurslardan samarali foydalanish va stress sharoitlariga moslashuvchan ekinlarni yaratish bo‘yicha ilmiy yondashuvlar tizimi sifatida rivojlanmoqda. Bu texnologiyalar orasida aqlli o‘gitlar [17], kremniyli qo‘shimchalar [14,12], fermentativ faollikni monitoring qilish tizimlari [3,11,18] va tuproq sifatini baholashning ilg‘or metodlari alohida ahamiyatga ega. Ular qishloq xo‘jaligida hosildorlikni oshirish, ekologik barqarorlikni ta’minlash va tuproq unumdorligini uzoq muddat saqlash imkonini beradi. Shu bois, adaptatsion texnologiyalarni joriy etish bugungi kunda samarali, ekologik va iqtisodiy jihatdan barqaror qishloq xo‘jaligini yaratishning kalit omilidir.

Material va usullar

Tadqiqot Buxoro viloyati Buxoro tumani Kunji Qala massivida joylashgan “Avez, Mirshod, Rustam” fermer xo‘jaliklari dala maydonlarida olib borildi. Hudud tuproqlarining karbonatli va qurg‘oqchil sharoitda ekanligi sababli g‘o‘zaning (Buxoro-8 navi) o‘sishi, biokimyoviy faolligi hamda tuproqning biologik xususiyatlariga bio-preparatlarning ta’siri o‘rganildi. Tajriba 4 variantda tashkil etildi: nazorat,

Aminosid-Aton, Aminosid-Silicon va Bioazot preparatlari. Tuksiz chigitlar 1,5 ga maydonga 52 kg miqdorda ekildi (26 kg nazorat, 26 kg ishlov berilgan urug‘). Egat oralig‘i 60 sm, chigit oralig‘i 4-5 sm, chuqurligi 4-6 sm bo‘ldi. Har bir preparat uchun 25 sotix, nazorat uchun 50 sotix maydon ajratildi. Preparatlar 100 g miqdorda 5 L suvda eritilib 15 kg chigitga qo‘llandi, Bioazot 1:1 nisbatda suyultirildi. Bargdan purkash ishlovi 14-15 iyun kunlari amalga oshirildi.

Preparatlarning o‘simlikdagi superoksiddizmutaza, peroksidaza, polifenoloksidaza va katalaza fermentlari faolligiga hamda tuproqning gumus miqdoriga ta’siri baholandi.

Superoksiddizmutaza faolligi - NBT (nitroblue tetrazolium) qaytarilishini inhibe qilish usuli asosida aniqlandi. O‘simlik ekstrakti riboflavin, metionin, EDTA va NBT tutgan reaksiya aralashmasi bilan 10-15 daqiqa yorug‘likda inkubatsiya qilinib, absorbsiya 560 nm da o‘lchandi. Bir birlik SOD faolligi NBT qaytarilishini 50 % kamaytiruvchi ferment miqdori sifatida belgilandi.

Peroksidaza faolligi - tuproq suspenziyasida pirogallolning H_2O_2 ta’sirida oksidlanish tezligi asosida 460 nm da spektrofotometrik ravishda o‘lchandi.

Polifenoloksidaza faolligi - 0,02 M pirogallol bilan reaksiya natijasida hosil bo‘lgan rang intensivligi bo‘yicha 410 nm da aniqlangan.

Katalaza faolligi - H_2O_2 qoldig‘ining $KMnO_4$ bilan titrlanishi orqali baholandi. Tuproqning gumus miqdori Tyurin usulining modifikatsiyasi asosida, dikromatlar aralashmasida oksidlanish va ortiqcha $Cr_2O_7^{2-}$ miqdorining temir(II) sulfat bilan titrlanishi orqali aniqlandi. Natija gumus miqdori (%) tarzida qayd etildi.

Natijalar va muhokama

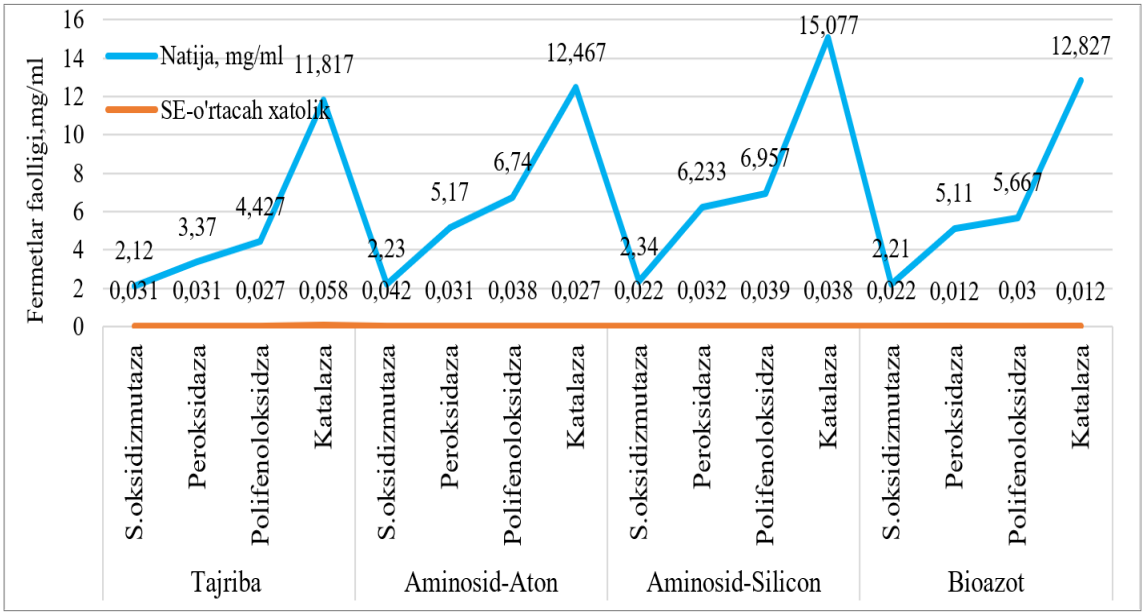
Tajriba davomida g‘o‘za nihollarida to‘rt xil fermentlari superoksiddizmutaza, peroksidaza, polifenoloksidaza va katalaza faolligi aniqlanib, turli biopreparatlar ta’siri baholandi (1-rasm). Nazorat variantiga nisbatan barcha preparatlar fermentlar faolligini oshirdi. superoksiddizmutaza faolligi nazoratda 2.12 mg/ml bo‘lgan bo‘lsa, Aminosid-Atonda 2.23 mg/ml, Aminosid-Siliconda 2.34 mg/ml va Bioazotda 2.21 mg/ml ga yetdi. Peroksidaza faolligi nazoratdagi 3.37 mg/ml dan Aminosid-Aton 5.17 mg/ml, Aminosid-Silicon 6.233 mg/ml va Bioazot 5.11 mg/ml variantlarida sezilarli oshdi. Polifenoloksidaza ko‘rsatkichi ham huddi shunday o‘sish tendensiyasini ko‘rsatib, nazoratdagi 4.427 mg/ml ga nisbatan Aminosid-Aton 6.74 mg/ml, Aminosid-Silicon 6.957 mg/ml hamda Bioazot 5.667 mg/ml variantlarida yuqori qayd etildi. Katalaza faolligi esa eng yuqori darajaga Aminosid-Silicon qo‘llanilgan variantda 15.077 mg/ml erishdi, nazoratda esa bu ko‘rsatkich 11.817 mg/ml bo‘ldi. Fermentlar faolligi bo‘yicha eng barqaror SE qiymatlari 0.012-0.058 oralig‘ida bo‘lib, o‘lchovlarning ishonchliligi yuqoriligi tasdiqlandi. Bu natijalar preparatlar ayniqsa kremniy asosli moddalarning antioksidant tizimini kuchaytirishga sezilarli ta’sir ko‘rsatganini ko‘rsatadi.

Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, qo‘llanilgan biopreparatlar, ayniqsa kremniy asosli Aminosid-Silicon, g‘o‘za nihollarida antioksidant fermentlar faolligini kuchaytirishda yuqori samaradorlik ko‘rsatdi. Bu kremniyning o‘simliklarda stressga chidamlilikni kuchaytiruvchi omil sifatida tanilganligi bilan izohlanadi. Antioksidant fermentlarining oshishi o‘simlikda reaktiv kislorod shakllarini neytrallash jarayonlarining faollashganini bildiradi. Ayniqsa peroksidaza, superoksidismutaza va katalaza faolligining keskin oshishi, sho‘rlanish va qurg‘oqchilik kabi abiotik stress sharoitida o‘simlikni himoya qilishda muhim rol o‘ynaydi [3,4].

Aminosid-Siliconning eng yuqori fermentativ faollikni ta’minlashi uning kremniy ionlari orqali hujayra devorini mustahkamlashi, oksidlovchi stressni kamaytirishi va fermentlar genlarining ekspressiyasini rag‘batlantirishi bilan bog‘liq [3]. Bioazot preparati ham fermentlar faolligini oshirdi, bu esa azot

fiksatsiyalovchi mikroorganizmlarning rizosfera faolligini ko‘rsatadi [7].

Umuman, barcha preparatlar nazoratga nisbatan ijobiy ta’sir ko‘rsatgan bo‘lsa-da, eng yuqori antioksidant faollik Aminosid-Silicon variantida qayd etildi. Bu esa kremniy asosli preparatlardan sho‘rlanish va qurg‘oqchilik sharoitlarida o‘simlikning fiziologik-barqarorligini oshirishda samarali vosita sifatida foydalanish mumkinligini tasdiqlaydi. Ushbu natijalar oldingi ilmiy manbalar bilan hamohang bo‘lib, kremniy qo‘llanilishi o‘simliklarning abiotik stressga javob reaksiyalarini kuchaytirishi ilgari ham qayd etilgan [9].



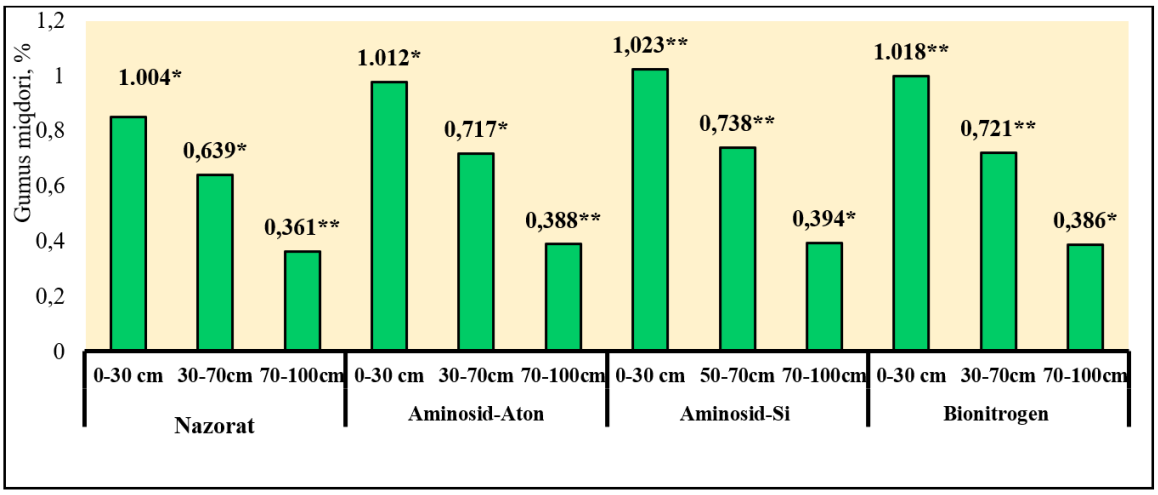
1-rasm. Buxoro-8 g‘o‘za navi nihollarining antioksidant fermentlar faolligiga preparatlar ta’siri

Ushbu samaradorlik preparat tarkibidagi faol kremniyning mikroorganizmlar hujayra devorini mustahkamlash, stressga chidamliligini oshirish va fermentlar sintezini rag‘batlantirishdagi ijobiy ta’siri bilan bog‘lash mumkin. Tadqiqot davomida preparatlarning tuproqdagi gumus miqdoriga ta’siri o‘rganildi.

O‘rganilgan tajriba hududida qo‘llanilgan preparatlarning biologik faollikni rag’batlantirishdagi bevosita ta’siri natijasida tuproq gumusiga ta’siri tuproqning 0-30, 30-70 va 70-100 sm qatlamda tahlil qilindi (2-rasm). Tabbiy ravishda, tuproqning yuqori qatlamlarida gumus miqdori pastki qatlamlarga nisbatan yuqoriroq bo‘ldi. Jumladan, 0-30 sm qatlamda gumus miqdori nazorat variantida 1,004% ni tashkil etdi. Preparatlar qo‘llanilgan tuproq namunalarida gumus miqdorini ortishi kuzatildi. Xususan, Aminosid-Aton va Bioazot preparatlari bilan ishlov berilgan tuproq namunalarida gumus miqdori 1,012-1,018% oraliqdagi qiymatlarni ko‘rsatdi. Mazkur preparatlarning qo‘llanilishi tuproqning gumus holatiga sezilarli darajada ta’sir ko‘rsatganligini tasdiqlaydi. Aminosid-Silicon preparati qo‘llangan tuproqdagi gumus miqdori nazoratga nisbatan 0,019% ga oshdi va 1,023% ni tashkil etdi.

Bunday ijobiy o‘zgarish uch yil mobaynida tajriba hududiga qo‘llanilgan mazkur preparatlar bilan birga tajriba hududidagi tuproqlarga me’yordagi mineral va organik o‘g‘itlar ham qo‘llanilgani bu jarayonni yanada kuchaytirgan bo‘lishi bilan izohlanishi mumkin.

Yana ham ta’kidlash mumkin, tuproqning mikrobiologik faolligining ortishi Aminosid-Silicon preparati (tarkibida 17% kremniy) muhim komponent sifatida xizmat qilganligi bilan ham izohlanishi mumkin. Natijada, preparatning qo‘llanilishi gumus miqdoriga ham ijobiy ta’sir ko‘rsatgani kuzatilgan.



*Barcha holatlarda *-p<0.05; **-p<0.01; n=5*

2-rasm. Tuproqining gumus miqdorini o‘zgarishiga preparatlar ta’siri

Ushbu tadqiqot doirasida olingan natijalar shu yo‘nalishga oid boshqa ilmiy ishlar bilan muvofiqlikda ekanligi aniqlandi. Masalan, D. Jones tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda kremniyning rizosfera mikroorganizmlarida hujayra devorlarini mustahkamlashi, osmotik stressga chidamliligini oshirishi va populyatsiyani kengaytirish orqali mikrobiotsenoz tarkibini faol holatga o‘tkazishi haqida ma’lumotlar keltirilgan [1]. Z. Pang tomonidan o‘rganilgan tadqiqotlarda ham faol kremniy ta’sirida superoksidismutaza, peoksidaza, katalaza, kabi fermentlar faolligining 20-45% gacha ortishi kuzatilgan. Ushbu fermentlar o‘simlik ildizlaridan ajraladigan eksudatlar va organik moddalarni parchalashda ishtirok etib, mikroorganizmlar uchun qulay oziq manbalarini shakllantiradi. Bu esa, yakunda gumus fraksiyalarining shakllanishiga zamin yaratadi [6]. Gumus miqdorga kremniyni ijobiy ta’siri haqida Silva (2021) Braziliya agroekotizimida 3 yil davomida o‘tkazilgan tajribada gumus miqdori 0,18% ga oshganligini aniqlagan. Shuningdek, T Kraus va boshqalar (2013) tomonidan olib borilgan tadqiqotda kremniy va biostimulyatorlar ta’sirida gumifikatsiya intensivligi 1,6 baravargacha kuchayganligi qayd etilgan [2,14].

Umuman olganda, 0,018% miqdoridagi gumus o‘sishi ilmiy jihatdan asoslanadigan va izchil dalillar bilan tasdiqlanuvchi natija hisoblanadi. Preparat ta’sirida olingan ushbu (1,023%) qiymat biroz oshgan bo‘lsa-da, hudud tuproqlarning gumus bilan yetarli darajada ta’minlanganligini ifodalash uchun yetarli emasligini ko‘rsatadi. Bu esa, keyingi yillarda takomillashgan agrotexnologiyalar va biologik stimulyatorlar (kremniy preparatlar) asosida ishlov berishni davom ettirish zaruratini belgilaydi.

Xulosa

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, qo‘llanilgan biopreparatlar, ayniqsa kremniy asosli Aminosid-Silicon, g‘o‘za nihollarida antioksidant tizimning faolligini sezilarli darajada oshirdi. Superoksidismutaza, peoksidaza, polifenoloksidaza katalaza fermentlarining nazoratga nisbatan barqaror va izchil o‘sishi o‘simliklarda reaktiv kislorod shakllarini neytrallash jarayonlari faollashganini, ya’ni abiotik stressga qarshi fiziologik chidamlilik oshganini tasdiqladi. Eng yuqori ko‘rsatkich Aminosid-Silicon variantida qayd etilishi uning tarkibidagi faol kremniyning hujayra devorlarini mustahkamlashi, oksidlovchi stressni kamaytirishi va antioksidant fermentlar ekspressiyasini rag‘batlantirishi bilan bog‘liq.

Biopreparatlar, jumladan Bioazot, rizosfera mikroorganizmlari faolligini kuchaytirgani tufayli tuproq gumusining ko‘payishida ham ijobiy ta’sir ko‘rsatdi. Gumus miqdorining 0-30 sm qatlamda sezilarli oshishi preparatlar tuproqning

biologik faolligi, organik moddalarning parchalanishi va gumifikatsiya jarayonlarini rag‘batlantirganini ko‘rsatadi. Ayniqsa, Aminosid-Silicon qo‘llangan variantda gumusning eng yuqori o‘sishi qayd etilib, kremniyning mikroorganizmlar metabolizmi va tuproq organik moddalari aylanishiga bevosita ta’siri tasdiqlandi.

Umuman olganda, tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, kremniy asosli preparatlar nafaqat g‘o‘za nihollarining antioksidant tizimini faollashtiradi, balki tuproqning biologik unumdorligi va gumus holatini yaxshilash orqali agroekotizimning barqarorligini ham oshiradi. Shuning uchun Aminosid-Silicon kabi preparatlar Buxoro viloyatining sho‘rlanishga moyil va qurg‘oqchil sharoitlarida g‘o‘za yetishtirishda istiqbolli agrobiologik vosita sifatida tavsiya etililadi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati:

1. Ahmed, S., et al. (2023). Silicon fertilizers and their effects on plant growth, soil properties, and nutrient availability. Journal of Plant Nutrition and Soil Science.

2. Boorboori, R., et al. (2021). Long-term studies on silicon fertilization: Recommendations for crop production. Agricultural Research Review.

3. Cele, P., & Maboeta, M. (2016). Soil enzyme activity as a bioindicator of soil health and management practices. Applied Soil Ecology, 98, 153–161.

4. Devanna, N., et al. (2021). Impact of silicon fertilizers on soil structure and plant stress tolerance. Journal of Soil Science and Plant Nutrition.

5. Huang, J., et al. (2020). Dual role of silicon in plant and soil interactions. Plant and Soil, 453, 15–29.

6. Katz, O., et al. (2021). Factors influencing H4SiO4 concentration in soils: pH, mineralogy, and organic matter content. Geoderma, 394, 115050.

7. Keeping, M., Miles, R., & Rutherford, R. (2017). Silicon-mediated pathogen resistance in plants. Plant Pathology Journal, 66(4), 625–635.

8. Lal, R. (2016). Soil health and sustainable agriculture. International Soil Science Review, 121(3), 1–14.

9. Malik, N., et al. (2021). Silicon fertilizers improve plant growth, mineral balance, and crop yield. Agronomy Journal, 113(5), 3450–3464.

10. Mandlik, R., et al. (2020). Uptake and transport of silicon in plants: Influence of species, root architecture, and soil chemistry. Plant Physiology Reports, 25, 112–127.

11. Ndabankulu, L., et al. (2022). Role of soil enzymes in nutrient cycling and organic matter turnover. Soil Biology and Biochemistry, 168, 108630.

12. Ning, P., et al. (2016). Application of silicon fertilizers to mitigate salt stress in crops. Crop Science, 56(2), 1232–1245.

13. Raimondi, L., et al. (2021). Definition and classification of smart fertilizers: Nanomaterials and bioformulations. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 69, 12345–12359.

14. Rangwala, S., et al. (2018). Silicon fertilizers and plant responses to biotic and abiotic stresses. Plant Science, 275, 128–138.

15. Shahane, D., & Shivay, Y. (2021). Soil nutrient management for sustainable agriculture. Journal of Plant Nutrition, 44(12), 1893–1906.

16. Sun, H., et al. (2019). Silicon fertilization and its role in soil-plant interactions. Frontiers in Plant Science, 10, 1500.

17. Tayade, R., et al. (2022). Smart fertilizers for sustainable crop production: Controlled nutrient release. Environmental Chemistry Letters, 20, 845–861.

18. Toxirov, B. B. (2023). Fermentative activity of soils in Uzbekistan: Catalase as an indicator of soil health. Uzbek Journal of Agricultural Science, 15(2), 45–56.

19. Zargar, S., et al. (2019). Silicon fertilizers improve nutrient use efficiency and crop productivity. Agriculture, Ecosystems & Environment, 279, 1–10.