

**KREMNIY ASOSLI PREPARATLARNING SHO‘RLANGAN TUPROQ
MIKROORGANIZMLAR SON DINAMIKASIGA TA’SIRI****Mamasolieva M¹·Holmurodov N²**¹O‘zbekiston Milliy Universiteti²Toshkent Davlat Agrar Universiteti<https://doi.org/10.5281/zenodo.8372316>

Annotatsiya. Yer qobig‘i asosan kremniydan ya‘ni silikat minerallari, ikkilamchi aluminosilikatlar va kremniy dioksidining turli shakllaridan tashkil topgan. Biroq, tuproqdagi kremniyning ko‘pligi o‘simliklarni qabul qilish uchun etarli miqdorda eruvchan kremniy mavjudligini ko‘rsatmaydi. Tuproq biologik faolligini oshirishda kremniy alohida o‘rin tutadi. Tuproq biologik faolligini tuproqda yashovchi mikroorganizmlar tashkil etadi. Ushbu maqolada kremniy bo‘yicha olib borilgan tekshiruv natijalari, tuproqdagi mikroorganizmlar: amminofikatorlar, mikroskopik zambrug‘lar, aktinomesitlar, sporalilar, oliganitrofilllar, aerob selluloza parchalovchilar son dinamikasiga va mavsumiy o‘zgarishlariga kremniy tarkibli preparatlar ta’siri o‘rganilgan.

Kalit so‘zlar: kremniy, tuproq, amminofikatorlar, mikroskopik zambrug‘lar, aktinomesitlar, sporalilar, oliganitrofilllar, aerob selluloza parchalovchilar

Аннотация. Земная кора состоит в основном из кремния, т. е. силикатных минералов, вторичных алюмосиликатов и различных форм диоксида кремния. Однако высокие количества кремния в почве не обязательно указывают на то, что растворимого кремния достаточно для поглощения растениями. Особую роль в повышении биологической активности почвы играет кремний. Биологическую активность почвы составляют микроорганизмы, живущие в почве. В статье изучены результаты исследований по кремнию, влиянию кремнийсодержащих препаратов на динамику численности и сезонные изменения микроорганизмов в почве: аммонификаторов, микроскопических грибов, актиномицетов, спор, олигонитрофилов, аэробных деструкторов целлюлозы.

Ключевые слова: кремний, почва, аммонификаторы, микроскопические грибы, актиномицеты, споры, олигонитрофилы, аэробные деструкторы целлюлозы.

Abstract. The Earth's crust consists mainly of silicon, i.e., silicate minerals, secondary aluminosilicates and various forms of silicon dioxide. However, high amounts of silicon in the soil do not necessarily indicate that there is enough soluble silicon for plant uptake. Silicon plays a special role in increasing the biological activity of soil. The biological activity of soil consists of microorganisms living in the soil. The article examines the results of studies on silicon, the influence of silicon-containing preparations on the population dynamics and seasonal changes of microorganisms in the soil: ammonifiers, microscopic fungi, actinomycetes, spores, oligotrophs, aerobic cellulose decomposers.

Keywords: silicon, soil, ammonifiers, microscopic fungi, actinomycetes, spores, oligotrophs, aerobic cellulose decomposers.

Kirish Sho‘rlanish stressi butun dunyo bo‘ylab o‘simliklar o‘sishi uchun asosiy tahdiddir (Saidova et al., 2023). Sho‘rlanish stressini yumshatishda kremniyning ishtirokidagi fiziologik, molekulyar genetika va genomik yondashuvlar yordamida keng o‘rganilgan. (Bocharnikova, E.; Matichenkov, V, n.d.). So‘nggi yillarda kremniyning tuz ta’siridan kelib chiqqan osmotik stressda,

Na⁺ toksikligida va oksidlovchi stress ta'sirlarni engillashtiruvchi mexanizmlari aniqlashda yutuqlarga erishildi (Ma, 2004). Rivojlangan davlatlar sho'rlanish va qurg'oqchilik sharoitida Kremniy (Si) preparatlarni qo'llash orqali o'simliklardan yuqori hosil olishni zamonaviy bosqichlariga o'tgan (Islam and Saha, 1969). Tuz stressi ekinlar hosildorligining pasayishiga olib keladigan asosiy stress omillaridan biridir. Hozirgi vaqtda dunyoning qishloq xo'jaligiga mo'ljallangan sug'oriladigan erlarining 20% dan ortig'i ortiqcha tuz konsentratsiyasidan ta'sirlangan va bu muammo o'g'itlarni noto'g'ri qo'llash, tuproqning ifloslanishi va noto'g'ri sug'orish amaliyoti tufayli butun dunyo bo'ylab kuchayishda davom etmoqda (Zargar et al., 2019).

Kremniy (Si) tuproqdagi ikkinchi eng keng tarqalgan elementdir (Charzyński et al., 2022). Si muhim element sifatida tasniflanmagan bo'lsa-da, u o'simliklarning miqdoriy va sifat xususiyatlarini, ayniqsa, tuproqning sho'rlanish, qurg'oqchilik va og'ir metallarning zaharliligi kabi stresslar ta'sirini engillashtirishdagi roli yaxshi o'rganilgan (Wallace, 1989). Bundan tashqari, Si "ko'p iste'dodli" element sifatida qaralishi mumkin chunki tuproq sharoitini va o'simliklardagi ozuqa moddalarini (masalan, N, P va K), fermentativ va mikrobiologik hossalarni yaxshilashaydi (Wang et al., 2021). Ushbu jarayonlarni hisobga olgan holda ko'plab davlatlarda ekologik jihatdan zararsiz bo'lgan Si li preparatlar yaratilishi va qo'llanilishi bo'yicha ishlar amalga oshirilmoqda (Tayade et al., 2022). So'nggi paytlarda o'simliklardagi turli xil biotik va abiotik stresslarni yumshatishda mexanizmlarida Si li preparatlarni qo'llanilishi bir nechta tadqiqotchilar tomonidan muntazam ravishda ko'rib chiqildi masalan Wu, J (Wu et al., 2015), Coskun, D. (Coskun et al., 2021) Devanna, R (Devanna et al., 2021) va boshqalar. Biroq, ushbu sharhlarda sho'rlanish stressiga nisbatan kamroq e'tibor berilgan.

Monosilik kislota (H_4SiO_4) o'simliklar tomonidan ishlatiladigan kremniy shakli bo'lib, u tuproqdagi kremniyning suyuq va adsorbsiyalangan fazalarida uchraydi. Tuproq eritmasidagi H_4SiO_4 konsentratsiyasiga tuproqning p^H darajasi va tuproqning geologik yoshiga bog'liq bo'lgan loy, minerallar, organik moddalar va Fe/Al oksidi/gidroksid miqdori ta'sir qiladi (Imtiaz et al., 2016).

Atrof muhitda sodir bo'ladigan tuproq hosil bo'lish jarayonlari ko'p jihatdan mikroorganizmlar (bakteriyalar, aktinomitsetlar, mikroskopik zamburug'lar) faoliyatiga bog'liq. Ushbu mikroorganizmlarning ko'plab vakillari, shu jumladan mikroskopik zamburug'lar har qanday turdagi tuproqda yashaydi. Tuproqda o'sadigan zamburug'lar biotsenoz komponentlari orasida nisbatan kamroq o'rganilgan jamoadir (Kutateladze et al., 2016). Tuproqdagi azot tarkibli birikmalarning o'zgarishi davri ammonifikator mikroorganizmlarning rivojlanishi va biokimyoviy faolligi bilan uzviy bog'liqdir. Ammonifikatorlar murakkab azot tarkibli birikmalarni oddiyroqlarga parchalaydi, so'ngra mikroorganizmlarning hujayralariga ozmotik tarzda kirib boradi va hujayra ichidagi fermentlar ta'sirida dezaminatsiyaga uchraydi. Tuproq tarkibidagi barcha oqsil moddalar ammonifikatsiyaga uchraydi. Ammonifikatorlar osongina mavjud bo'lgan azot o'z ichiga olgan tuproq organik moddalarini parchalashga moyildirlar. Organik moddalardagi azot miqdori 2% dan kam bo'lsa, u mikroorganizmlar hujayralarida to'liq immobilizatsiya qilinadi va undan ko'p miqdorda ammiak ajralib chiqishi bilan o'zlashtiriladi (Hawksworth and Rossman, 1997). Ammonifikatsiya qiluvchi mikroorganizmlar soniga aeratsiya usullari, namlik-quritish, harorat, ekish kulturasi, mineral va organik o'g'itlar, ayniqsa go'ngni qo'llash katta ta'sir ko'rsatishi aniqlandi (Grzyb et al., 2021). Oligonitrofil mikroorganizmlar tuproqning azotsiz organik moddalarini minerallashuv jarayonida ishtirok etadi. Ular atmosfera azotini kuchsiz fiksatorlari bo'lib, bu mikroorganizmlar nobud bo'lgandan keyin tuproq oqsil azoti bilan

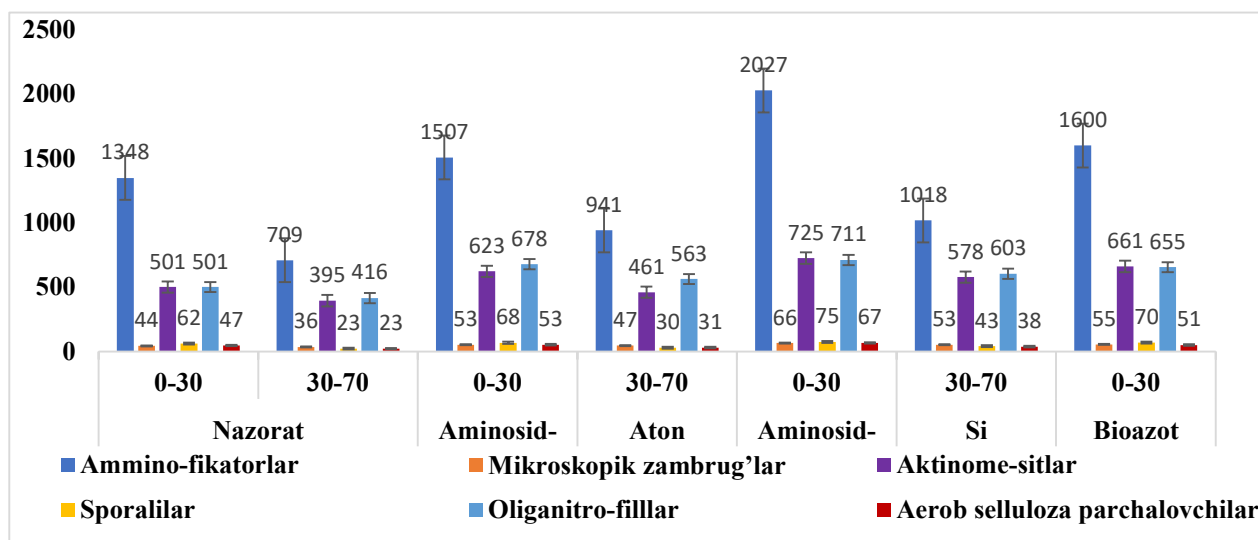
boyitiladi. Oligonitrofillar yangi o'simlik materialiga joylashib, asosan organik moddalarning uglevod qismini minerallashtiradi va parchalangan substratda uglerodning azotga nisbatini kamaytiradi (Nabieva et al., 2021). Aktinomisetlar genomik DNKda yuqori guanin-sitozinli bakteriyalar guruhi bo'lib, ularning ba'zilari haqiqiy mitseliya bilan filamentli. Ular turli xil yashash joylarida, shu jumladan tuproq muhitida keng tarqalgan bo'lib, ular o'lik organik moddalarning parchalanishi va azot fiksatsiyasida va fosfatlarning eruvchanligi ishtirok etadilar (azot fiksatsiyasining taxminan 15% aktinomisetlar tomonidan amalga oshiriladi). Aktinomisetlar turli xil antibiotiklar, bionazorat qiluvchi vositalar va o'simliklarning o'sishini rag'batlantiruvchi kimyoviy moddalar ishlab chiqarishi yaxshi ma'lum (Abdallah et al., 2013).

Tadqiqot maqsadi. Sug'oriladigan o'tloq-allyuvial tuproqlarning sho'rlanish darajasida mikroorganizmlarning fiziologik guruhlari son dinamikasiga kremniyli preparatlarni ta'sir darajasini va mavsumiy solishtirma analizlarini o'rganish.

Material va metodlar Buxoro viloyati Buxoro tumanida joylashgan O Ubydov massivi "Katta Qunji "M.F.Y. ga qarashli "Avez Mirshod Rustam" f/x dala ekin maydonlarida tajribalari o'tkazildi. Tajriba uchastkasi tuproqlari sug'oriladigan o'tloq-allyuvial, mexanik tarkibi bo'yicha o'rtacha qumoq, sho'rlanishi bo'yicha o'rtacha sho'rlangan. O'rtacha minerallasgan yer osti suvlarining sathi 1,5– 2,0 m. Hudud 1,5 gektar dengiz sathidan 1,76 metr balandlikda. Tuproqdagi mikroorganizmlar faollikni oshirishga qaratilgan preparatlar 4 tipdagi variantlarda nazorat, Aminosit-Aton (A-Aton), Aminosit-Silicon (A-Si) hamda Bioazot preparatlari bo'lib nazorat sifatida suvga taqoslanilgan. Mikroorganizmlarning alohida fiziologik guruhlarini miqdoriy hisobga olish umumiy qabul qilingan suyultirish usuli bo'yicha, so'ngra qattiq selektiv ozuqa muhitida o'stirish orqali amalga oshirildi (Mauerhofer et al., 2019). Tuproqdagi mikroorganizm jamoalarning funktsional xilma-xilligini hisobga olish va o'rganish an'anaviy ravishda tegishli muhitda fiziologik guruhlar darajasida baholandi: go'sht-peptonli agarda (MPA) ammonifikatsion bakteriyalar, zambil qo'shilgan MPAda spora bakteriyalari (1: 1.), Eshby muhitida oligonitrofillar va azot fiksatorlari, kraxmal-ammiak muhitida aktinomisetalar, Czapek muhitida mikroskopik zamburug'lar (Lisa-Maria Mauerhofer va Patricia Pappenreiter metodi bo'yicha). Bakteriyalar soni 1 g tuproqqa (CFU/g) koloniya hosil qiluvchi birliklarda ifodalangan.

Natijalar. Dastrlabki olib borilgan ishlar Baxor faslida aniqlanildi (1- diagramma). Bunda hudud tuproqlarida 0-30 sn tuproq yuzasida amminofikatorlar va oligonitrofillar guruhi boshqa guruhga qaraganda yuqori chiqddi. Sporalilar va selluloza parchalovchi bakteriya guruhlari qolganilarga nisbatan juda past ko'rsatkichni qayd etdi. Ammo natijarga e'tibor berib qaraladigan bo'lsa Aminosit-Si bilan ishlov berilgan variant tuproqlarida qolgan variantlarga nisbatan birmuncha o'sish borligi ko'rish mumkin. Bu esa haqiqatdan ham Si tarkibli o'g'itni tuproq o'simlik orasidagi aloqalarida ijobiy rol o'ynashi bilan izohlash mumkin. Tuproqda mavjud mikroorganizmlar son guruhini oshishi bu shu tuproq biologik hossalari yaxshilanishiga asos bo'la oladi. Tuproqning agrofizikasi yaxshilanishi shu bilan birga tuproqning kislorod bilan boyitilishi bu tuproq faunasini yashovchanligini ortishiga olib kela oladi va tuproqdagi mavjud chrish jarayonini jadallashuviga hizmat qila oldi. Natijada tuproqni unumdorili, gumus bilan boyitilishi bilan bog'lanishi mumkin.

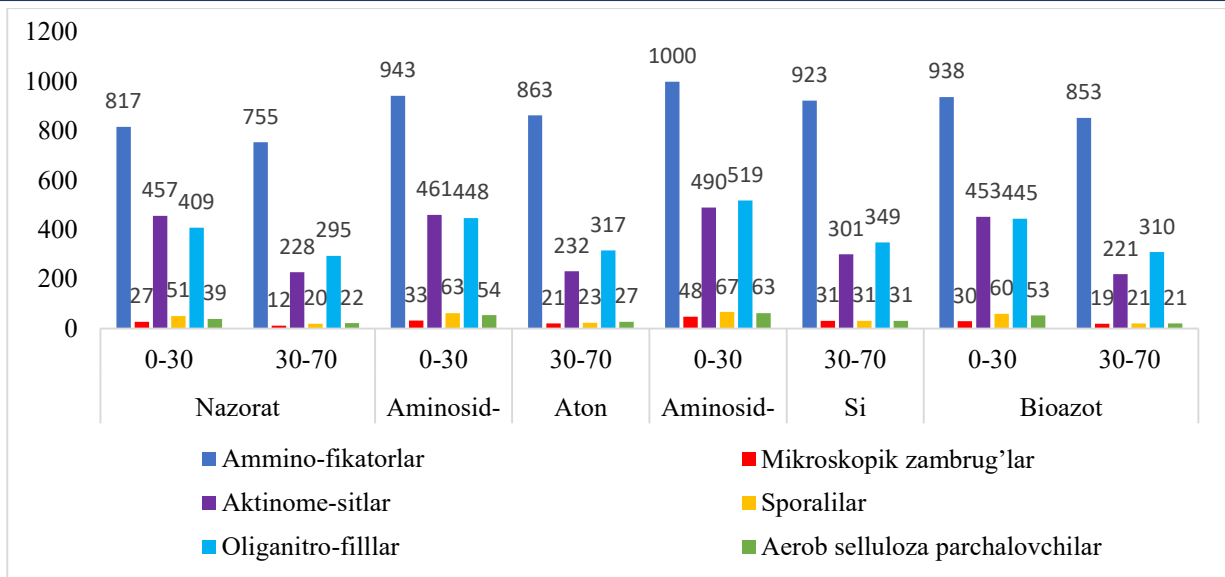
1-diagramma



Tadqiqot hududi tuproqlarini mikrobiologik hosslariga preparatlar ta'siri (Baxorgi tekshiruv) 1 gr tuproqda 1000 ta xisobida

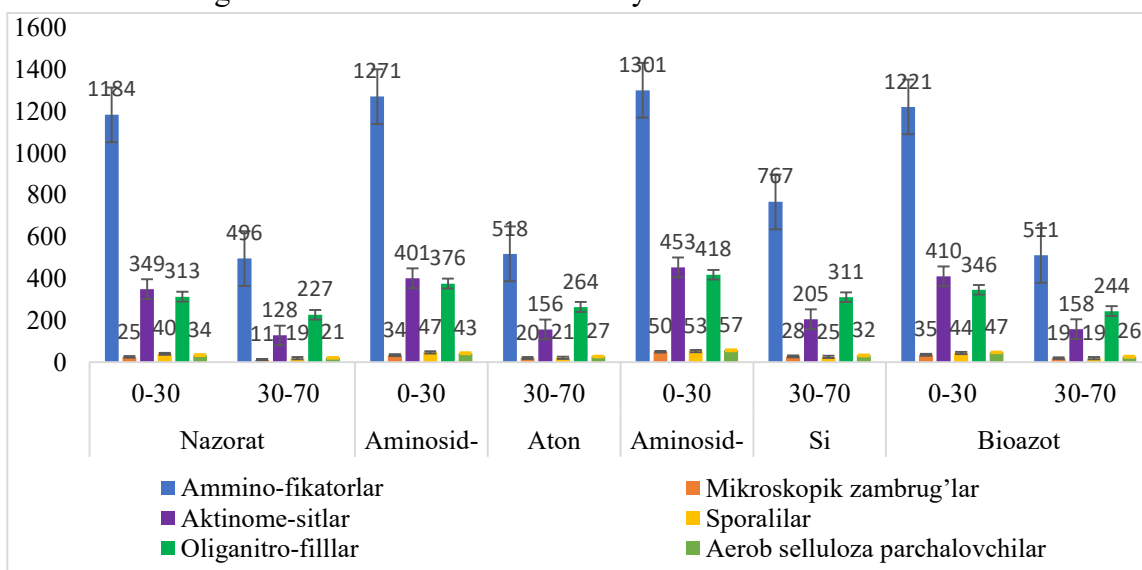
Tekshiruv natijalarini yozgi mavsumi uchun olib kelingan tuproqlarni laboratoriyada tekshirilganda yozgi mavsum uchun mikroorganizmlar faolligi o'sish suratlari qayd etilmadi. Buni yozgi Quruq iqlim sharoiti va sho'rlanish darajasi va qurg'oqchilik bilan bog'lash mumkin. adabiyotlarda ham ferment faolligi va mikroorganizmlar guruhlarini faolligi shu davr naobaynida qayd etib o'tilgan (Bogati and Walczak, 2022). Qurg'oqchilik natijasida yuzaga kelgan o'zgarishlarning salbiy tomonlariga qaramay, bunday og'ir atrof-muhit sharoitlarda mikroorganizmlarni omon qolish va ko'payish imkonini beradigan sharoitlar yaratilishi mumkin. Bu moslashuvlar ekotizimda yangi funksional guruhlarining paydo bo'lishiga olib kelishi yoki qishloq xo'jaligi amaliyoti va o'simliklarni ko'paytirish dasturlarini takomillashtirishda muhim vosita bo'lib xizmat qilishi mumkin. Bunday qurg'oqchilikka chidamli mikroorganizmlar va ularning xususiyatlaridan o'simliklar o'sishini qo'llab-quvvatlovchi biopreparatlarning samarali birikmalarini izlashda foydalanish mumkin (Hanaka et al., 2021). Tajrib o'tkazilgan 4 turdagi preparatlar ta'sir etishi bo'yicha tahlillar o'tkazilganda bu fasilda ham Aminositid-Si preparatida faollik boshqa turdagilarga qaraganda nomoyon bo'ldi. Ammo nazoratga nisbatan barcha preparatlar da raqamlarda o'sish kuzatildi. Mamsalan tuproqning 0-30 sm da aminofikatorlar nazoratda 817ni ko'rsatgan bo'lsa Aminositid-Si li variantda 1000 ta 183 taga ko'p bo'ldi. Shu bilan birgalikda aminositid-Aton va Bioazotli variantlar o'xshash natijalar qayd etdi mos ravishda 943 va 923ta. Qolgan mikroorganizm guruhlar ham oligonitrofillar, sporalilar, seluloza parchalovchilar ham nazoratga nisbatan preparatlar bilan ishlov berilgan tuproqlarda ayniqsa Si li variantda faol bo'ldi. Bu izlanishlarda haqiqatdan ham Si-kremniy tuproqda mavjudligi uni o'simlik o'zlashtira oladigan formalarga o'ta olishi va kelajakda o'simlikning abiotik va biotik stress holatlariga adaptatsiyasini kuchaytirishdagi ishtiroki juda muhim ekanligini ko'rsatadi (Wang et al., 2015). Natijalarga et'bor berib qaralganda tuproqning 30-70 sm qatlamida faollik bir qadar past ko'rsatkichni berdi. Bu esa tuproqning chuqur qatlamiga kirib brogan sari mikroorganizmlar yashahsi uchun ozuqa va etarli darajada kislorod bilan ta'minlanmaganligi bilan izohlash mumkin. Lekin shu qatlamda ham sinov o'tkazgan preparatlar nazoratga nisbatan yuqori raqamlarni ko'rsatib berdi. Maqsad ham tuproqlarning ushu preparatlar bilan ishlovlanishi ortida tuproq va o'simlik aloqalarini yaxshilashga qaratilgan. Natijalar 2-diagrammada keltirilgan.

2-diagramma



Tadqiqot hududi tuproqlarini mikrobiologik hosslariga preparatlar ta'siri (Yozgi tekshiruv) 1 gr tuproqd a 1000 ta xisobida

Tekshiruvlarning kuzgi mavsumdan olib kelingan tuproqlar bilan davom ettirildi. Natijalar tahlil qilinadigan bo'lsa kuzgi iqlim sharoitida ham bir qator o'zgarishlar jumadan yog'ingarchilikni o'rtishi, nam havo shu bilan birga tuproqning organik mahsulotlar bilan to'yinishi ham mikroorganizmlar son dinamikasiga ta'siri aniqlandi. Nazorat variantiga nisbatan barcha preparatli variantlarda mikroorganizmlar soni oshdi ammo tuproqning 30-70 smga nisbatan 0-30 smda bu faollik yuqoriligi ko'rildi. Tajriba variantlarida nazoratga nisbatan tegishli ravishda Aminosit-Atonda 87ga, Aminosit-Si da 121 taga Bioazotda 37 ga farq bilan ijobiy natija berdi. Yuqorida aytib o'tilgandek Aminosit-Si bilan ishlov berilgan tuproqlarda 3 mavsim davomida ham qolgan variantlarga qaraganda mikroorganizm guruhlarining son dinamikasiga sezilarli darajda ijobiy ta'sir qilganligi tekshiruvlar natijasida aniqlanildi. Natijalarni (3-diagramma) bunday ijobiy ta'siri bilan o'sishi tuproqqa va uning biologik faolligiga kremniy birikmalarini o'rni salmoqli ekanligi ko'plab adabiyotlarda yoritilgan. Olingan natijalar ham adabiyot ma'lumotlari bilan saolishtirilganda o'xshash izchillikni nomoyon etdi.



Tadqiqot hududi tuproqlarini mikrobiologik hosslariga preparatlar ta'siri (kuzgi tekshiruv). 1 gr tuproqd a 1000 ta xisobida

REFERENCES

1. Abdallah, M.E., Haroun, S.A., Gomah, A.A., El-Naggar, N.E., Badr, H.H., 2013. Application of actinomycetes as biocontrol agents in the management of onion bacterial rot diseases. *Arch. Phytopathol. Plant Prot.* 46, 1797–1808. <https://doi.org/10.1080/03235408.2013.778451>
2. Bocharnikova, E.; Matichenkov, V, n.d. Silicon fertilizers: Agricultural and environmental impacts. In *Fertilizers: Components, Uses in Agriculture and Environmental Impacts*. Nova Sci. Publ. Inc N. Y. NY USA 2014 183–198.
3. Bogati, K., Walczak, M., 2022. The Impact of Drought Stress on Soil Microbial Community, Enzyme Activities and Plants. *Agronomy* 12, 189. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010189>
4. Charzyński, P., Urbańska, M., Franco Capra, G., Ganga, A., Holmes, P., Szulczewski, M., Baatar, U.-O., Boularbah, A., Bresilla, B., Cacovean, H., Datta, A., Gadsby, H., Gargouri, K., Gebrehiwot Gebregeorgis, E., Giani, L., Grover, S., Juliev, M., Kasparinskis, R., Kawahigashi, M., Anna Kellermann, L., John Kim, K.-H., Krótka, L., Kukułs, I., Kunchulia, I., Laaouidi, Y., Leglize, P., Mouketou-Tarazewicz, D., Mugagga, F., József Novák, T., Ortiz, J., Osuna-Vallejo, V., Penížek, V., Tomov, P., Prokofeva, T., Pulido, M., Recha, C.W., Reintam, E., Repe, B., Şahin, S., Hassan Salehi, M., Tankari Dan Badjo, A., Teperics, K., Törmänen, T., Tsyrybka, V., Vaisvalavičius, R., Vezzani, F., Zhang, S., 2022. A global perspective on soil science education at third educational level; knowledge, practice, skills and challenges. *Geoderma* 425, 116053. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.116053>
5. Coskun, D., Deshmukh, R., Shivaraj, S.M., Isenring, P., Bélanger, R.R., 2021. Lsi2: A black box in plant silicon transport. *Plant Soil* 466, 1–20. <https://doi.org/10.1007/s11104-021-05061-1>
6. Devanna, B.N., Mandlik, R., Raturi, G., Sudhakaran, S.S., Sharma, Y., Sharma, S., Rana, N., Bansal, R., Barvkar, V., Tripathi, D.K., Shivaraj, S.M., Deshmukh, R., 2021. Versatile role of silicon in cereals: Health benefits, uptake mechanism, and evolution. *Plant Physiol. Biochem.* 165, 173–186. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.03.060>
7. Grzyb, A., Wolna-Maruwka, A., Niewiadomska, A., 2021. The Significance of Microbial Transformation of Nitrogen Compounds in the Light of Integrated Crop Management. *Agronomy* 11, 1415. <https://doi.org/10.3390/agronomy11071415>
8. Hanaka, A., Ozimek, E., Reszczyńska, E., Jaroszuk-Ściseł, J., Stolarz, M., 2021. Plant Tolerance to Drought Stress in the Presence of Supporting Bacteria and Fungi: An Efficient Strategy in Horticulture. *Horticulturae* 7, 390. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7100390>
9. Hawksworth, D.L., Rossman, A.Y., 1997. Where Are All the Undescribed Fungi? *Phytopathology*® 87, 888–891. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.1997.87.9.888>
10. Imtiaz, M., Rizwan, M.S., Mushtaq, M.A., Ashraf, M., Shahzad, S.M., Yousaf, B., Saeed, D.A., Rizwan, M., Nawaz, M.A., Mehmood, S., Tu, S., 2016. Silicon occurrence, uptake, transport and mechanisms of heavy metals, minerals and salinity enhanced tolerance in plants with future prospects: A review. *J. Environ. Manage.* 183, 521–529. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.09.009>
11. Islam, A., Saha, R.C., 1969. Effects of silicon on the chemical composition of rice plants. *Plant Soil* 30, 446–458. <https://doi.org/10.1007/BF01881970>

12. Kutateladze, L.Y., Zakariashvili, N.G., Jobava, M.D., Burduli, T.A., Sadunishvili, T.A., 2016. Microscopic fungi spread in different types of soils in Western Georgia. *Ann. Agrar. Sci.* 14, 227–232. <https://doi.org/10.1016/j.aasci.2016.08.007>
13. Ma, J.F., 2004. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. *Soil Sci. Plant Nutr.* 50, 11–18. <https://doi.org/10.1080/00380768.2004.10408447>
14. Mauerhofer, L.-M., Pappenreiter, P., Paulik, C., Seifert, A.H., Bernacchi, S., Rittmann, S.K.-M.R., 2019. Methods for quantification of growth and productivity in anaerobic microbiology and biotechnology. *Folia Microbiol. (Praha)* 64, 321–360. <https://doi.org/10.1007/s12223-018-0658-4>
15. Nabieva, G., Makhkamova, D., Botirova, N., 2021. MICROBIOLOGICAL ACTIVITY OF SALINE ALLUVIAL MEADOW SOILS IN THE KARAKALPAK REPUBLIC (ON THE EXAMPLE OF THE TAKHTAKUPIR FOG). *UniversumChemistry Biol.* 83. <https://doi.org/10.32743/UniChem.2021.83.5.11423>
16. Saidova, M., Gafurova, L., Kodirova, D., Shadiyeva, N., Ergasheva, O., 2023. Biodiagnostic survey of salt soils of the desert zone of Uzbekistan. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 1142, 012073. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1142/1/012073>
17. Tayade, R., Ghimire, A., Khan, W., Lay, L., Attipoe, J.Q., Kim, Y., 2022. Silicon as a Smart Fertilizer for Sustainability and Crop Improvement. *Biomolecules* 12, 1027. <https://doi.org/10.3390/biom12081027>
18. Wallace, A., 1989. RELATIONSHIPS AMONG NITROGEN, SILICON, AND HEAVY METAL UPTAKE BY PLANTS: *Soil Sci.* 147, 457–460. <https://doi.org/10.1097/00010694-198906000-00019>
19. Wang, J., Yuan, G., Lu, J., Wu, J., 2021. Leaching of salt-affected soil amended by leonardite. *Phys. Geogr.* 42, 226–239. <https://doi.org/10.1080/02723646.2020.1738980>
20. Wang, S., Liu, P., Chen, D., Yin, L., Li, H., Deng, X., 2015. Silicon enhanced salt tolerance by improving the root water uptake and decreasing the ion toxicity in cucumber. *Front. Plant Sci.* 6. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00759>
21. Wu, C., Zou, Q., Xue, S., Mo, J., Pan, W., Lou, L., Wong, M.H., 2015. Effects of silicon (Si) on arsenic (As) accumulation and speciation in rice (*Oryza sativa* L.) genotypes with different radial oxygen loss (ROL). *Chemosphere* 138, 447–453. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.06.081>
22. Zargar, S.M., Mahajan, R., Bhat, J.A., Nazir, M., Deshmukh, R., 2019. Role of silicon in plant stress tolerance: opportunities to achieve a sustainable cropping system. *3 Biotech* 9, 73. <https://doi.org/10.1007/s13205-019-1613-z>