

CHARM SANOATI CHIQINDILARIDAN QISHLOQ XO‘JALIGI MAHSULOTLARINI QAYTA ISHLASHDA FOYDALANISH

Nishonov Fazliddin Maxammadjon o‘g‘li

Farg‘ona davlat texnika universiteti, Kimyo texnologiyalari fakulteti, Qishloq xo‘jaligi mahsulotlarni saqlash va dastlabki ishlash texnologiyasi yo‘nalishi talabasi.

Email: (nishanovfazliddin777@gmail.com)

Ro‘ziyeva Mohinur Bahodirovna

Farg‘ona davlat texnika universiteti, Yengil sanoat va to‘qimachlik fakulteti, Yengil sanoat buyumlari konstruksiyasini ishlash va texnologiyasi: charm buyumlari texnologiyasi yo‘nalishi talabasi.

Email: (mokhinurruziyeva8@gmail.com)

Annotatsiya: Ushbu maqolada charm sanoati chiqindilaridan qishloq xo‘jaligi mahsulotlarini qayta ishlashda foydalanishning afzalliklari va kamchiliklari ko‘rib chiqiladi. Teri chiqindilaridan olingan materiallar, ayniqsa, organik o‘g‘itlar, biopolimerlar va biochar kabi mahsulotlar ishlab chiqarish uchun ajoyib xom ashyo hisoblanadi. Charm chiqindilarini qayta ishlash orqali tuproq sifatini yaxshilash va barqaror qishloq xo‘jaligini rivojlantirish mumkin. Teri va charm chiqindilari tarkibida o‘simliklar uchun zarur bo‘lgan makro va mikroelementlar mavjud bo‘lib, ular tuproqni o‘g‘itlashda samarali foydalanilishi mumkin. Biopolimer asosidagi o‘g‘itlar, xususan, kollagenli va sintetik polimerlar bilan birikkan bioo‘g‘itlar, ozuqa moddalarining chiqarilishini sekinlashtiradi, bu esa tuproqning ifloslanishini kamaytirish va o‘simliklar o‘sishini yaxshilashga olib keladi. Shuningdek, charm chiqindilaridan olingan biochar tuproqning suvni saqlash xususiyatini oshiradi, mikrobiologik faoliyatni yaxshilaydi va o‘simliklarning o‘sishini rag‘batlantiradi. Ushbu usullarni qo‘llash orqali charm sanoati chiqindilarini ekologik xavfsiz va samarali tarzda qayta ishlash imkoniyati yaratiladi, shu bilan birga, chiqindilarni kamaytirish va qishloq xo‘jaligida barqarorlikni ta‘minlashga yordam beradi.

Kalit so‘zlar: Biopolimerlar, teri chiqindilari, tuproq, o‘g‘itlar, sanoat ekinlari

Abstract: This paper discusses the advantages and disadvantages of using leather industry waste in agricultural product processing. Materials derived from leather waste, particularly organic fertilizers, biopolymers, and biochar, are excellent raw materials for production. Recycling leather waste can improve soil quality and promote sustainable agriculture. Leather and hide waste contain essential macro and microelements that can be effectively utilized as fertilizers to improve soil quality. Biopolymer-based fertilizers, particularly collagen-based and those combined with synthetic polymers, slow the release of nutrients, which helps minimize nutrient loss through leaching and reduces soil contamination. Additionally, biochar produced from leather waste enhances water retention, boosts microbiological activity, and promotes plant growth. Implementing these

methods provides an ecological solution to effectively recycle leather industry waste while reducing waste and promoting sustainability in agriculture.

Key words: Biopolymers, leather waste, soil, fertilizers, industrial crops.

Аннотация: В данной статье рассматриваются преимущества и недостатки использования отходов кожевенной промышленности в переработке сельскохозяйственной продукции. Материалы, полученные из кожевенных отходов, особенно органические удобрения, биополимеры и биоуголь, являются отличным сырьем для производства. Переработка кожевенных отходов может улучшить качество почвы и способствовать устойчивому сельскому хозяйству. Отходы кожи и шкур содержат важнейшие макро- и микроэлементы, которые могут эффективно использоваться в качестве удобрений для улучшения качества почвы. Удобрения на основе биополимеров, особенно коллагеновые и комбинированные с синтетическими полимерами, замедляют высвобождение питательных веществ, что помогает минимизировать потерю питательных веществ через вымывание и снижает загрязнение почвы. Кроме того, биоуголь, полученный из кожевенных отходов, улучшает водоудерживающую способность почвы, стимулирует микробиологическую активность и способствует росту растений. Применение этих методов предоставляет экологическое решение для эффективной переработки отходов кожевенной промышленности, снижая количество отходов и способствуя устойчивости в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: Биополимеры, отходы кожи, почва, удобрения, промышленные культуры.

KIRISH

Charm sanoati doimiy ravishda o‘sib bormoqda, chunki tayyor teri mahsulotlari va inson iste’moli uchun go’shtga bo‘lgan talab ortmoqda. Bu charm ishlov berish jarayonining turli bosqichlaridan katta miqdorda chiqindilarni (go’sht qoldiqlari, sochlar, yelimlar, chang, tannin agentini o‘z ichiga olgan suyuqlik chiqindilari) hosil qiladi. Ushbu chiqindilar oqsilga (kollagen, jelatin va keratin) boydir (1-rasm) [1,2]. Yangi yondashuvlar, charm sanoatida chiqindilarni ikkilamchi xomashyo sifatida qayta ishlash orqali nol chiqindi va nol poligon strategiyasiga o‘tishni talab qilmoqda [3].

Tuproqning eng unumdor qatlami — bu yuqori qatlam bo‘lib, u mikroorganizmlar, minerallar va gumusga boydir. Ushbu qatlam o‘simliklar rivojlanishi uchun eng yaxshi joy deb hisoblanadi. Tuproqning ifloslanishi, o‘simliklarning o‘sishiga zarar etkazmaydigan moddalar miqdorining o‘rta darajada ortishi holatida yuz beradi. Tuproq degradatsiyasi bir nechta fizika, kimyo va biologik omillarning birgalikdagi yoki alohida ta’siri natijasida sodir bo‘ladi. Intizomli qishloq xo‘jaligi, iqlim o‘zgarishi, kislota yomg‘irlari, qurg‘oqchilik tufayli suv yetishmovchiligi va aholi sonining tez o‘sishi tuproq eroziyasining tezlashishiga va oziq moddalarining tugashiga olib keluvchi omillardir. Tuproq doimiy ravishda shamol va suv tomonidan jismoniy eroziyaga uchrab, bu unumdor yuqori qatlamning yo‘qolishiga

sabab bo‘ladi. Kimyoviy omillar kislota yomg‘irlari, tasodifiy kimyoviy ifloslanish va kimyoviy o‘g‘itlar hamda pestitsidlar ortiqcha ishlatilishi hisoblanadi. Bundan tashqari, noto‘g‘ri qishloq xo‘jaligi faoliyatlari tuproqdagi mikroorganizmlar faolligini pasayishiga olib kelishi mumkin. Shuning uchun tuproq sifatini yaxshilash, kamida dastlabki unumdorlik va qishloq xo‘jaligi tuproq mahsuldorligini tiklash zarurati mavjud.



1-rasm. Charm chiqindilaridan kollagen ajratib olish orqali biokompatibil materiallar ishlab chiqarish qiymat zanjiri.

Tuproq unumdorligi va biologik xilma-xilligini uzoq muddatli prognozlash uchun bir qator ko‘rsatkichlardan foydalanish mumkin, masalan: tuproq tuzilishi, tuproq pH, tuproq eroziyasi, tuproq organik moddalari, fosfor va kaliy miqdori, namlik va boshqalar. Ushbu parametrlar tuproqning mumkin bo‘lgan xatti-harakatlari haqida sifatli va miqdoriy ma‘lumot beradi [4]. Bu omillardan tuproq organik moddasi va namlik ozuqa moddalarini mavjud qilishda va tuproq eroziyasini oldini olishda asosiy rol o‘ynaydi. Issiq iqlimi va quruq qishlari bo‘lgan mamlakatlarda o‘simlik qoldiqlarining tez parchalanishi tufayli organik moddalar yo‘qolishi tezlashadi [5]. pH ozuqa moddalarining o‘simliklar uchun mavjudligini oshirish yoki kamaytirish orqali kimyoviy va biokimyoviy jarayonlarni boshqaradi. Tuproq strukturasiga porozlik va po‘lat o‘lchamlari kiradi. Tuproq zichligi o‘simlik mahsulini kamaytiradi, chunki o‘simlik ildizlari tuproqning bo‘shliqlarida rivojlanadi va o‘sadi [6]. Awad va boshqalar tomonidan Luvisoil turi qishloq xo‘jaligi tuprog‘ini modifikatsiya qilish bo‘yicha keng qamrovli tadqiqotlar olib borildi. Ular biochar, ostritsa qobig‘i, biopolimerlar (lignin yoki kraxmal asosida sintezlangan) yoki sintetik polimer (poliakrilamid) qo‘llanilganda tuproq sifatiga ijobiy ta‘sir ko‘rsatganini aniqladilar [7].

Aholi sonining o‘sishi, bu asr oxiriga borib 11 milliard kishiga yetishi taxmin qilinganligi hisobga olinsa, tuproq unumdorligini saqlash, oziq-ovqat sifatini ta‘minlash va

insonlarning xavfsizligini kafolatlash zarur [4,8,9,10]. O‘simlik ekinlarini ko‘paytirishning eng keng tarqalgan strategiyasi — o‘g‘itlashdir [11]. Dunyo bo‘ylab o‘g‘it iste‘moli haqida statistikaga qaraganda, so‘nggi 10 yil ichida o‘g‘itlar iste‘moli doimiy ravishda oshib bormoqda [12]. Sog‘lom qishloq xo‘jaligi mahsulotlariga bo‘lgan talabning ortishi, mijozlarning atrof-muhitga bo‘lgan ongini oshirganligi natijasida yuzaga kelmoqda. Kilic va boshqalar GAP (Good Agricultural Practices program) fermalaridan olingan natijalarni, kimyoviy o‘g‘itlar, pestitsidlar, hosildorlik va sof foyda bo‘yicha ushbu dasturda qatnashmagan fermalardan olingan natijalar bilan taqqosladilar [13]. Ushbu dasturning maqsadi — qishloq xo‘jaligini barqarorlashtirish va atrof-muhitga salbiy ta‘sir ko‘rsatadigan kimyoviy o‘g‘itlar va pestitsidlar kabi zararli moddalarni ishlatishni kamaytirishdir. Charm sanoatining chiqindilari, xususan kollagen, keratin va boshqa oqsil moddalarga boy biomateriallar, nafaqat ekologik muammolarni keltirib chiqaruvchi omillar, balki ulardan to‘g‘ri foydalanilganda agrar sohada muhim bioresursga aylanishi mumkin [14,15,17]. Bunday chiqindilarni kompostlash, vermikompostlash yoki boshqa biologik qayta ishlash usullari orqali samarali o‘g‘itlar — ya‘ni biopolimer asosli organik o‘g‘itlar olish mumkin. Ushbu o‘g‘itlar, ayniqsa, azotning asta-sekinlik bilan chiqishini ta‘minlovchi vosita sifatida keng ilmiy va amaliy e‘tiborga tushmoqda. Ular tarkibida azot, fosfor, kaliy, kaltsiy, magniy, temir, oltingugurt kabi ozuqa elementlari mavjud bo‘lib, o‘simliklarning o‘sish, rivojlanish va hosildorlik bosqichlarida muhim fiziologik rollarni bajaradi [16,19].

Charm chiqindilaridan olinadigan biopolimer o‘g‘itlar, boshqa organik o‘g‘itlarga nisbatan o‘ziga xos fizik-kimyoviy va biologik xususiyatlarga ega. Ularning tarkibidagi oqsillar mikroorganizm faoliyati orqali bosqichma-bosqich parchalanadi, natijada o‘simliklar uchun foydali bo‘lgan ammiak (NH_3), ammiak ionlari (NH_4^+) va nitrat (NO_3^-) shakllaridagi azot hosil bo‘ladi [24]. Bu azot shakllari o‘simlik tomonidan tez va samarali o‘zlashtiriladi. Ayniqsa, nazorat ostida chiqadigan o‘g‘itlar (controlled-release fertilizers) texnologiyasi asosida ishlab chiqilgan charm asosidagi biopolimerlar azotning sekin chiqishini ta‘minlab, ularning tuproqdan yuvilib ketishini kamaytiradi, o‘simlikni esa uzoq muddatli oziqlanish bilan ta‘minlaydi. Shuningdek, bu o‘g‘itlar tuproqning fizik xossalariga ham ijobiy ta‘sir ko‘rsatadi. Kompostlangan charm chiqindilarining tuproqqa qo‘shilishi natijasida tuproqning tuzilishi yaxshilanadi, agregatlar mustahkamlanadi va aeratsiya kuchayadi. Namni ushlab turish xususiyati ortadi, bu ayniqsa iqlimi qurg‘oqchil hududlarda qishloq xo‘jalik ekinlari uchun muhim ahamiyat kasb etadi. Bu o‘g‘itlar tarkibida mavjud bo‘lgan keratin esa tabiiy polimer bo‘lib, tuproqdagi namlikni ushlab qolishga yordam beradi, suv bug‘lanishini sekinlashtiradi va shu orqali suv resurslaridan samarali foydalanishga ko‘maklashadi [21].

Xususiyat	Charm chiqindilaridan olingan biopolimer o‘g‘itlari	Boshqa organik o‘g‘itlar
Azot tarkibi	Yuqori (5–16%)	Odatda pastroq
Azot chiqarilish tezligi	Sekin va boshqariladigan chiqarilish	Tezroq chiqarilish
Tuproq tuzilishiga ta’siri	Tuzilishni yaxshilaydi, agregatlarni mustahkamlaydi	O‘zgaruvchan ta’sir
Namlikni ushlab turish	Keratin tarkibi tufayli namlikni saqlashni oshiradi	Kamroq samarali
O‘simliklarga oziqlanish ta’minoti	Uzoq muddatli oziqlanishni ta’minlaydi	Qisqa muddatli ta’minot

1-jadval. Charm chiqindilaridan olingan biopolimer o‘g‘itlarining boshqa organik o‘g‘itlar bilan solishtirmali tavsifi.

Bundan tashqari, charm chiqindilari asosida tayyorlangan biopolimer o‘g‘itlar tuproqdagi mikrobiologik jarayonlarni jadallashtiradi. Ular mikroorganizmlar uchun oziqa manbai bo‘lib xizmat qiladi, bu esa tuproqdagi mikroflora va mikrofaunaning soni va faolligini oshiradi. Natijada, ammonifikatsiya va nitrifikatsiya jarayonlari tezlashadi, biologik azot aylanishi faollashadi. Shuningdek, charm chiqindilaridan olingan o‘g‘itlar tuproqdagi foydali mikroorganizmlar, ayniqsa azot fiksatsiyasi bilan shug‘ullanuvchi bakteriyalar (masalan, Rhizobium, Azotobacter) va mikorizal zamburug‘lar sonining ortishiga ham xizmat qiladi [16]. Bu esa o‘simliklarning oziqlanish samaradorligini yana-da oshiradi. Tuproqda azot bilan bir qatorda, boshqa elementlarning ham o‘zlashtirilishini rag‘batlantiruvchi holatlar kuzatilgan. Misol uchun, charm chiqindilaridan tayyorlangan kompostlar tarkibida temir, kalsiy, magniy, oltingugurt va boshqa mikroelementlar mavjud bo‘lib, ular o‘simliklar hujayra metabolizmi, fermentativ jarayonlar va stressga chidamliligini oshirishda faol ishtirok etadi [18]. Ayniqsa, kaltsiy ildizlarning o‘shishini jadallashtiradi, temir esa xlorofill sintezi va oksidlanish-qaytarilish jarayonlarida ishtirok etadi. Shuningdek, bu o‘g‘itlarning kislotalilikni pasaytirish, tuproq reaksiyasini neytrallashtirish kabi foydali xususiyatlari ham mavjud.

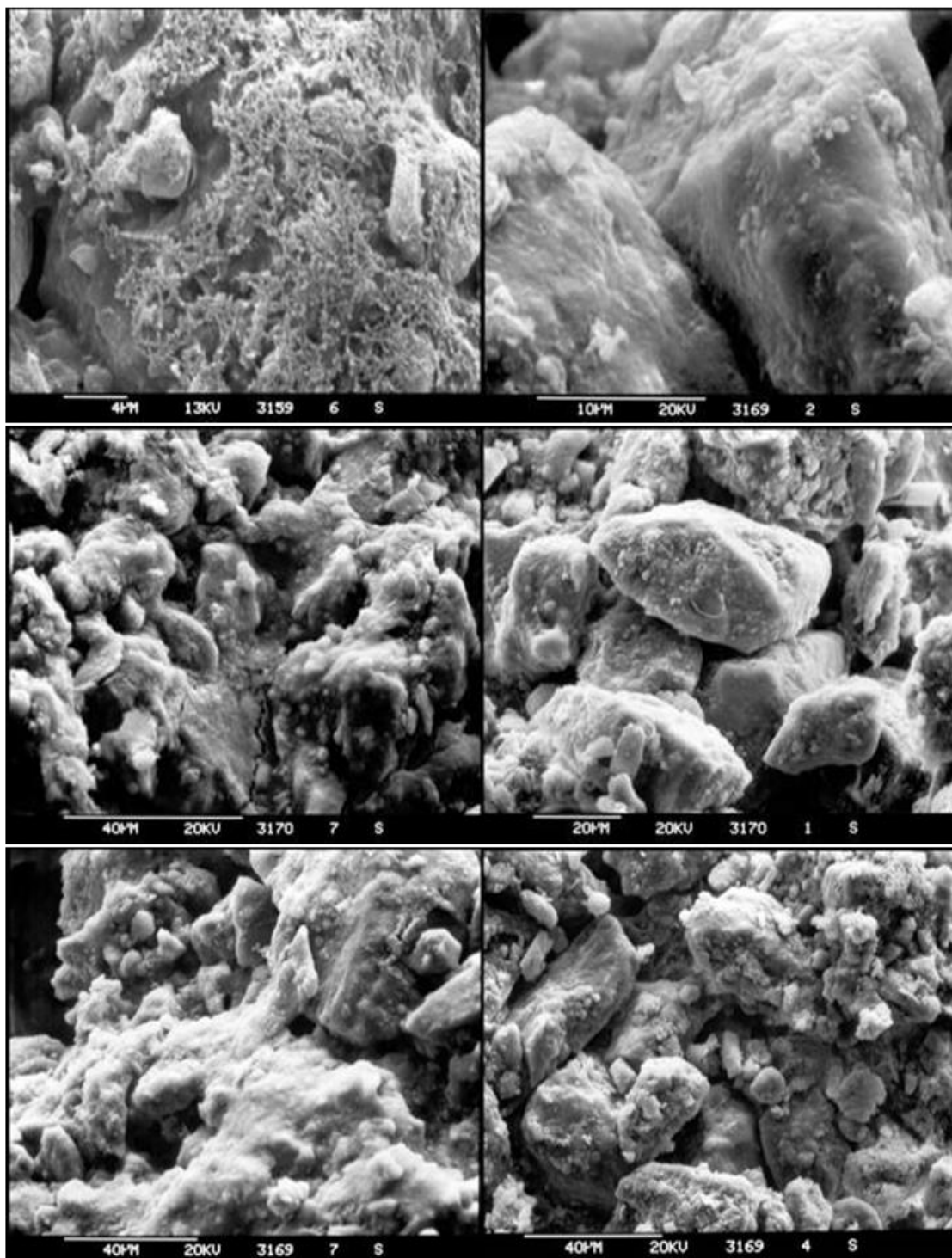
Ekologik jihatdan olganda, charm chiqindilaridan olinadigan biopolimer o‘g‘itlar an’anaviy mineral o‘g‘itlarga nisbatan bir qancha afzalliklarga ega. Ulardan foydalanish natijasida tuproqdagi tuzlarning ortiqcha to‘planishi, suv havzalarining eutrofikatsiyasi, yer degradatsiyasi va biologik xilma-xillikning kamayishi kabi salbiy holatlarning oldi olinadi. Bundan tashqari, bunday o‘g‘itlar chiqindilarni qayta ishlash orqali ishlab chiqarilayotgani sababli, sanoat chiqindilarini zararsizlantirishga xizmat qiladi va atrof-muhitning

ifloslanishini kamaytiradi. Bu esa "yashil qishloq xo‘jaligi", "barqaror resurs boshqaruvi" va "atrof-muhitga do‘stona texnologiyalar" tamoyillariga muvofiq keladi [23].

Charm chiqindilarining kompostlash va vermikompostlash jarayonlari orqali o‘zlashtirilishi ularning biologik quvvatini oshiradi. Masalan, vermikompostlash jarayonida charm chiqindilari qurtlar va mikroorganizmlar yordamida parchalab chiqiladi, bu esa o‘g‘itning tarkibiy qismlarini biologik faol shaklga keltiradi. Shuningdek, bu jarayonda fitogormonlar, enzimlar, vitaminlar va boshqa o‘simlik o‘sishini rag‘batlantiruvchi moddalar hosil bo‘ladi. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, vermikompost tarkibida mavjud bo‘lgan hujayraviy ajralmalar (ekzudatlar) o‘simlik ildizlariga bevosita ijobiy ta‘sir ko‘rsatadi, ularning oziq moddalarga bo‘lgan sezuvchanligini oshiradi va fiziologik faollikni kuchaytiradi [25].

Shu bilan birga, charm chiqindilaridan olingan biopolimer o‘g‘itlarning tarkibi va xossalari ularning qanday ishlov berilganiga, kompostlash sharoitlariga, qo‘shimcha komponentlar (masalan, mikroorganizmlar inokulyatsiyasi, lignin, sellyuloza, mineral qo‘shimchalar) ishtirokiga qarab o‘zgarib turadi. Bu esa ularning har bir ekin turi, tuproq turi va agroiklim sharoiti uchun individual yondashuv asosida moslashtirilishini taqozo etadi. Shuningdek, charm chiqindilarining ayrim turlarida mavjud bo‘lgan xrom kabi og‘ir metallarni zararsizlantirish va ularni biologik aktiv shakldan inert shaklga o‘tkazish texnologiyalari ham ishlab chiqilmoqda. Bu jihatlar ushbu o‘g‘itlarning xavfsizligini ta‘minlashda muhim hisoblanadi [23].

Charm sanoati chiqindilaridan tayyorlangan biopolimer asosidagi o‘g‘itlar tuproq unumdorligini oshirish, o‘simliklarning oziqlanishini yaxshilash, agroekotizimlarni sog‘lomashtirish va chiqindilarni samarali qayta ishlash nuqtai nazaridan istiqbolli va ekologik barqaror vosita hisoblanadi. Ular orqali mineral o‘g‘itlardan foydalanishni kamaytirish, qishloq xo‘jaligining barqarorligini ta‘minlash va atrof-muhitga salbiy ta‘sirni minimallashtirish mumkin [5,7,13,20].



3-rasm. Poliakrilamid bilan ishlov berilgan tuproqning SEM(skanerlovchi elektron mikroskop) tasviri.

Tuproqni barqarorlashtirishda qo‘llaniladigan sintetik polimerlardan biri bu poliakrilamid (PAM) hisoblanadi (3-rasm). Ushbu modda kollagen bilan kopolimerlash orqali bioo‘g‘itlar ishlab chiqarishda ham qo‘llaniladi. Poliakrilamid turli xil tuproq turlariga, jumladan siltli shag‘al, loyli qum va loyli shag‘al turlariga qo‘llanilgan. Tingle va uning hamkorlari har xil polimerlar bilan ishlov berilgan tuproqlarni sinovdan o‘tkazib, nam sharoitda tuproq mustahkamligining sezilarli darajada pasayishini kuzatishgan [9,22,24].

Shunga qaramay, polimerlar qo‘shilgan tuproqlarda, ishlov berilmagan tuproqlarga nisbatan, mustahkamlikning yaxshilangani aniqlangan. Poliakrilamid alohida holda qishloq xo‘jaligida qo‘llaniladigan Lyuvizol tipidagi tuproqqa qo‘llanganda, yirik makroagregatlar (1–2 mm) ulushining oshishiga olib kelgan. Shu bilan birga, bioko‘mir, biopolimer va istiridye (dengiz chig‘anog‘i) qobig‘i bilan boyitilgan tuproqlarda esa mikroagregatlar (<0,25 mm) miqdori oshgan [27].

Bioko‘mir, biopolimer va chig‘anoqlar tuproqqa qo‘shilganida, ular biologik faollikni oshirgan, xususan leutsin aminopeptidaza va kitinaza fermentlari darajasini ko‘tarishga hissa qo‘shgan. Bu esa NO_3^- (nitrat) konsentratsiyasining oshishi bilan tasdiqlangan, chunki leutsin aminopeptidaza azot aylanishi jarayonida ishtirok etadi, kitinaza esa zamburug‘lar faolligining ortganidan dalolat beradi [28].

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. George, A.; Sanjay, M.R.; Srisuk, R.; Parameswaranpillai, J.; Siengchin, S. A comprehensive review on chemical properties and applications of biopolymers and their composites. *Int. J. Biol. Macromol.* 2020, 154, 329–338.
2. Udayakumar, G.; Muthusamy, P.; Selvaganesh, S.B.; Sivarajasekar, N.; Rambabu, K.; Banat, F.; Sivamani, S.; Sivakumar, N.; Hosseini-Bandegharaei, A.; Show, L.P. Biopolymers and composites: Properties, characterization and their applications in food, medical and pharmaceutical industries. *J. Environ. Chem. Eng.* 2021, 9, 105322.
3. Korhonen, J.; Snäkin, J.P. Quantifying the relationship of resilience and eco-efficiency in complex adaptive energy systems. *Ecol. Econ.* 2015, 120, 83–92.
4. Mattsson, B.; Cederberg, C.; Blix, I. Agricultural land use in life cycle assessment (LCA): Case studies of three vegetable oil crops. *J. Clean. Prod.* 2000, 8, 283–292.
5. Castro, C.; Logan, T.J. Liming effects on the stability and erodibility of some Brazilian oxisols. *Am. J. Soil Sci. Soc.* 1991, 55, 1407–1413.
6. Håkansson, I.; Medvedev, V.W. Protection of soils from mechanical overloading by establishing limits for stresses caused by heavy vehicles. *Soil Tillage Res.* 1995, 35, 85–97.
7. Awad, Y.M.; Lee, S.S.; Kim, K.-H.; Ok, Y.S.; Kuzyakov, Y. Carbon and nitrogen mineralization and enzyme activities in soil aggregate-size classes: Effects of biochar, oyster shells, and polymers. *Chemosphere* 2018, 198, 40–48.
8. Zainescu, G.; Voicu, P.; Constantinescu, R.; Barna, E. Biopolymers from protein wastes used in industry and agriculture. *Rev. Ind. Text.* 2011, 62, 34–37.
9. Zainescu, G.A.; Stoian, C.; Constantinescu, R.R.; Voicu, P.; Arsene, M.; Mihalache, M. Innovative process for obtaining biopolymers from leather wastes for degraded soils remediation. In *Proceedings of the 10th International Conference on Colloids and Surfaces Chemistry*, Galati, Romania, 9–11 June 2011. Tal, A. Making Conventional Agriculture Environmentally Friendly: Moving beyond the Glorification of Organic

Agriculture and the Demonization of Conventional Agriculture. Sustainability 2018, 10, 1078.

10. Hargreaves, J.C.; Adl, M.S.; Warman, P.R. A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2008, 123, 1–14.

11. FAO. Food and Agriculture Organization. Available online: <http://www.fao.org/faostat/en> (accessed on 25 January 2022).

12. Kılıc, O.; Boz, I.; Eryılmaz, G.A. Comparison of conventional and good agricultural practices farms: A socio-economic and technical perspective. *J. Clean. Prod.* 2020, 258, 120666.

13. Horue, M.; Berti, I.R.; Cacicedo, M.L.; Castro, G.R. Microbial production and recovery of hybrid biopolymers from wastes for industrial applications—A review. *Bioresour. Technol.* 2021, 340, 125671. [Google Scholar] [CrossRef]

14. Rutz, A.L.; Shah, R.N. Protein Based Hydrogels in Polymeric Hydrogels as Smart Biomaterials, 1st ed.; Kalia, S., Ed.; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2016; pp. 73–104.

15. Ucar, B. Natural biomaterials in brain repair: A focus on collagen. *Neurochem. Int.* 2021, 146, 105033.

16. Ramakrishna, S.; Mayer, J.; Wintermantel, E.; Leong, K.W. Biomedical applications of polymer-composite materials: A review. *Compos. Sci. Technol.* 2001, 61, 1189–1224.

17. Sionkowska, A. Collagen blended with natural polymers: Recent advances and trends. *Prog. Polym. Sci.* 2021, 122, 101452.

18. Osmalek, T.; Froelich, A.; Tasarek, S. Application of gellan gum in pharmacy and medicine. *Int. J. Pharm.* 2014, 466, 328–340.

19. Peppas, N.A.; Bures, P.; Leobandung, W.; Ichikawa, H. Hydrogels in pharmaceutical formulations. *Eur. J. Pharm. Biopharm.* 2000, 50, 27–46.

20. Mudgil, D.; Barak, S.; Khatkar, B.S. Guar gum: Processing, properties and food applications—A Review. *J. Food Sci. Technol.* 2014, 51, 409–418.

21. Van de Velde, K.; Kiekens, P. Biopolymers: Overview of several properties and consequences on their applications. *Polym. Test.* 2002, 21, 433–442.

22. Gu, B.H.; Doner, H.E. The interaction of polysaccharides with silver hill illite. *Clays Clay Miner.* 1992, 40, 151–156.

23. Chang, I.; Cho, G.C. Strengthening of Korean residual soil with β -1,3/1,6-glucan biopolymer. *Constr. Build. Mater.* 2012, 30, 30–35.

24. Chang, I.; Lee, M.; Tran, A.T.P.; Lee, S.; Kwon, Y.M.; Im, J.; Cho, G.C. Review on biopolymer-based soil treatment (BPST) technology in geotechnical engineering practices. *Transp. Geotech.* 2020, 24, 100385.

25. Liu, Y.; Chang, M.; Wang, Q.; Wang, Y.F.; Liu, J.; Cao, C.; Zheng, W.; Bao, Y.; Rocchi, I. Use of Sulfur-Free Lignin as a novel soil additive: A multi-scale experimental investigation. *Eng. Geol.* 2020, 269, 105551.

26. Chang, I.; Im, J.; Cho, G.C. Introduction of microbial biopolymers in soil treatment for future environmentally-friendly and sustainable geotechnical engineering. *Sustainability* 2016, 8, 251.
27. Latifi, N.; Horpibulsuk, S.; Meehan, C.L.; Abd Majid, M.Z.; Md Tahir, M.; Tonnizam Mohamad, E. Improvement of Problematic Soils with Biopolymer—An Environmentally Friendly Soil Stabilizer. *J. Mater. Civ. Eng.* 2017, 29, 04016204.
28. Orts, W.J.; Roa-Espinosa, A.; Sojka, R.E.; Glenn, G.M.; Imam, S.H.; Erlacher, K.; Pedersen, J.S. Use of synthetic polymers and biopolymers for soil stabilization in agricultural, construction, and military applications. *J. Mater. Civ. Eng.* 2007, 19, 58–66.