NAMANGAN DAVLAT UNIVERSITETI
ILMIY AXBOROTNOMASI, [2026-8]
ISSN:2181-1458
ISSN:2181-0427

03.00.00-BIOLOGIYA
journal.namdu.uz
BIOLOGICAL

CLASSIFICATION AND PROPERTIES OF BIONANOPESTICIDES

Tashbayev Sherzodbek Abdurasulovich
Associate Professor, Department of Biology,
Andijan State University
Email: sherzodbektashbaev@gmail.com
Diyorakhon Shavkatjon qizi Mamasoliyeva
Andijan State University
Email: bakirovadiyora0000@gmail.com

Abstract: *This article discusses the negative effects of the use of synthetic pesticides in agriculture on the environment, soil microflora, and human health, as well as the potential use of biopesticides and bionanopesticides as environmentally safe alternatives. Along with the main advantages of biopesticides, their sensitivity to ultraviolet radiation, temperature, humidity, and precipitation, slow onset of action, high specificity, and limitations associated with storage and transportation are analyzed. The article also examines the history of the development of bionanopesticides, their evolution through the integration of biotechnology and nanotechnology, and the possibilities of nanoencapsulation of biologically active substances. The importance of nanotechnology in improving the stability, bioavailability, and controlled release of active substances is highlighted. Alongside the prospects of bionanopesticides, the need to assess the environmental and toxicological safety of nanomaterials is also emphasized. This approach may contribute to improving the efficiency of pesticide use in agriculture and reducing the environmental burden.*

Keywords: *bionanopesticides, biopesticides, nanotechnology, nanoencapsulation, environmental safety, biological control, green synthesis.*

КЛАССИФИКАТСИЯ И СВОЙСТВА БИОНАНОПЕСТИТСИДОВ

Аннотация*: В данной статье освещены негативные последствия использования синтетических пестицидов в сельском хозяйстве для окружающей среды, почвенной микрофлоры и здоровья человека, а также рассмотрены возможности применения биопестицидов и бионанопестицидов в качестве экологически безопасной альтернативы. Наряду с основными преимуществами биопестицидов проанализированы их чувствительность к ультрафиолетовому излучению, температуре, влажности и осадкам, медленное проявление действия, высокая специфичность, а также ограничения, связанные с их хранением и транспортировкой. Кроме того, рассмотрены история формирования бионанопестицидов, их развитие на основе интеграции биотехнологии и нанотехнологий, а также возможности наноинкапсуляции биологически активных веществ. Показано значение нанотехнологий в повышении стабильности, биодоступности и контролируемого высвобождения активных веществ. Наряду с перспективами применения бионанопестицидов подчёркивается необходимость оценки экологической и токсикологической безопасности наноматериалов. Данный подход может способствовать повышению эффективности использования пестицидов в сельском хозяйстве и снижению экологической нагрузки.*

Ключевые слова: *бионанопестициды, биопестициды, нанотехнологии, наноинкапсуляция, экологическая безопасность, биологическая защита, зелёный синтез.*

BIONANOPESTITSIDLARNING KLASSIFIKATSIYASI VA XUSUSIYATLARI

Annotatsiya: *Mazkur maqolada qishloq xo‘ jaligida sintetik pestitsidlardan foydalanishning atrof-muhit, tuproq mikroflorasi va inson salomatligiga salbiy ta’siri hamda ularga ekologik xavfsiz muqobil sifatida biopestitsid va bionanopestitsidlardan foydalanish imkoniyatlari yoritilgan. Biopestitsidlarning asosiy afzalliklari bilan bir qatorda, ularning ultrabinafsha nurlanish, harorat, namlik va yog‘ ingarchilikka sezgirligi, ta’sirining sekin namoyon bo‘ lishi, yuqori spesifikligi hamda saqlash va tashishdagi cheklovlari tahlil qilib chiqilgan. Shuningdek, bionanopestitsidlarning shakllanish tarixi, biotexnologiya va nanotexnologiyalar integratsiyasi asosida rivojlanishi hamda biologik faol moddalarni nanoenkapsulyatsiya qilish imkoniyatlari ko‘ rib chiqilgan. Nanotexnologiyalarning faol moddalarning barqarorligi, biologik o‘ zlashtirilishi va nazorat qilinadigan ajralib chiqishini yaxshilashdagi ahamiyati ko‘ rsatib berilgan. Bionanopestitsidlarning istiqbollari bilan bir qatorda, nanomateriallarning ekologik va toksikologik xavfsizligini baholash*

zarurligi ham ta'kidlangan. Mazkur yondashuv qishloq xo' jaligida pestitsidlardan foydalanish samaradorligini oshirish va ekologik yuklamani kamaytirishga xizmat qilishi mumkin.

Kalit so' zlar: *bionanopestitsidlar, biopestitsidlar, nanotexnologiya, nanoenkapsulyatsiya, ekologik xavfsizlik, biologik himoya, yashil sintez.*

KIRISH

Ko' p yillar mobaynida kimyoviy pestitsidlar qishloq xo' jaligida hosildorlikni ta'minlash va ko' plab zararkunandalar hamda kasalliklarga qarshi kurashishda muhim o' rin tutib kelgan.

Sintetik pestitsidlarga algitsidlar, gerbitsidlar, feromonlar va boshqa turdagi pestitsidlar kiradi. Biroq pestitsidlarning me'yoridan ortiq qo' llanilishi va yomg' ir suvlari orqali ularning suv havzalariga yuvilib tushishi natijasida suv ekotizimida yashovchi ko' plab organizmlar nobud bo' lishi mumkin. Hatto bunday ta'sir organizmlarning o' limiga olib kelmagan taqdirda ham, pestitsid qoldiqlarini o' zida to' plagan suv organizmlarini iste'mol qilish insonlarda saraton, qandli diabet, jigar faoliyatining buzilishi, ekzema, shuningdek, asab va yurak-qon tomir tizimi kasalliklari kabi jiddiy xastaliklarning rivojlanishiga sabab bo' lishi mumkin.

Bundan tashqari, sintetik pestitsidlar tuproq mikroflorasi va undagi foydali mikroorganizmlarga ham katta zarar yetkazadi. Sintetik pestitsidlardan foydalanish bilan bog' liq xavf-xatarlar ularga muqobil sifatida biopestitsidlardan foydalanishga bo' lgan qiziqishni oshirdi. Biopestitsidlar nisbatan arzon, ekologik xavfsiz va atrof-muhitga kamroq zarar yetkazuvchi vositalar hisoblanadi. Ular mikroorganizmlar, o' simliklar, shuningdek, bionanozarrachalar asosida olinishi mumkin.

Nanobiopestitsidlarning oddiy biopestitsidlarga nisbatan yuqori pestitsid faolligiga ega bo' lib, faol moddaning maqsadli yoki nazorat qilinadigan tarzda ajralib chiqishini ta'minlaydi. Ular yuqori darajadagi biomoslik yani biokompatibillik va biologik parchalanish xususiyatlari bilan ajralib turadi.

Ko' plab afzalliklariga qaramay, biopestitsidlar har doim ham qishloq xo' jaligi ishlab chiqarishi sharoitida barqaror samaradorlikni ta'minlay olmaydi. Ularning amaliy qo' llanilishini cheklovchi asosiy omillardan biri biologik faol komponentlarning atrof-muhit omillari ta'siriga yuqori darajada sezgirligidir. Ultrabinafsha nurlanish, yuqori harorat, namlikning keskin o' zgarishi hamda yog' ingarchilik mikroorganizmlarning hayotchanligini pasaytirishi va tabiiy biologik faol moddalarning tez parchalanishiga olib kelishi mumkin. Natijada preparatlarning himoya samaradorligi kamayadi.

Yana shuni nazarda tutish kerakki, biopestitsidlarning samaradorligi ko' p jihatdan ularni qo' llash sharoitlariga bog' liq. Laboratoriya tajribalarida ular odatda yuqori biologik faollikni namoyon etsa-da, dala sharoitida ularning ta'siri harorat, namlik, tuproqning kislotalilik darajasi (pH), mikrob hamjamiyatining tarkibi hamda boshqa ekologik omillar ta'sirida sezilarli darajada o' zgarishi mumkin. Bu esa turli agroekotizimlarda biopestitsidlardan foydalanishda barqaror natijalarga erishishni qiyinlashtiradi.

Yana bir cheklovchi omil biopestitsidlarning biologik ta'siri nisbatan sekin rivojlanishidir. Kimyoviy pestitsidlar ko' pincha zararkunandalarning tez nobud bo' lishiga sabab bo' lsa, aksariyat biopestitsidlarning ta'siri mikroorganizmlarning ko' payishi, zararkunanda organizmiga kirib borishi yoki biologik faol metabolitlarning asta-sekin to' planishi bilan bog' liq. Shu sababli ularning himoya ta'siri darhol emas, balki ma'lum vaqt o' tgach namoyon bo' ladi.

Shuningdek, ko' plab biopestitsidlar yuqori darajadagi spesifiklikka ega bo' lib, faqat ma'lum bir guruh zararkunanda organizmlarga qarshi samarali hisoblanadi. Bir tomondan, bu foydali organizmlar va atrof-muhitga salbiy ta'sirni kamaytiradi, ikkinchi tomondan esa ularni qishloq xo' jaligida universal qo' llash imkoniyatlarini cheklaydi.

Biopestitsidlarning keng miqyosda joriy etilishiga to' sqinlik qiluvchi qo' shimcha omillar qatoriga ularning saqlash muddati nisbatan qisqaligi, tashish va saqlashda maxsus sharoitlarga rioya qilish zarurligi hamda ayrim biologik preparatlarni ishlab chiqarish xarajatlarining yuqoriligi kiradi.

Ushbu cheklovlar sababli so' nggi yillarda tadqiqotchilar e'tibori bionanopestitsidlarni yaratishga qaratilmoqda. Nanotexnologiyalarni qo' llash biologik faol moddalarning atrof-muhitning noqulay omillaridan himoyalanishini ta'minlaydi, ularning nazorat qilinadigan tarzda ajralib chiqishiga imkon yaratadi, preparatlarning barqarorligi va biologik o' zlashtirilishini oshiradi, ta'sir davomiyligini uzaytiradi hamda natijada ekologik yuklamani kamaytirgan holda qishloq xo' jaligi ekinlarini himoya qilish samaradorligini sezilarli darajada oshiradi.

ADABIYOTLAR TAXLILI

Bionanopestitsidlarning paydo bo' lish tarixi. Bionanopestitsidlar XXI asr boshlarida biotexnologiya va nanotexnologiyaning kesishgan nuqtasida an'anaviy sintetik pestitsidlarning uzoq muddat qo' llanilishi natijasida yuzaga kelgan ekologik inqirozga evolyutsion javob sifatida paydo bo' ldi. Ular o' simliklarni himoya qilish vositalarining eng yangi, to' rtinchi avlodi bo' lib, biologik faol moddalar (o' simlik ekstraktlari, mikroorganizmlar va ularning metabolitlari)ni nanostrukturali yetkazib berish tizimlari bilan uyg' unlashtiradi.

Ushbu yo‘ nalishning shakllanish tarixi to‘ rtta asosiy bosqichda rivojlandi.

1. Dastlabki bosqich: Sof biologiya davri (XIX asr – XX asr o‘ rtalari)

Kelajakdagi bionanopestitsidlar uchun asos klassik biopestitsidlar hisoblanadi. **1835-yil** – italiyalik olim **Agostino Bassi** birinchi bo‘ lib *Beauveria bassiana* zamburug‘ idan zararkunandalarga qarshi biologik kurash vositasi sifatida foydalanish mumkinligini ilmiy jihatdan isbotladi. **1901-yil** – yapon biologi **Shigetane Ishiwata** *Bacillus thuringiensis* (Bt) bakteriyasini ajratib oldi. Bugungi kunda ushbu bakteriya dunyodagi eng keng qo‘ llaniladigan biologik insektitsidlarning asosini tashkil etadi.

2. Kimyoviy rivojlanish va ekologik inqiroz davri (1940–1980-yillar)

1939-yilda **Paul Müller** tomonidan DDTning insektitsid xususiyatlari kashf etilgach, qishloq xo‘ jaligida e’tibor arzon va samarali sintetik pestitsidlarga qaratildi. Biroq 1970–1980-yillarga kelib ularning salbiy oqibatlari yaqqol namoyon bo‘ ldi. Tuproqda toksik moddalarning to‘ planishi, foydali hasharotlarning kamayishi hamda zararkunandalarning kimyoviy preparatlarga nisbatan chidamlilik (rezistentlik) hosil qilishi ekologik muammolarni keskinlashtirdi. Shu sababli ilmiy tadqiqotlar yana ekologik xavfsiz biologik himoya usullarini yaratishga yo‘ naltirildi.

3. Klassik biopreparatlarning texnologik cheklovlari (1990-yillar)

XX asr oxiriga kelib efir moylari, bakteriyalar, viruslar va zamburug‘ larga asoslangan ko‘ plab samarali biologik pestitsidlar ishlab chiqildi. Ammo ularning amaliy qo‘ llanishida muhim muammo yuzaga keldi. Tabiiy biologik faol moddalar quyoshning ultrabinafsha nurlanishi ta’sirida tez parchalanar, yog‘ ingarchilik natijasida yuvilib ketar hamda qisqa muddat ta’sir qilgani sababli tez-tez qayta qo‘ llashni talab etardi. Bu esa yirik fermer xo‘ jaliklari uchun iqtisodiy jihatdan samarasiz edi.

4. Nanotexnologik inqilob va bionanopestitsidlar konsepsiyasining shakllanishi (2000-yillar – hozirgi davr)

2000-yillarning boshlarida qishloq xo‘ jaligida nanotexnologiyalarning rivojlanishi biologik preparatlarning barqarorlik muammosini hal qilish imkonini berdi. Olimlar biologik faol moddalarni nanoo‘ lchamli tashuvchilar bilan birlashtirdilar. Natijada quyidagi afzalliklarga erishildi:

Biologik faol moddalarni nanoenkapsulyatsiya qilish. Neem (Azadirachta indica) moyi, zamburug‘ sporalari va boshqa bioaktiv moddalar xitozan, zein kabi tabiiy polimerlardan tayyorlangan nanokapsulalarga joylashtirildi. Bu ularni ultrabinafsha nurlanishidan himoya qildi hamda faol moddalarning nazorat qilinadigan va asta-sekin ajralib chiqishini ta’minladi.

Yashil sintez texnologiyasidan foydalanish. Kumush, mis va rux oksidi nanokristallari kimyoviy usullar o‘ rniga o‘ simlik ekstraktlari va mikroorganizmlar yordamida sintez qilina boshlandi. Natijada nanomateriallar ekologik jihatdan xavfsizroq va biologik mos bo‘ lib qoldi.

Hozirgi holati (2026-yil holatiga ko‘ ra). Bugungi kunda bionanopestitsidlar laboratoriya tadqiqotlari bosqichidan bosqichma-bosqich tijorat miqyosidagi ishlab chiqarishga o‘ tmoqda. Ular aniq va ekologik xavfsiz dehqonchilikning muhim tarkibiy qismi sifatida e’tirof etilmoqda. Chunki bionanopestitsidlar qo‘ llaniladigan kimyoviy pestitsidlar miqdorini bir necha o‘ n baravar kamaytirish bilan birga, zararkunandalar va kasalliklarga qarshi yuqori samaradorlikni saqlab qolish imkonini beradi.

Mazkur yo‘ nalishda olib borilayotgan tadqiqotlar nanokapsulalarning ta’sir mexanizmlarini takomillashtirish, "yashil sintez" uchun yangi biomateriallarni yaratish hamda nanomateriallarning atrof-muhitga uzoq muddatli ta’sirini baholashga qaratilgan.

Bionanopestitsidlar Yevropa Komissiyasi nanomaterialni "tabiiy, tasodifiy yoki ishlab chiqarilgan material bo‘ lib, unda zarrachalar bog‘ lanmagan holatda, agregat yoki aglomerat shaklida bo‘ lib, raqam o‘ lchami taqsimotidagi zarrachalarning 50 % yoki undan ko‘ prog‘ i uchun bir yoki bir nechta tashqi o‘ lchamlar 1 nm - 100 nm o‘ lchamda bo‘ ladi deb ta’riflagan (Nanomaterial ta’rifi bo‘ yicha tavsiya 2011/696/EU). Aniqrog‘ i, tabiat yoki tabiiy asosdagi nanopestitsidlar organik (masalan, polimerlar) yoki noorganik elementlardan iborat.

Nanotizimlar o‘ z hujayra o‘ lchami tufayli faol moddalarning biofaolligini oshirishi mumkin bo‘ lgan (yoki ba’zan faol modda sifatida ham ishlashi mumkin (Badawy va Rabea, 2016) sifatida ishlashi mumkin bo‘ lgan agentlarni tashiydi, kamaytiradi va qoplaydi, bu esa yuqori kirib borish va hujayra assimilyatsiyasini osonlashtirish hamda yanada maqsadli faoliyatni ta’minlaydi. Bundan tashqari, ular maqsadli joyda faol moddalar tarqalishini nazorat qiladi va modulyatsiya qiladi (Pavoni va boshq., 2020).

Nanopestitsidlar nanomateriallarda ishlab chiqilgan pestitsidlar bo‘ lib, qishloq xo‘ jaligi sohasida qo‘ llanilishi mumkin, maxsus gibrid substratga mahkamlangan, matritsada kapsullangan yoki tashqi stimullar yoki ferment orqali triggerlar uchun funksionallashtirilgan nanokaryerlar bo‘ lsin. Nanoo‘ lchamdagi zarralar, ularning shakli va maxsus xususiyatlari bilan birga, silika, lipidlar, polimerlar, kopolimerlar, keramika, metall, uglerod va boshqa materiallarga asoslangan nanotashuvchi innovatsion formulalarda pestitsid faoliyatini o‘ rganishi mumkin deb hisoblanadi [3].

Nanopestitsid formulalari suvda eriydiganligini, bioavailability va agrokimyoviy moddalarni atrof-muhitning buzilishidan himoya qilishi, ekinlardagi patogenlar, begona o‘ tlar va hasharotlarni nazorat qilishda inqilobiy o‘ zgarish qilishi mumkin [4]. Biroq, nanomaterial xususiyatlari sitotoksiklik va genotoksiklik chegarasida ham mavjud.

Pestitsidlarning befarq va mantiqsiz qo‘ llanilishi ekotizim muvozanatiga ta’sir qiladi va har bir inson sog‘ lig‘ ini xavf ostiga qo‘ yadi. Oziq-ovqatdan pestitsid qoldiqlarini kasbiy yoki tasodifan iste’mol qilish natijasida qisqa muddatli (keskin) va uzoq muddatli salbiy ta’sirlar — bu o‘ limga olib keladi yoki nogironlikka moslashtirilgan umr yili (DALY). Bolalar pestitsidlar ta’siriga ko‘ proq moyil bo‘ lib, doimiy to‘ qima va organlarga zarar yetkazadi. Ularning birgalikda, centra va periferik neyrotoksiklik hamda qon ivish qobiliyatining yo‘ qolishiga ta’siri xavotir uchun muhim sabablardir [5]. Darhaqiqat, nanopestitsidlarning faoliyati va toksikligiga ta’sir qiluvchi ijobiy va salbiy tomonlarni batafsil baholash qishloq xo‘ jaligida allaqachon tasdiqlangan nanopartikullardan foydalanish xavfsiz va barqaror rivojlanishi uchun juda muhimdir.

Formulalarning nanopestitsidlarning atrof-muhit, ekotizimlar, fermer ishchilari, iste’molchilar va qishloq xo‘ jaligi zanjiridagi barcha ishlab chiqarish sohalarida xatti-harakatlariga ta’siri to‘ liq ma’lum emas [4]. Biroq, nanoformulalarning faol moddaning parchalanishini kamaytirish, suvda eruvchanlik muvozanatini yaxshilash va faol moddalar biologik mavjudligini oshirishdagi muhim roli ma’lum. Xususan, zararkunandalarning endemik zararlanishi, o‘ simliklarga zarar yetkazilishi va qishloq xo‘ jaligi mahsulotlari hamda oziq-ovqatlarning sifat va miqdorini kamaytirish orqali iqtisodiy yo‘ qotishlarning oldini olish [6].

XULOSA

Xulosa qilib aytganda, bionanopestitsidlar sintetik pestitsidlarning atrof-muhit va inson salomatligiga salbiy ta’sirini kamaytirishga qaratilgan istiqbolli ekologik xavfsiz vositalardan biridir. Ular biopestitsidlarning biologik faolligini nanotexnologiyalar imkoniyatlari bilan uyg‘ unlashtirib, faol moddalarning barqarorligi, bio o‘ zlashtirilishi va maqsadli ta’sirini oshirish imkonini beradi. Ayniqsa, nanoenkapsulyatsiya va nazorat qilinadigan ajralish texnologiyalari biologik faol komponentlarni ultrabinafsha nurlanish, yuqori harorat va yog‘ ingarchilik kabi noqulay omillardan himoyalashda muhim ahamiyatga ega.

Shu bilan birga, bionanopestitsidlarning ekologik va toksikologik xavfsizligi, organizmlarga ta’siri hamda uzoq muddatli ekologik oqibatlarini chuqur o‘ rganish zarur. Kelgusidagi tadqiqotlar samaradorligi yuqori, biologik parchalanadigan va atrof-muhit uchun xavfsiz nanoformulyatsiyalarni ishlab chiqishga qaratilishi lozim.

Umuman olganda, bionanopestitsidlar barqaror qishloq xo‘ jaligi va integratsiyalashgan o‘ simliklarni himoya qilish tizimining istiqbolli yo‘ nalishlaridan biri hisoblanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘ yxati

1. Badawy M. E. I., Rabea E. I. Chitosan-based edible membranes for food packaging //Bio-based Materials for Food Packaging: Green and Sustainable Advanced Packaging Materials. – Singapore : Springer Singapore, 2018. – C. 237-267.

2. De Stefano C. Attribution in international law and arbitration. – Oxford University Press, 2020.

3. Chandler D, Bailey AS, Tatchell GM, Davidson G, Greaves J, Grant WP. The development, regulation and use of biopesticides for integrated pest management. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. 2011 Jul 12;366(1573):1987-98. doi: 10.1098/rstb.2010.0390. PMID: 21624919; PMCID: PMC3130386.

4. Ayilara MS, Adeleke BS, Akinola SA, Fayose CA, Adeyemi UT, Gbadegesin LA, Omole RK, Johnson RM, Uthman QO and Babalola OO (2023) Biopesticides as a promising alternative to synthetic pesticides: A case for microbial pesticides, phytopesticides, and nanobiopesticides. Front. Microbiol. 14:1040901. doi: 10.3389/fmicb.2023.1040901.

5. Pan X. et al. Nanobiopesticides in sustainable agriculture: developments, challenges, and perspectives //Environmental Science: Nano. – 2023. – T. 10. – №. 1. – C. 41-61.

6. Abdollahdokht D. et al. Conventional agrochemicals towards nano-biopesticides: an overview on recent advances //Chemical and biological technologies in agriculture. – 2022. – T. 9. – №. 1. – C. 13.