

Uticaj insekticida na životnu sredinu i ekološki prihvatljive mere remedijacije

Impact of insecticides on the environment and environmentally acceptable remediation measures

Vitomir Čupić^{1}, Mirjana Bartula², Svetozar Krstić³, Silva Dobrić⁴, Saša Vasilev⁵*

^{1,2}Univerzitet Metropolitani, Fakultet za primenjenu ekologiju „Futura“, Beograd, Srbija / University Metropolitan, Faculty of Applied Ecology “Futura”, Belgrade, Serbia

³Akademija za hoteljerstvo, turizam i wellness, Beograd, Srbija / Academy of Hospitality, Tourism and Wellness, Belgrade, Serbia

⁴Univerzitet odbrane, Medicinski fakultet Vojnomedicinske akademije, Beograd, Srbija / University of Defense, Medical Faculty of the Military Medical Academy, Belgrade, Serbia

⁵Institut za primenu nuklearne energije (INEP), Zemun, Republika Srbija / Institute for the Application of Nuclear Energy (INEP), Zemun, Republic of Serbia

*Autor za prepisku / Corresponding author

Rad primljen / Received: 25.10.2024, Rad prihvaćen / Accepted: 07.12.2024.

Sažetak: Insekticidi (odnosno antiektoparazitici) imaju veoma značajnu ulogu u zaštiti ljudi, životinja i biljaka od brojnih insekata ili ektoparazita. Zahvaljujući primeni ovih sredstava iskorenjene su razne zarazne bolesti, olakšano je suzbijanje i lečenje ektoparazitoza kod ljudi i životinja, te je unapređena i povećana poljoprivredna proizvodnja. Iako su postignuti, (može se slobodno reći) grandiozni rezultati u suzbijanju zaraznih bolesti, nažalost još uvek postoje određeni regioni u svetu, gde neke zarazne bolesti (malaria) odnose veliki broj ljudskih života. Insekticidi su (kao što je već rečeno) značajno doprineli i povećanju poljoprivredne proizvodnje. Zbog toga se danas često može čuti mišljenje da je poljoprivredna proizvodnja postala praktično nemoguća bez primene pesticida. To je svakako uticalo da se ova sredstva danas, takoreći masovno koriste širom sveta. Upravo navedene činjenice, odnosno ovakva primena insekticida, koja je često i neracionalna, izaziva sve veću zabrinutost. Jedan od najvažnijih razloga za to, jeste svakako porast razvoja rezistencije kod insekata, a time i smanjenje efikasnosti insekticida. Pored toga, ne manji značaj ima i sve veće zagađenje životne sredine. O tome se takođe u poslednje vreme sve više priča i u našoj zemlji, pa će se u budućnosti morati voditi više računa. Ovo pre svega iz razloga, što primena insekticida (naročito ukoliko je neracionalna) može delovati štetno, ne samo na ne ciljane, odnosno korisne insekte, kao što su pčele, već i druge organizme, a posebno one u zemljištu i vodi. Ako se ovom doda i činjenica da može nastati i potencijalna kontaminacija lanca ishrane, onda su to svakako faktori koji mogu dovesti do poremećaja ravnoteže u pojedinim ekosistemima. Cilj ovog rada je bio da ukaže na moguće štete neracionalne primene insekticida, da se istakne značaj razumne primene insekticida i predlože mere za njenu primenu.

Ključne reči: pesticidi, insekticidi, antiektoparazitici, insekti, poljoprivreda, ekosistem.

¹orcid.org/0009-0001-0790-020X, e-mail: vitomir.cupic@futura.edu.rs

²orcid.org/0000-0003-0100-5260, e-mail: mirjana.bartula@futura.edu.rs

³orcid.org/0000-0001-8119-6452, e-mail: skrstic@akademijahrw.bg.ac.rs

⁴orcid.org/0000-0003-0493-8525, e-mail: silva.dobric@gmail.com

⁵orcid.org/0000-0001-7870-2713, e-mail: svasilev@inep.co.rs

Abstract: Insecticides (i.e. agents against ectoparasites) play a very important role in protecting humans, animals and plants from numerous insects or ectoparasites. Thank you to the use of these agents, various infectious diseases have been eradicated, the control and treatment of ectoparasitoses in humans and animals has been facilitated and agricultural production has been improved and increased. Although great success has been achieved in the fight against infectious diseases, there are unfortunately still certain regions of the world where some infectious diseases (malaria) claim a large number of lives. Insecticides have (as already mentioned) contributed significantly to the increase in agricultural production. As a result, one often hears the opinion today that agricultural production has become practically impossible without the use of pesticides. This has certainly influenced the fact that these products are now used on a massive scale all over the world. The facts just mentioned, that is, this kind of application of insecticides, which is often irrational, is causing increasing concern. One of the most important reasons for this is certainly the increase in the development of resistance in insects, and thus the decrease in the effectiveness of insecticides. In addition, the growing pollution of the environment is of no less importance. This has also been talked about more and more recently in our country, so more care will have to be taken in the future. This is primarily due to the fact that the application of insecticides (especially if it is irrational) can have a harmful effect, not only on non-target, that is, beneficial insects, such as bees, but also on other organisms, especially those in the soil and water. If we add to this the fact that potential contamination of the food chain can occur, then these are certainly factors that can lead to a disturbance of the balance in certain ecosystems. The aim of this paper is precisely to point out the possible harms of irrational application of insecticides, to emphasize the importance of reasonable application of insecticides and to propose measures for its application.

Key words: pesticides, insecticides, antiectoparasitics, insects, agriculture, ecosystem.

UVOD / INTRODUCTION

Danas se insekticidi najčešće koriste u poljoprivredi i komunalnoj higijeni za suzbijanje i kontrolu brojnih insekata. Osim toga, određen broj ovih sredstava je našao svoju primenu i veterinarskoj medicini, gde se koriste kao antiectoparazitici. Od svih navedenih namena, poljoprivredna proizvodnja je ipak na prvom mestu. Naime, u cilju zaštite useva i postizanja maksimalnih prinosa (pored ostalih „agro“ mera) insekticidi su postali jedan od ključnih faktora za povećanje prinosa u poljoprivrednoj proizvodnji. Drugim rečima, oni su postali neophodni za savremenu poljoprivredu, odnosno poljoprivredna proizvodnja je postala praktično nemoguća bez njihove primene. Ovo pre svega iz razloga što se pokazalo da gubici u prinosima mogu da iznose i do 45% (na godišnjem nivou), ukoliko se ne koriste insekticidi. Takođe, treba istaći da su insekticidi odigrali veliku ulogu, a i danas je imaju u preventivnoj zaštiti ljudi, od brojnih bolesti (na prvom mestu malarije) (Sharma et al., 2019; Gardarin et al., 2022).

Udeo insekticida u ukupnoj potrošnji pesticida i njihov odnos danas izgleda ovako: najviše se koriste herbicidi (47,5%), na drugom mestu su insekticidi (29,5%), a tek na trećem fungicidi (17,5%). Za kategorizaciju pesticida koristi se niz faktora (Grondona et al., 2023). Najčešći kriterijumi za klasifikaciju su: put ulaska pesticida u životnu sredinu, njihov hemijski sastav i vrsta organizma, na koje deluju. S druge strane Svetska zdravstvena organizacija (SZO) i globalno harmonizovani sistem (GHS) dali su prioritet javnom zdravlju (odnosno stepenu toksičnosti ili štetnim efektima, koje neki pesticid poseduje, odnosno izaziva) i ovaj kriterijum su stavili kao najvažniji, koji treba uzeti u obzir, kada je u

pitanju klasifikacija pesticida, a time i insekticida (Barathi et al., 2023).

Azija spada među regione s najvećom potrošnjom pesticida. Kina i Indija su dve zemlje s izuzetno velikom potrošnjom insekticida i ukupno gledano svih pesticida. Indija je posle Kine, najveći proizvođač insekticida u Aziji, a na 12. mestu u svetu je po upotrebi, tj. potrošnji insekticida (Shahid & Khan, 2022). Inače, udeo insekticida u ukupnoj potrošnji pesticida u Indiji je drugačiji od onog u drugim zemljama. Naime, u Indiji najveći broj pesticida čine insekticidi (62,2%), na drugom mestu su fungicidi (19,2%), a tek na trećem mestu su herbicidi (14,4%) i potom slede ostali pesticidi (4,2%). Ima više od 200 fabrika za proizvodnju pesticida i preko 4000 objekata za proizvodnju aktivnih supstancija, dok u Kini ima preko hiljadu fabrika za proizvodnju pesticida. Za uspešno suzbijanje insekata danas se koristi veliki broj insekticida. Prema nekim podacima u svetu je danas komercijalno dostupno nekoliko desetina hiljada hemijskih supstancija, različitih hemijskih grupa (Rajmohan et al., 2020). Već pre desetak godina bilo ih je u svetu preko 80.000 (Ansari et al., 2014).

Međutim, sve češće smo svedoci da se insekticidi prilično neracionalno koriste, te da je njihova primena dramatično porasla poslednjih godina. Ovo se odnosi pre svega na SAD, Kinu, Argentinu, Brazil, Rusiju, Kanadu, Australiju, Kolumbiju, Francusku i Indiju. Pokazalo se da ovakva primena može imati i neželjene posledice, naročito na ne ciljane organizme. Stradaju, pre svega korisni insekti, kao što su pčele, ali se neželjeni, odnosno toksični efekti mogu ispoljiti i na ekosisteme (i organizme u njima), kao što su zemljište i voda, te na divlje životinje (Ren et

al., 2023). U Južnoj Koreji, Južnoj Africi, Kanadi, Turskoj, Indiji, Tanzaniji i drugim zemljama, zabeleženi su čak smrtni ishodi akutnog trovanja insekticidima kod dece (Islam et al., 2022).

To je svakako uticalo da se donesu određeni propisi koji se odnose na registraciju, upotrebu, uvoz i izvoz insekticida. Tako je na primer (usled toksičnih efekata, ali i neurokognitivnih problema i oštećenja mozga kod dece), povučena upotreba hlorpirifosa u Evropskoj uniji, 2020. godine, a dve godine kasnije i u SAD (Raj et al., 2023).

1. ŠTETNI EFEKTI INSEKTICIDA NA ŽIVOTNU SREDINU / HARMFUL EFFECTS OF INSECTICIDES ON THE ENVIRONMENT

Usled preterane i često neracionalne potrošnje insekticida, poslednjih godina sve više se razmatra i analizira koliki je potencijal ovakve primene insekticida za kontaminaciju zemljišta, podzemnih i površinskih voda, te životne sredine. Studije su pokazale da Azija (s površinom od 1,9 miliona kvadratnih milja) i u njoj Kina (koja čini preko 50% od ove površine), predstavlja danas najveći region u svetu s najvećim rizikom od zagađenja životne sredine. Naučnici se sve više opravdano brinu da će prekomerna upotreba insekticida (ako se ovako nastavi) uskoro preokrenuti ravnotežu na vagi, u pravcu značajnijeg razaranja ekosistema, a time i oštećenja, pre svega kvaliteta vode, koja je (kao što znamo) neophodna za opstanak ljudi i životinja (Tang et al., 2021). Stoga je, u cilju zaštite svojih građana od štetnog dejstva insekticida, vlada u Kini donela strožije zakone o primeni insekticida i uspostavila preporučene standarde (Malla et al., 2023).

Inače, široka primena insekticida i drugih nerazgradivih toksičnih supstancija u poljoprivredi u poslednjih nekoliko decenija izazvala je (negde više, a negde manje) kontaminaciju podzemnih voda i zemljišta, što svakako predstavlja važnu opasnost za ekološku poljoprivredu, a time i zdravlje ljudi (Chandran et al., 2020).

2. MERE I STRATEGIJE U CILJU ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE / MEASURES AND STRATEGIES FOR ENVIRONMENTAL PROTECTION

Zbog svega navedenog, veoma je važno da se u cilju postizanja održive poljoprivredne proizvodnje, napravi strategija upravljanja primenom insekticida i drugih pesticida. U skladu s tim veoma je važno zaštititi i (usled toga) očuvati zdravlje zemljišta, te okolinu oko poljoprivrednih površina. Jedna od mera, koja se preporučuje i koja je ekološki prihvatljiva strategija za kontrolu insekata i drugih štetočina u

poljoprivredi, jeste i ona koja zagovara upotrebu insekticida na bazi mikroorganizama (Archana et al., 2022). Ovo tim pre, jer se pokazalo da korišćenje mikroorganizama u polju, deluje stimulatивно na rast biljaka, pre svega olakšavanjem rastvorljivosti fosfora (Zhu et al., 2023), ali i većom produkcijom hidrolitičkih enzima i povećanjem rastvorljivosti cinka (Kour et al., 2019). Mikroorganizmi su odgovarajući bioresursi i u redovnim, kao i abiotičkim stresnim stanjima (Kour et al., 2019), prirodnoj fiksaciji azota (Barathi i ar., 2023) i rastvorljivosti kalijuma (Kour et al., 2022). Mikroorganizmi, takođe pomažu lišću u prevazilaženju abiotičkih stresova, kao što su slani rastvori, niska temperatura i nekoliko drugih faktora, u cilju postizanja održive poljoprivredne proizvodnje (Barathi i ar., 2023). Osim toga, što mikroorganizmi povećavaju godišnji prinos, oni pomažu i u poboljšanju kvaliteta poljoprivrednih proizvoda. U poslednje vreme upotreba prirodnih proizvoda na bazi mikroorganizama za kontrolu i suzbijanje insekata, sve više privlači pažnju brojnih farmara širom sveta. Ipak, korišćenje mikroorganizama, kao insekticida još uvek izaziva određenu zabrinutost, zbog mogućeg uticaja pre svega na neciljne organizme, što naravno zahteva dalja ispitivanja i poboljšanja u ovom pogledu. Zato su biološki-zasnovane degradacije insekticida, svakako alternativno sredstvo za prevazilaženje ovih ograničenja, iako za sada još uvek predstavljaju improvizovanje u upravljanju suzbijanja štetočina u poljoprivrednom polju. U svakom slučaju, proces smanjenja zagađenja insekticidima na ekološki prihvatljiv način, odnosno dugoročnu ekološku korist predstavlja upravo biorazgradnja insekticida. Mikroorganizmi su prepoznati po svom uticaju i brojnim primenama u unapređenju dobrobiti ljudi i igraju značajnu ulogu u razgradnji insekticidnih jedinjenja. Nedavna istraživanja su pokazala da pojedinačni mikroorganizmi ili grupe mikroorganizama, izolovani sa mesta kontaminiranih insekticidima ili vode mogu razgraditi insekticide. Među njima se nalazi nekoliko sojeva bakterija i gljivica, aktinomiceta, algi i drugih mikroorganizama. Dakle, u svetu se danas vrše brojna ispitivanja u cilju smanjenja mogućeg zagađenja insekticidima, a jedan od njih je svakako i napred navedeni način razgradnje uz pomoć mikroorganizama. Radi uklanjanja i smanjenja koncentracije insekticida u životnoj sredini u svetu se danas donose i drugi planovi i strategije na globalnom nivou. A jedan od njih je i promovisanje održive poljoprivredne proizvodnje, bez primene sintetičkih insekticida (Barathi et al., 2023). U tom pravcu brojna ispitivanja se vrše manipulacijom genima i molekulima kod insekata. Naime, da bi se insektima dale željene karakteristike, uvode se specifični geni u njihove genome. Sve ovo ima za cilj da se razviju ekološki prihvatljivi insekticidi (Yang et al., 2023; Barathi et al., 2024).

Takođe, ne mali značaj ima i sinteza sve većeg broja biosenzora za detekciju insekticida u životnoj sredini i njenim pojedinim ekosistemima (Aguilar-Perez et al., 2020).

3. BIOSENZORI ZA DETEKCIJU I ODREĐIVANJE KONTAMINACIJE INSEKTICIDIMA / BIOSENZORI ZA DETEKCIJU I ODREĐIVANJE KONTAMINACIJE INSEKTICIDIMA

Danas su u fokusu interesovanja i biosenzori za identifikaciju prisustva neke hemikalije, odnosno agro-zagađivača, odnosno zagađivača životne sredine. Da bi opravdali svoju primenu, oni moraju ispunjavati određene uslove, u pogledu osetljivosti, granica detekcije i stabilnosti. Posebno su interesantni oni koji bi se koristili na udaljenim lokacijama (Aguilar-Perez et al., 2020).

Dakle, direktno otkrivanje zagađivača, kao što su teški metali, pesticidi i toksini iz otpadnih voda, te praćenje stanja vode i zemljišta, danas predstavljaju značajan izazov u oblasti životne sredine i analitičke hemije. Trenutne tehnike primenjene za analizu u realnom vremenu i praćenje kontaminiranih uzoraka su ograničene, zbog nedostatka opreme s niskim granicama detekcije i skupe laboratorijske opreme. S tim u vezi, različite istraživačke grupe su poslednjih godina ulagale napore u razvoj senzorskih tehnologija. Ustvari, potrebni su isplativi, kompaktni i ekološki prihvatljivi senzori. Pokazalo se da nanotehnologija obezbeđuje vodeće biosenzore, koristeći nove tehnike nanoprodukcije i zelene sinteze. Nano biosenzori, koji se koriste za detekciju zagađivača pokazuju ultra-osetljivost i brzo vreme detekcije u realnom vremenu. Pored toga, granice detekcije zagađivača na nanomolarnom do pikomolarnom nivou su već objavljene u literaturi (Perez et al., 2020).

Kao što je već rečeno, poslednjih godina se (naročito u nekim delovima sveta) kvalitet vode i poljoprivrednih zemljišta značajno pogoršao, zbog kontaminacije izazvane jedinstvenim antropogenog porekla (Guerra et al., 2018). Iz ovih razloga, upotreba nanomaterijala (npr. metalne nanočestice, polimeri, nanokompoziti, ugljene nanocevi itd.) je pokazala prednosti u dijagnozi kontaminacije, tj. otkrivanju i praćenju kontaminacije otpadnih voda (Aguilar-Perez et al., 2020). Nanomaterijali imaju prosečnu veličinu od 1 do 100 nm i odlikuju se svojim jedinstvenim strukturama i svojstvima (mehanička, optička i električna) s obzirom na njihov veliki odnos između površine i zapremine (Rasheed et al., 2020). Upotreba bio-elemenata u kombinaciji sa zelenom komponentom nanomaterijala omogućava proizvodnju nano-bio-senzora za praćenje monitoringa životne sredine. Izvanredne karakteristike nano-bio-

senzora u poređenju s tradicionalnim metodologijama čine ih veoma osetljivim i isplativim instrumentima za praćenje životne sredine i detekciju zagađivača. Oni su široko klasifikovani u dve kategorije, to jest, na bio-receptore i pretvarače. Bio-receptori se kao biosenzori dalje kategorišu u enzime, proteine, antitela, bakterije i DNK. Na osnovu transdukcionih metoda, biosenzori se kategorišu u elektrohemijske, optičke, kalorimetrijske i biosenzore zasnovane na masi (Hernandez-Vargas et al., 2018).

4. ZELENA SINTEZA NANO-BIO-MATERIJALA / GREEN SYNTHESIS OF NANO-BIO-MATERIALS

Nanomaterijali se mogu sintetizovati različitim hemijskim, fizičkim, biološkim i hibridnim tehnikama. Međutim, biološkim metodama, proizvodni procesi olakšavaju upotrebu biljnih ekstrakata, mikroorganizama (npr. bakterija i gljivica), algi, enzima, biomolekula i industrijskog ili poljoprivrednog otpada. Kombinacija svojstava nanomaterijala s biomolekulima rezultiraju sinergističkim efektom, koji je pomogao za postizanje, odnosno dobijanje kompetentnih nano-bio-senzora (Cardoso, 2022; Gall, 2021).

5. SINTEZA NANO-BIO-MATERIJALA KORIŠĆENJEM BILJAKA / SYNTHESIS OF NANO-BIO-MATERIALS USING PLANTS

Alkaloidi, proteini, ugljeni hidrati i fenolna jedinjenja su najčešći sekundarni metaboliti koji se koriste za dijagnozu kontaminacije životne sredine. Važno je napomenuti da je sinteza nano-bio-materijala zasnovana na ovim metabolitima sačinjena od mešavine metalnog prekursora (tj. zlata (Au) i srebra (Ag) s nekim biljnim ekstraktom). Formiranje nanočestica je otkriveno promenom obojenosti rastvora usled procesa nukleacije metalnih atoma (promena oksidacionog stanja u nulto valentno stanje) (Akhtar et al., 2013). Utvrđeno je da od oblika nanočestica zavisi sposobnost ekstrakta da stabilizuje nanočesticu (Shah, et al., 2015).

6. SINTEZA NANO-BIO-MATERIJALA KORIŠĆENJEM MIKROORGANIZAMA / SYNTHESIS OF NANO-BIO-MATERIALS USING MICROORGANISMS

Biološka sinteza nanočestica putem mikroorganizama sastoji se od uzimanja ciljnih jona iz svog okruženja pomoću mikroorganizama i pretvarajući ih u metalne jone preko biomolekula kao što su enzimi, šećeri i proteini koje luče (Prabhu & Poulouse, 2012). U zavisnosti od lokacije sinteze nanočestica, ona se može klasifikovati kao intracelularna i ekstracelularna sinteza (Arun et al., 2013; Selvakumar et al., 2011). Veličina i morfologija nano čestice zavise od mikroorganizma i faktora kao što su pH ili temperatura.

7. SINTEZA NANO-BIO-MATERIJALA KORIŠĆENJEM BIOMOLEKULA / SINTEZA NANO-BIO-MATERIJALA KORIŠĆENJEM BIOMOLEKULA

Generalno, glavni biomolekuli koji se koriste u sintezi nano čestica su mali molekuli kao što su ugljeni hidrati (npr. glukoza i galaktoza), aminokiseline i kratki peptidi, koji se koriste kao reduktori, što omogućava specifičnu detekciju mete ili cilja (Tan et al., 2010; Kunoh et al., 2018; Care et al., 2015; Jia, 2019). Ovaj proces zavisi od sposobnosti biomolekula da aktiviraju razvoj nanočestica (Saha et al., 2010; Care et al., 2015). Postoji nekoliko studija koji govore i o upotrebi monosaharida (β -D-glukoze) i polisaharida (rastvorljivi skrob) za sintezu srebra (Ag) i zlata (Au) nanočestica (Yang et al., 2019).

ZAKLJUČAK / CONCLUSION

Da bi se obezbedila zaštita useva i optimalni prinosi, primena insekticida je danas takoreći neophodna za savremenu poljoprivredu. Međutim, njihova prekomerna upotreba sve više izaziva zabrinutost, kako zbog mogućeg štetnog uticaja, na same poljoprivredne kulture, tako i na životnu sredinu, odnosno neciljne organizme, uključujući ljude i domaće životinje. Osim toga, pokazalo da prekomerna primena insekticida neminovno dovodi i do razvoja rezistencije kod insekata, što opet iziskuje povećanje potrošnje ovih hemikalija. Zato se danas širom sveta predlažu brojne mere i strategije za smanjenje upotrebe ovih sredstava. Pored stalne i kontinuirane edukacije farmera, iznalaze se rešenja za održivu primenu insekticida, odnosno (gde je to moguće) traže se zamene za njihovu primenu. Isto tako, u tom pravcu se razvijaju i metode za utvrđivanje kontaminacije ekosistema, pre svega zemljišta i vode, uz pomoć nano-bio-materijala, koji služe kao senzori.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Aguilar-Perez, K.M., Aviles-Castrillo, J.I., Ruiz-Pulido, G. (2020). Nano-sorbent materials for pharmaceutical-based wastewater effluents - An overview, *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 2, 100028.
- [2] Aguilar-Perez, K.M., Heya, M.S., Parra-Saldívar, R., Iqbal, H.M.N. (2020). Nano-biomaterials in focus as sensing/detection cues for environmental pollutants, *Case Studies in Chem. Environ. Eng.*, 2, 100055.
- [3] Akhtar, M.S., Panwar, J., Yun, Y.S. (2013). Biogenic synthesis of metallic nanoparticles by plant extracts, *ACS Sustain. Chem. Eng.* 1(6), 591-602.
- [4] Ansari, M.S., Moraiet, M.A., Ahmad, S. (2014). Insecticides: Impact on the Environment and Human Health. In: A. Malik, E. Grohmann, R. Akhtar (eds.), *Environmental Deterioration and Human Health*, Springer Netherlands, pp. 99-123.
- [5] Archana, H.R., Darshan, K., Amrutha Lakshmi, M., Thungri Ghoshal et al. (2022). Biopesticides: A key player in agro-environmental sustainability. In book: *Trends of Applied Microbiology for Sustainable Economy*, pp. 613-653.
- [6] Arun, P., Shanmugaraju, V., Ramanujam, J.R., Prabhu, S.S., Kumaran, E. (2013). Biosynthesis of silver nanoparticles from *Corynebacterium* sp. and its antimicrobial activity, *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 2(3), 57-64.
- [7] Barathi, S., Sabapathi, N., Kandasamy, S., Lee, J. (2023). Present status of insecticide impacts and eco-friendly approaches for remediation - a review. *Environmental Research*, 240(1), 117432.
- [8] Cardoso, R.M. et al. (2022). Current progress in plant pathogen detection enabled by nanomaterials-based (bio)sensors. *Sensors and Actuators Reports*. 4, 100068.
- [9] Care, A., Bergquist, P.L., Sunna, A. (2015). Solid-binding peptides: smart tools for nanobiotechnology, *Trends Biotechnol.* 33(5), 259-268.
- [10] Gall, J.L. et al. (2021). Algae-functionalized hydrogel-gated organic field-effect transistor. Application to the detection of herbicides. *Electrochim. Acta*, 372, 137881.
- [11] Gardarin, A., Celette, F., Naudin, C., Piva, G., Valantin-Morison, M., Vriignon-Brenas, S., Verret, V., Médièn, S. (2022). Intercropping with service crops provides multiple services in temperate arable systems: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 42, 39.
- [12] Grondona, S.I., Lima, M.L., Massone, H.E., Miglioranza, K.S.B. (2023). Pesticides in Aquifers from Latin America and the Caribbean. *Science of Total Env.*, 901, 165992.
- [13] Guerra, F.D., Attia, M.F., Whitehead, D.C., Alexis, F. (2018). Nanotechnology for environmental remediation: materials and applications, *Molecules*, 23(7), 1760.
- [14] Hernandez-Vargas, G., Sosa-Hernandez, J.E., Saldarriaga-Hernandez, S., Villalba-Rodríguez, A.M., Parra-Saldívar, R., Iqbal, H.M.N. (2018). Electrochemical biosensors: a solution to pollution detection with reference to environmental contaminants, *Biosensors*, 8(2), 29.
- [15] Islam, Md.A., Amin, S.M.N., Rahman, M.A., Juraimi, A.S. (2022). chronic effects of organic pesticides on the aquatic environment and human health: A review. *Environmental Nanotechnology Monitoring & Management*. 18(1-3), 100740.

- [16] Jia, Y., Yan, X., Guo, X., Zhou, G., Liu, P., Li, Z. (2019). One step preparation of peptide-coated gold nanoparticles with tunable size, *Materials*, 12(13), 2107.
- [17] Kour, D., Rana, K.L., et al. (2019). Rhizospheric Microbiomes: Biodiversity, Mechanisms of Plant Growth Promotion, and Biotechnological Applications for Sustainable Agriculture. In book: *Plant Growth Promoting Rhizobacteria for Agricultural Sustainability*, pp. 19-65.
- [18] Kour, H., Kour, D., Kour, S., Singh, S., Hashmi, S.A.J., Yadav, A.N., Kumar, K., Sharma, Y.P., Ahluwalia, A.S. (2018). Bioactive compounds from mushrooms: Emerging bioresources of food and nutraceuticals, *Food Bioscience*, 50(B), 102124.
- [19] Kunoh, T. et al. (2018). Green synthesis of gold nanoparticles coupled with nucleic acid oxidation, *ACS Sustain. Chem. Eng.* 6(1), 364-373.
- [20] Malla, M.A. et al. (2023). Optimization and elucidation of organophosphorus and pyrethroid degradation pathways by a novel bacterial consortium C3 using RSM and GC-MS-based metabolomics. *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, 144, 104744.
- [21] Prabhu, S., Poulouse, E.K. (2012). Silver nanoparticles: mechanism of antimicrobial action, synthesis, medical applications, and toxicity effects, *Int. Nano Lett.*, 2, 32.
- [22] Rajmohan, K.S., Chandrasekaran, R., Varjani, S. (2020). Review on Occurrence of Pesticides in Environment and Current Technologies for Their Remediation and Management. *Indian J. Microbiol.*, 60(2), 125-138.
- [23] Rasheed, T., Hassan, A.A., Kausar, F., Sher, F., Bilal, M., Iqbal H.M.N., (2020). Carbon nanotubes assisted analytical detection - Sensing/delivery cues for environmental and biomedical monitoring, *Trends Anal. Chem.* 132, 116066.
- [24] Ren, H., Wu, J., Lin, T., Yao, Y., Liu, C. (2023). Research on an Intelligent Agricultural Machinery Unmanned Driving System. *Agriculture*, 13(10), 1907.
- [25] Saha, S., Pal, A., Kundu, S., Basu, S., Pal, T. (2010). Photochemical green synthesis of calcium-alginate-stabilized Ag and Au nanoparticles and their catalytic application to 4-nitrophenol reduction, *Langmuir*, 26(4), 2885-2893.
- [26] Selvakumar R., et al., (2011). As(V) removal using carbonized yeast cells containing silver nanoparticles, *Water Res.*, 45(2), 583-592.
- [27] Shah, M., Fawcett, D., Sharma, S., Tripathy, S.K., Poinern, G.E.J. (2015). Green synthesis of metallic nanoparticles via biological entities, *Materials*, 8(11), 7278-7308.
- [28] Shahid, M., Khan, M.S. (2022). Ecotoxicological implications of residual pesticides to beneficial soil bacteria: A review, *Pestic. Biochem. Physiol.*, 188, 105272.
- [29] Sharma, A., Kumar, V., Shahzad, B., Tanveer, M., Sidhu, G.P.S, Handa, N., et al. (2019). Worldwide pesticide usage and its impacts on ecosystem, *SN Appl. Sci.*, 1, 1446.
- [30] Tan, Y.N., Lee, J.Y., Wang, D.I.C. (2010). Uncovering the design rules for peptide synthesis of metal nanoparticles, *J. Am. Chem. Soc.*, 132 (16), 5677-5686.
- [31] Tang, J., Wang, W., Jiang, Y., & Chu, W. (2021). Diazinon exposure produces histological damage, oxidative stress, immune disorders and gut microbiota dysbiosis in crucian carp (*Carassius auratus gibelio*), *Environmental Pollution*, 269, 116129.
- [32] Yang, S.H., Shin, Y., Choi, H. (2023). Simultaneous analytical method for 296 pesticide multiresidues in root and rhizome based herbal medicines with GC-MS/MS, *PLoS One*, 18(7), e0288198.
- [33] Zhu, Y.G., Zhu, D., Rillig, M.C., Yang, Y., Chu, H., Chen, Q.-L., Penuelas, J., Cui, H.-L., & Gillings, M. (2023). Ecosystem Microbiome Science, *mLife*, 2(1), 2-10.