

**Marko VINCEKOVIĆ¹, Slaven JURIĆ¹, Doris IVANOVSKI¹, Helena VIRIĆ
GAŠPARIĆ², Kristina VLAHOVIČEK-KAHLINA¹, Darija LEMIĆ²**

¹Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, Zavod za kemiju

²Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, Zavod za poljoprivrednu zoologiju
mvincekovic@agr.hr

POTENCIJAL PRIMJENE INKAPSULIRANOG ULJA NEEM-A U ZAŠTITI BILJA

SAŽETAK

Glavni je izazov poljoprivrede u godinama koje dolaze povećanje proizvodnje hrane kako bi se zadovoljile potrebe rastućeg svjetskog stanovništva, bez štetnih utjecaja na okoliš te bez utjecaja na klimu. Za zaštitu poljoprivrednih kultura od štetnih organizama najviše se koriste sintetske kemikalije koje su uglavnom vrlo toksične, ugrožavaju zdravlje ljudi i životinja i onečišćuju okoliš, te uzrokuju razvoj rezistentnosti štetnih organizama. Botanički pesticidi alternativa su sintetskim pesticidima jer omogućuju sigurnije suzbijanje štetnih organizama, a istodobno su sigurniji za osobe koje ih primjenjuju. Eventualni su nedostaci botaničkih pesticida kratak rok trajanja, fotoosjetljivost i hlapljivost koja otežava njihovu uporabu u zaštiti poljoprivrednih kultura. Tehnologija inkapsulacije omogućuje osjetljivim tvarima poput različitih uljnih komponenata (ulje neema) fizičko obavijanje zaštitnim materijalom. Aktivni sastojci uljnih komponenata tako su zaštićeni od nepovoljnih vremenskih utjecaja, gubitaka isparavanjem i neželjenih međudjelovanja. S obzirom na važnost ulja neema i njegove uporabe za suzbijanje brojnih štetnih organizama na različitim usjevima, inkapsulacija tog ulja omogućila bi stabilniju formulaciju za suzbijanje štetnih organizama. U ovom radu opisana je pesticidna učinkovitost ulja neema te je prikazan potencijal inkapsuliranih formulacija i njihova primjena u zaštiti bilja.

Cljučne riječi: inkapsulacija, mikročestice, suzbijanje, učinkovitost, ulje neema

UVOD

Održiva proizvodnja hrane za brzo rastuću ljudsku populaciju jedan je od glavnih izazova s kojim se globalno suočava poljoprivredni sektor (Godfray i Garnett, 2014.). Posljednjih nekoliko desetljeća uporaba sintetskih, konvencionalnih insekticida u suzbijanju štetnih organizama bila je standardna praksa. Međutim, zbog povećana razvoja rezistentnosti štetnika na sintetičke insekticide i strože zakonodavstvo u pogledu očuvanja okoliša, zanimanje za prirodne insekticide u svijetu sve više raste (Kolak i sur., 1999.). Mnogi znanstvenici proučavaju potencijalnu pesticidnu aktivnost raznih biljnih izolata.

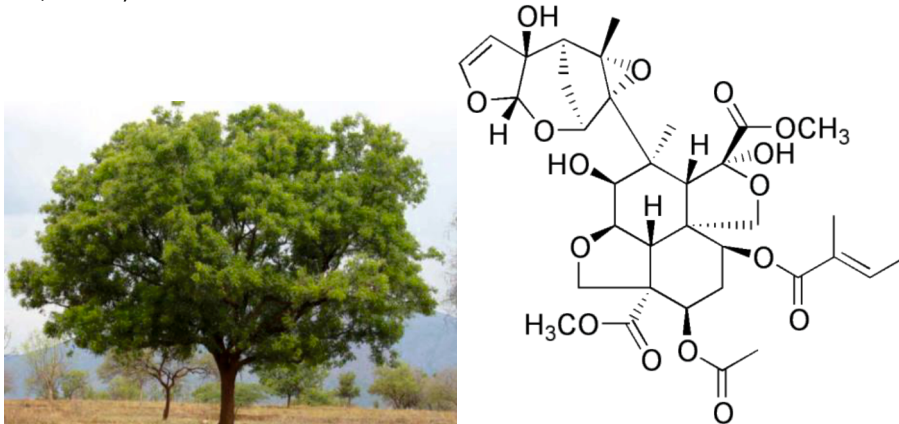
Botanički insekticidi pokazali su se ekološki prihvatljivijima, bez rezidua, biorazgradivima te isplativijima od sintetičkih insekticida. Imaju insekticidno i repelentno djelovanje na mnogobrojne vrste kukaca, ali i toksično djelovanje na grinje, nematode, puževe i brojne druge štetne organizme u poljoprivredi. *Azadirachta indica*, A. Juss, odnosno stablo naziva neem, proizvodi sjeme koje se koristi za dobivanje neemova ulja (NSO). Ulje neema pokazalo je mnogobrojne prednosti nad sintetičkim pesticidima i smatra se jednim od boljih botaničkih pesticida. Procijenjeno je da se više od 90 % primijenjenih pesticida gubi u zraku tijekom same faze primjene zbog zanošenja vjetrom (drift), zatim zbog otjecanja i ispiranja (Ghormade i sur., 2011.). Zbog toga je nužan razvoj novih, sigurnijih za okoliš i učinkovitijih formulacija pesticida.

Metoda inkapsulacije najbolji je način pretvorbe ulja u čvrst oblik jer istodobno štiti ulje neema od okolišnih uvjeta i time osigurava dug rok trajanja formulacije. Mnoga su istraživanja pokazala da se inkapsulacijom može povećati učinkovitost aktivne tvari i smanjiti toksičnost za okoliš i ljude. Smanjuju se i gubitci zbog isparavanja i ispiranja te se time smanjuje i broj primjena. S obzirom na važnost ulja neema i njegove uporabe za suzbijanje brojnih štetnih organizama na različitim usjevima, inkapsulacija ovog ulja omogućila bi stabilniju formulaciju za suzbijanje štetnih organizama. Ubrzan razvoj kemijske tehnologije i biotehnologije ubrzat će, pojeftiniti i standardizirati biljne pesticide i nove formulacije te time omogućiti njihov značajniji udio na tržištu.

Neem (*Azadirachta indica*, A. Juss)

Stablo neema (slika 1), poznato pod nazivom indijski jorgovan, podrijetlom je iz jugoistočne Azije i Indije, no danas je rasprostranjeno i u Australiji, Africi te Sjevernoj i Južnoj Americi. Neem je brzorastuće ukrasno stablo koje pripada porodici Meliaceae te se danas diljem svijeta cijeni kao važan izvor fitokemikalija za uporabu u zdravlju ljudi i suzbijanju štetnih organizama u poljoprivredi. Stablo je male do srednje veličine, sa širokim i raširenim granama. Može podnijeti visoke temperature, kao i slabo ili degradirano tlo. Mladi listovi crvenkaste su do ljubičaste boje, a zreli su listovi svijetlozeleni, sastoje se od peteljke, plojke i osnove koja pričvršćuje list na stabljiku i mogu nositi dvije male bočne lisne strukture slične pršljenovima (Campos i sur., 2016.). Ulje neema sadrži najmanje 100 biološki aktivnih spojeva. Među njima su glavni sastojci triterpeni poznati kao limonoidi, od kojih je najvažniji azadiraktin (slika 2) koji čini 90 % cidnog učinka na mnogobrojne štetne organizme (Campos i sur., 2016.). Azadiraktin je aktivni sastojak mnogih trenutačno dostupnih pesticida. Tvari s pesticidnim svojstvima nalaze se u kori, listovima, cvjetovima i plodovima stabla, a dobivaju se ekstrakcijom vodom, heksanom i alkoholima (Chaudhary i sur., 2017.). Međutim, najveće koncentracije tih spojeva nalaze se u sjemenu. Identificirano je 18 spojeva

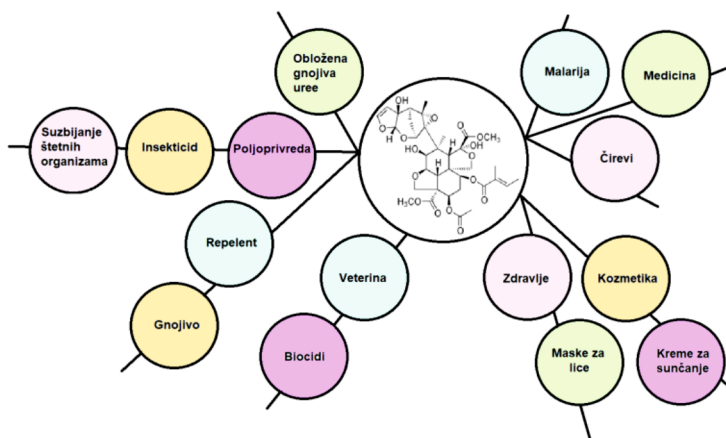
među kojima su, uz azadiraktin, najistaknutiji meliantriol, nimbin, nimbidin, nimbinin, masne kiseline (oleinska, stearinska i palmitinska) i salannin (Campos i sur., 2016.).



Slika 1. Stablo neema (*Azadirachta indica*) (Izvor: Nature Neem, 2021.), **Slika 2.** Strukturna formula azadiraktina (Izvor: Campos i sur., 2016.)

Povijest uporabe neema

Neem je tijekom povijesti imao široku primjenu (slika 3). Koristio se stoljećima u narodnoj medicini kao lijek protiv malarije, čireva, kardiovaskularnih bolesti, kožnih i drugih bolesti. Neem je sastavnica ajurvedske medicine, a unatoč ograničenim kliničkim ispitivanjima, njegova se uporaba značajno proširila. Osim u medicinskoj primjeni razvilo se zanimanje za primjenu neema u kozmetici i higijeni, pa se tako može pronaći u proizvodima kao što su maske za lice, losioni, kreme za sunčanje, sapuni i paste za zube (Campos i sur., 2016.).



Slika 2. Primjena neema, prilagođeno prema Trisence Organic (2019.)

Mehanizam i spektar djelovanja

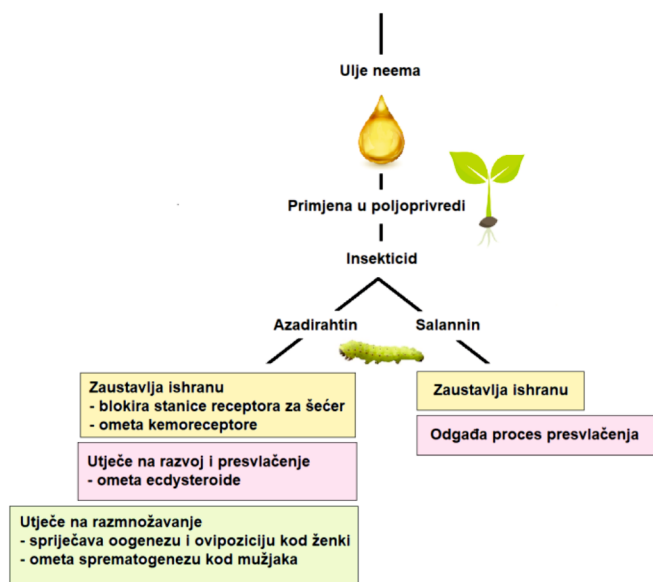
Azadiraktin izoliran iz neema djeluje insekticidno ili repelentno na gusjenice leptira, lisne uši, kornjaše, cvrčke, stjenice, štitaste uši, tripse, lisne buhe, štitaste moljce i grinje. Po načinu djelovanja ubraja se u regulatore rasta i razvoja. Njegovo insekticidno djelovanje ogleda se u blokiranju djelovanja hormona ekdisona, odnosno smanjuje se razina tog hormona te se tako narušava proces presvlačenja kukaca i onemogućava razvoj mlađih razvojnih stadija u odrasli stadij (slika 4) (Pundt, 2000.). Nakon tretiranja azadiraktinom ličinke postaju deformirane, ne razvijaju se u odrasli stadij i umiru. Ne djeluje insekticidno na odrasle razvojne stadije, ali kod njih onemogućava ovipoziciju, tj. kod mužjaka ometa spermatogenezu, a kod ženka može izazvati sterilnost (Pundt, 2000.). Azadiraktin također djeluje tako da ulje tvori premaz na tijelu kukca i onda zatvara otvore za disanje pa dolazi do gušenja. Malo se zna o načinu djelovanja azadiraktina kao inhibitora hranjenja, iako je moguće da stimulira stanice koje sudjeluju u inhibiciji hranjenja, izazivajući slabost i smrt tretiranih organizama (Brahmachari, 2004.). Nekoliko je istraživanja utvrdilo djelovanje neemova ulja na specifične redove kukaca. Ulje je pokazalo djelovanje na kukce iz reda Lepidoptera tako da je omelo hranjenje i povećalo smrtnost gusjenica. Nadalje, kod reda Hemiptera utvrđena je rana smrt nimfalnog stadija zbog inhibicije razvoja i nedostatka hormona ekdisona, a kod kukaca iz reda Hymenoptera bio je ometan unos hrane, razvoj ličnaka i njihovo presvlačenje (Campos i sur., 2016.). Neemovo ulje ima i cidno djelovanje na crvenog voćnog pauka. Nakon primjene ulja neema zabilježeno je 87 % smrtnosti grinja (Becker, 1994.). Osim azadiraktina, meliantriol i salannin također ometaju hranjenje i rast kukaca, a nimbin i nimbidin imaju antivirusan učinak (Campos i sur., 2016.). Utvrđeno je da ulje neema inhibira ili smanjuje prijenos Tungro virusa i virusa mozaika duhana (TMV) (Vijayalakshmi i sur., 1995.). Neemovo ulje također može spriječiti klijanje i prodiranje spora gljiva. Utvrđeno je da je tretman uljem učinkovit u suzbijanju pepelnice na hortenzijama i jorgovanu (Pundt, 2000.).

Prednosti i nedostaci primjene azadiraktina

Azadiraktin nije perzistentan u okolišu jer se brzo razgrađuje u vodi, na svjetlu i oborinama te je dosta nepokretan u tlu. S obzirom na to da se brzo razgrađuje, manje je štetan za neciljane korisne organizme, kao što su pčele i prirodni neprijatelji, u usporedbi s nekim pesticidima. Kao što je prethodno spomenuto, azadiraktin ima više različitih mehanizama djelovanja. U odnosu na pesticide s jednim mehanizmom djelovanja, manje je vjerojatno da će kukci ili patogeni razviti otpornost na azadiraktin (Campos i sur., 2016.). Proizvodi na bazi azadiraktina sukladni su s integriranom zaštitom bilja. Azadiraktin je kompatibilan s pripravcima na bazi *Bacillus thuringiensis*, Berliner (Pundt, 2000.). Azadiraktin nije opasan i otrovan za ribe ako se primjenjuje prema

uputama. Nisko je toksičan za sisavce. Nije zabilježena akumulacija u organizmu. Znanstvena istraživanja pokazala su da je azadiraktin siguran za radnike prilikom rukovanja te se može koristiti tijekom cijelog ciklusa proizvodnje određene kulture (Boeke i sur., 2004.). Botanički pesticidi, poput azadiraktina, imaju ograničenu postojanost u okolišu. Temperatura, ultraljubičasto zračenje, količina oborina i ostali čimbenici okoliša mogu utjecati na bržu razgradnju. Da bi se postigao željeni rezultat, često je potrebno ponoviti primjenu. Budući da je regulator rasta i razvoja kukaca, učinkovit je na mlađe razvojne stadije kukaca. Moguća je pojava fitotoksičnosti ako se koriste određene formulacije proizvoda na bazi neema na posebno osjetljivim biljkama (Pundt, 2000.).

Kako bi se izbjegli navedeni nedostaci i ograničenja, u novije vrijeme koristi se nanotehnologija. Mnoga su istraživanja pokazala da inkapsulacija agrokemikalija može povećati učinkovitost djelatne tvari, smanjiti toksičnost za ljude i okoliš te smanjiti gubitke uslijed isparavanja, otjecanja i ispiranja pesticida (Campos i sur., 2016.). Primjenom inkapsuliranog ulja neema ne dolazi do prijevremene razgradnje zbog nepovoljnih ekoloških uvjeta, što rezultira duljim djelovanjem ulja na ciljani organizam. Tako se ostvaruje kontrolirano otpuštanje aktivne tvari, a šteta je za okoliš minimalna jer se koriste biorazgradivi polimeri. Primjenom takve tehnologije smanjuje se potreba za češćom primjenom insekticida. Inkapsulacija ovog ulja trebala bi omogućiti proizvodnju stabilnijih formulacija za suzbijanje štetnika.



Slika 4. Mehanizam djelovanja azadiraktina i salannina, prilagođeno prema Chaudhary i sur. (2017.)

Inkapsulacija

Inkapsulacija se može definirati kao tehnologija „pakiranja“ krutih, tekućih ili plinovitih aktivnih tvari u polimerne omotače. Tako se tvore male čestice koje se nazivaju mikrokapsulama ili nanokapsulama (Gharsallaoui i sur., 2012.). Inkapsulacija ima brojne primjene na područjima farmaceutske, poljoprivredne, medicinske i prehrambene industrije, a naširoko se koristi u kapsuliranju esencijalnih ulja, boja, aroma, zaslađivača, mikroorganizama (Teixeira da Silva i sur., 2014.).

Inkapsulacija omogućava osjetljivim aktivnim tvarima da se fizički omotaju polimernim materijalom kako bi se zaštitile od nepovoljnih ekoloških uvjeta (Bedek, 2018.), odnosno polimer djeluje kao zaštitni film, a materijal jezgre postupno se otpušta kroz stijenke kapsule (Bakry i sur., 2015.). Kapsule se (slika 5) obično sastoje od osnovnog materijala (jezgre), koji se naziva unutarnjom fazom ili ispunom i od omotača, ili membrane, koji određuje stabilnost mikročestica, učinkovitost procesa i stupanj zaštite jezgre. Omotači koji se obično koriste za mikroinkapsulaciju ulja uključuju sintetičke polimere i prirodne biomaterijale (obično ugljikohidrate i proteine) (Bakry i sur., 2015.).



Slika 5. Sastav mikrokapsule, prilagođeno prema Bakry i sur. (2015.)

Općenito, veličina i oblik formirane mikrokapsule ovisi o materijalima omotača i metodama koje se koriste za njihovu pripremu. Najčešće korištene metode inkapsulacije uključuju: fizikalne metode (sušenje raspršivanjem, centrifugalna ekstruzija, sferizacija ekstruzijom, procesi koji koriste superkritične fluide), fizikalno-kemijske metode (ionsko geliranje, hlađenje raspršivanjem, ekstrakcija otapala isparavanjem, jednostavna i kompleksna koacervacija) i kemijske metode (granična polimerizacija, umrežavanje, *in situ* polimerizacija itd.) (Teixeira da Silva i sur., 2014.; Vinceković i sur., 2017.; Bedek, 2018.). *In situ* polimerizacija jedna je od najjednostavnijih i najčešće korištenih metoda mikroinkapsuliranja (Milošević i sur., 2017.). Izbor metode inkapsulacije ovisi o vrsti i veličini aktivnih sastojaka, primjeni mikročestica, fizičkim i kemijskim svojstvima jezgre i membrane, mehanizmu oslobađanja aktivnih sastojaka, uvjetima okoline te troškovima (Bedek, 2018.). Pravilan

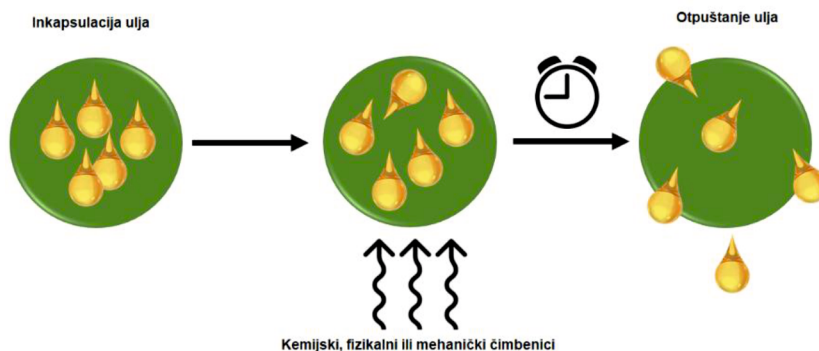
.....

odabir materijala za mikročestice vrlo je važan jer utječe na učinkovitost i stabilnost inkapsulacije. Idealan materijal za omotač mikrokapsule ne bi trebao reagirati s jezgrenim materijalom, trebao bi imati sposobnost brtvljenja i održavanja jezgre unutar kapsule; sposobnost pružanja maksimalne zaštite jezgri od nepovoljnih uvjeta; nedostatak neugodnog okusa ako se primjenjuje u prehrambenoj industriji (Teixeira da Silva i sur., 2014.). Većina membranskih materijala nema sva željena svojstva. Uobičajena praksa uključuje miješanje dvaju ili više materijala. Takvi se materijali mogu odabrati iz velikog broja prirodnih i sintetskih polimera, kao što su: a) ugljikohidrati: škrob, modificirani škrob, dekstrini, saharoza, celuloza i kitozan; b) gume: arapska guma, alginat i karagenan; c) lipidi: vosak, parafin, monogliceridi i digliceridi, hidrogenirana ulja i masti; d) anorganski materijali: kalcijev sulfat i silikati; e) proteini: gluten, kazein, želatina i albumini (Teixeira da Silva i sur., 2014.).

Kapsule se mogu klasificirati prema veličini na: makrokapsule (>5.000 μm), mikrokapsule (0.2 do 5.000 μm) i nanokapsule (<0.2 μm) (Teixeira da Silva i sur., 2014.). Također se mogu podijeliti s obzirom na oblik i konstrukciju na kapsule pravilnog ili nepravilnog oblika te na mikrokapsule i mikrosfere. Mikrokapsule su čestice koje se sastoje od unutrašnje jezgre, u osnovi centralne, koja sadrži aktivnu tvar koja je prekrivena polimernim slojem koji čini omotač kapsule. Mikrokapsule se dijele na mononuklearne i polinuklearne mikrokapsule, a mogu se razlikovati po tome je li jezgra podijeljena (Teixeira da Silva i sur., 2014.). Suprotno tome, mikrosfere su matrični sustavi u kojima je jezgra ravnomjerno disperzirana i/ili otopljena u polimernoj mreži. Mikrosfere mogu biti homogene ili heterogene, ovisno o tome je li jezgra u molekularnom stanju (otopljena) ili u obliku čestica (Teixeira da Silva i sur., 2014.). Kapsule također mogu imati više omotača te se mogu formirati skupine kapsula (Bakry i sur., 2015.).

Kontrolirano otpuštanje (slika 6) definirano je kao metoda kojom su jedna ili više aktivnih tvari dostupne na željenu mjestu i duže vremensko razdoblje pri određenoj brzini (Bakry i sur., 2015.). Tako se može omogućiti da jedna doza s kontroliranim oslobađanjem zamijeni više doza nekapsuliranih pesticida te se tako umanjuju toksične nuspojave tih pesticida sprječavanjem visokih početnih koncentracija u mediju. Glavni čimbenici koji utječu na brzinu otpuštanja odnose se na interakcije između membrane i jezgre. Uz to, na oslobađanje utječu i drugi čimbenici, kao što su hlapljivost jezgre, omjer između jezgre i membrane kapsule, veličina kapsula i stupanj viskoznosti omotača (Teixeira da Silva i sur., 2014.). Glavne mehanizme koji sudjeluju u otpuštanju čine difuzija, razgradnja, uporaba otapala, pH, temperatura i tlak (Teixeira da Silva i sur., 2014.). Unatoč mogućnosti kontrole svojstava i karakteristika mikrokapsula, njihova je primjena u poljoprivredi izazov zbog činjenice da su uvjeti okoliša tijekom i nakon njihove primjene drukčiji i varijabilni, što često dovodi do nerealnih količina ili neravnomjerne pokrivenosti tla (Vinceković i sur., 2017.);

Bedek, 2018.). Kod uporabe mikrokapsula u poljoprivredi važno je koristiti biorazgradive i netoksične polimere.



Slika 6. Shematski prikaz mehanizma kontroliranog otpuštanja ulja iz kapsule, prilagođeno prema Bakry i sur. (2015.)

Inkapsulacija neema i primjeri primjene

Forim i sur. (2013.) proveli su karakterizaciju nanokapsula i njihov učinak na gusjenice kupusnog moljca (*Plutella xylostella*, L.). Kapsule su obložili polimerom polikaprolakton (PCL), a bile su formulirane kao koloidna suspenzija i u obliku praha. Postignuta je učinkovitost inkapsulacije od 98 %, a najbolja formulacija pokazala je prosječnu veličinu od 245 nm. Nanočestice su poboljšale stabilnost azadiraktina u prisutnosti ultraljubičastog zračenja te su također povećale njegovu disperziju u vodenoj fazi (Forim i sur., 2013.). Biološka ispitivanja pokazala su da su nanočestice koje sadrže azadiraktin (5000 mg/kg) bile učinkovite u suzbijanju *P. xylostella*, sa 100-postotnom smrtnošću gusjenica (Forim i sur., 2013.).

Pasquoto-Stigliani i sur. (2017.) provode analizu mikrobiota tla kako bi utvrdili utjecaj formulacija na bakterije koje fiksiraju dušik i druge bakterije u tlu. Rezultati za mikrobiotu tla pokazali su da se količina progresivno smanjuje nakon primjene, a zatim povećava nakon 90 dana. Također je došlo do porasta broja bakterija koje fiksiraju dušik, što upućuje na oporavak tla nakon 300 dana. Najmanji broj bakterija koje fiksiraju dušik bio je zabilježen kod tretmana kapsulama koje sadrže samo ulje neema u roku od 90 dana nakon prve primjene. Ulje neema inhibira nitrifikaciju i tako povećava pH tla, što može negativno utjecati na te bakterije (Kumar i sur., 2007.).

Giongo i sur. (2016.) proveli su istraživanje u kojemu procjenjuju insekticidni i rezidualni učinak nanokapsula na gusjenice jesenske sovice (*Spodoptera frugiperda*, Smith). Nanoformulacije na bazi neema pripremljene su koristeći ekstrakt neemovih sjemenaka dobiven perkolacijom otapala u etanolu i/ili komercijalno neemovo ulje. Analize su pokazale da je inkapsulirani azadiraktin stabilniji na UV zračenje od neinkapsuliranog oblika. Nanoformulacije

uzrokovale su smrtnost treći dan od primjene te su uočeni subletalni učinci i sedam dana od primjene. Nanokapsule ispitivane u ovom radu pokazale su prosječnu učinkovitost od 68 %.

U literaturi se također navodi da se ekstrakt listova neema može koristiti za biosintezu srebrnih nanočestica koje imaju fungicidno djelovanje protiv gljive *Aspergillus terreus*, Thom (Chaudhary i sur., 2017.). Također, nanočestice koje sadrže ulje neema, mogu se pripremiti na bazi silike. Istraživanja su pokazala da takve formulacije imaju dobro insekticidno djelovanje na lisnog minera rajčice (*Tuta absoluta*, Meyrick) te nije utvrđena razlika u učinkovitosti insekticida imidakloprida i nanočestica neema u suzbijanju toga štetnika (El-Samahy i sur., 2014.; Chaudhary i sur., 2017.). Popis nosača nanočestica koji se koriste za kapsuliranje aktivnih komponenata neema te mogućnost njihove primjene u poljoprivredi prikazan je tablicom 1.

Tablica 1. Popis nosača nanočestica koji se koriste za kapsuliranje aktivnih komponenata neema (azadiraktin) te mogućnost njihove primjene u poljoprivredi (Chaudhary i sur., 2017.).

Table 1. List of nanocarriers used to encapsulate neem active ingredients and their potential applications in agriculture (Chaudhary i sur., 2017).

Komponenta <i>Component</i>	Djelatna tvar <i>Active ingredient</i>	Nosač <i>Carrier</i>	Veličina nanočestice <i>Nanoparticle size</i>	Mogućnost primjene u poljoprivredi <i>Application in agriculture</i>	Referenca <i>Reference</i>
Neem		Karboksimetil kitozan s ricinoleinskom kiselinom (R-CM-kitozan)	200–500 nm	Botanički pesticid	Feng i Peng, 2021.
Jezgre sjemenaka neema		Nanoemulzija	1000–5000 nm	Visoka učinkovitost na skladišnog štetnika <i>Zabrotes subfasciatus</i> , Boheman	Da Costa i sur., 2014.
Ulje neema	Azadiraktin	β-ciklodekstrin i Poli (ε-kaprolakton) PCL	PCL: 4000 nm β-ciklodekstrin: 83,2 nm	Visoka učinkovitost na stadij nimfe i jaja <i>Bemisia tabaci</i> , Gennadius	Carvalho i sur., 2012.
Jezgre sjemenaka neema – ekstrakt neema – ulje neema		Poli (ε-kaprolakton) PCL	230–245 nm	100 % učinkovitost na ličinke <i>P. xylostella</i>	Forim i sur., 2013.
Ulje neema		Nano čestice na bazi silicija	20 nm	Visoka učinkovitost na <i>T. absoluta</i>	El-Samahy i sur., 2014.

Lišće neema	Nano čestice na bazi silicija	100 nm	Nanočestice srebra obložene neemom – jaka antigljivična svojstva na <i>A. terreus</i>	Choudhury i sur., 2016.
-------------	-------------------------------	--------	---	-------------------------

ZAKLJUČAK

Jedan je od poznatijih botaničkih insekticida azadiraktin, najvažniji sastojak ekstrakta i ulja neema. Azadiraktin je ekološki prihvatljiv, bez rezidua, biorazgradiv te manje štetan za neciljane korisne organizme. No, nedostatci poput kratkog roka trajanja, fotoosjetljivosti i hlapljivost ograničavaju njegovu uporabu. Inkapsulacija je najbolji način pretvorbe ulja neema ili ekstrakta neema u čvrst oblik jer ih istodobno štiti od nepovoljnih uvjeta okoliša i tako osigurava dug rok trajanja. Time se povećava učinkovitost azadiraktina i smanjuje toksičnost za okoliš i ljude. Dosada pripravljene formulacije nanokapsula s različitim polimerima pokazale su bolju UV stabilnost nego komercijalni proizvod te se mogu učinkovito inkapsulirati u određene polimere. Provedena istraživanja insekticidnog učinka formulacija nanokapsula pokazuju da nanokapsule s neemovim uljem imaju potencijal za primjenu u suzbijanju štetnih organizama u poljoprivredi i moguća su alternativa konvencionalnim sintetičkim pesticidima.

ENCAPSULATION OF NEEM OIL AND ITS POTENTIAL FOR PEST CONTROL IN AGRICULTURE

SUMMARY

The main challenge for agriculture in the coming years is to increase food production to meet the needs of a growing world population without having a negative impact on the environment and climate. Synthetic chemicals are mostly used to protect agricultural crops from harmful organisms, but they are usually very toxic, endanger human and animal health, pollute the environment, and lead to the development of resistance in harmful organisms. Plant-based pesticides are an alternative to synthetic pesticides because they provide efficient control of pests while being safe for the people who use them. Possible disadvantages of plant-based pesticides are their short shelf life, photosensitivity and volatility, which complicates their use in protecting agricultural crops. Encapsulation technology allows sensitive substances such as various oil components (neem oil) to be physically coated with a protective material. The active ingredients of the oil components are thus protected from adverse weather conditions, segregation and undesirable interactions. Considering the importance of neem oil and its use in controlling numerous pests on various crops, encapsulation of this oil would provide a stable formula

for pest control. This paper describes the pesticidal efficacy of microparticles of encapsulated neem oil and explores the potential of formulations and applications in crop protection.

Keywords: efficacy, encapsulation, neem oil, microparticles, suppression

LITERATURA

Bakry, A. M., Abbas, S., Ali, B., Majeed, H., Abouelwafa, M. Y., Mousa, A., Liang, L. (2015.). Microencapsulation of Oils: A Comprehensive Review of Benefits, Techniques, and Applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15 (1), 143-182.

Becker, H. (1994.). Neem Oil Locks Out Spores. *Agricultural Research*, 42 (6), 20-22.

Bedek, M. (2018.). Fizikalno-kemijska karakterizacija i mehanizmi otpuštanja *Trichoderma viride* spora i kalcijevih iona iz mikrosfera kalcijevog alginata, Rektorova nagrada, Zagreb, Sveučilište u Zagrebu.

Boeke, S. J., Boersma, M. G., Alink, G. M., van Loon, J. J., van Huis, A., Dicke, M., Rietjens, I. M. (2004.). Safety evaluation of neem (*Azadirachta indica*) derived pesticides. *Journal of Ethnopharmacology*, 94 (1), 25-41.

Brahmachari, G. (2004.). Neem—an omnipotent plant: a retrospection. *Chembiochem*, 5 (4), 408-421.

Campos, E. V., de Oliveira, J. L., Pascoli, M., de Lima, R., Fraceto, L. F. (2016.). Neem Oil and Crop Protection: From Now to the Future. *Frontiers in plant science*, 7, 1494.

Carvalho, S., y Vendramim, S., y Major Pitta, J. D., y Rossi Forim, R. y Moacir (2012.). Efficiency of neem oil nanoformulations to *Bemisia tabaci* (GENN.) Biotype B (Hemiptera: Aleyrodidae). *Semina Ciências Agrárias*, 33 (1), 193-201.

Chaudhary, S., Kanwar, R. K., Sehgal, A., Cahill, D. M., Barrow, C. J., Sehgal, R., Kanwar, J. R. (2017.). Progress on *Azadirachta indica* Based Biopesticides in Replacing Synthetic Toxic Pesticides. *Frontiers in plant science*, 8, 610.

Choudhury, R., Majumder, M., Roy, D. N., Basumallick, S., Misra, T. K. (2016.). Phytotoxicity of Ag nanoparticles prepared by biogenic and chemical methods. *International Nano Letters*, 6, 153.

Da Costa, J. T., Forim, M. R., Costa, E. S., De Souza, J. R., Mondego, J. M., Junior, A. L. B. (2014.). Effects of different formulations of neem oil-based products on control *Zabrotes subfasciatus* (Boheman, 1833) (Coleoptera: Bruchidae) on beans. *Journal of Stored Products Research*, 56, 49-53.

El-Samahy, M. F., El-Ghobary, A. M., Khafagy, I. F. (2014.). Using silica nanoparticles and neem oil extract as new approaches to control *Tuta absoluta* (meyrick) in tomato under field conditions. *International Journal of Plant & Soil Science*, 3 (10), 1355-1365.

Feng, B. H., Peng, L. F. (2012.). Synthesis and characterization of carboxymethyl chitosan carrying ricinoleic functions as an emulsifier for azadirachtin. *Carbohydrate Polymers*, 88 (2), 576-582.

Forim, M. R., Costa, E. S., da Silva, M. F., Fernandes, J. B., Mondego, J. M., Boiça Junior, A. L. (2013.). Development of a new method to prepare nano-/microparticles loaded with extracts of *Azadirachta indica*, their characterization and use in controlling *Plutella xylostella*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61, 9131-9139.

Gharsallaoui, A., Roudaut G., Beney L., Chambin, O., Voilley, A., Saurel, R. (2012.). Properties of spray-dried food flavours microencapsulated with two-layered membranes: Roles of interfacial interactions and wate. *Food Chemistry*, 132 (4), 1713–1720.

Ghormade, V., Deshpande, M. V., Paknikar, K. M. (2011.). Perspectives for nano-biotechnology enabled protection and nutrition of plants. *Biotechnology Advances*, 29 (6), 792–803.

Giongo, A. M., Vendramim, J. D., Forim, M. R. (2016.). Evaluation of neem-based nanoformulations as alternative to control fall armyworm. *Ciência e Agrotecnologia*, 40 (1), 26-36.

Godfray, H. C. J., Garnett, T. (2014.). Food security and sustainable intensification. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 369, 20120273.

Kolak, I., Šatović, Z., Rukavina, H., Filipaj, B. (1999.). Dalmatinski buhač (*Tanacetum cinerariifolium* /Trevir./Sch. Bip.). *Sjemenarstvo*, 16 (5), 425-440.

Kumar, R., Devakumar, C., Sharma, V., Kakkar, G., Kumar, D., Panneerselvam, P. (2007.). Influence of Physicochemical Parameters of Neem (*Azadirachta indica* A. Juss) Oils on Nitrification Inhibition in Soil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55 (4), 1389–1393.

Milošević, R., Kašiković, N., Pavlović, Ž., Stanković, Elesini, U., Kukuruzović, D., Urbas R. (2017.). Influence Of Microcapsules' Concentration On The Physical And Surface Characteristics Of The Prints. *International Printing Technologies Symposium*, 2. International printing technologies symposium.

Nature Neem (2021.). Natural products to preserve our environment and health, dostupno na: <https://natureneem.com/en> (pristupljeno: 8. 8. 2021.)

Pasquoto-Stigliani, T., Campos, E. V. R., Oliveira, J. L., Silva, C. M. G., Bilesky-José, N., Guilger, M., Troost, J., Oliveira, H. C., Stolf-Moreira, R., Fraceto, L. F., de Lima, R. (2017.). Nanocapsules Containing Neem (*Azadirachta Indica*) Oil: Development, Characterization, And Toxicity Evaluation. *Scientific Reports*, 7, 5929.

Pundt L. (2000.). Neem Based Insecticides, *Home & Garden News*, 6, dostupno na: <http://ipm.uconn.edu/documents/raw2/Neem%20Based%20Insecticides/Neem%20Based%20Insecticides.php?display=print> (pristupljeno: 15. 7. 2021.)

Teixeira da Silva, P., Martins Fries, L. L., Ragagnin de Menezes, C., Tasch Holkem, A., Schwan, C. L., Wigmann, É. F., De Oliveira, Bastos, J., De Bona da Silva, C. (2014.). Microencapsulation: concepts, mechanisms, methods and some applications in food technology. *Ciência Rural*, 44 (7), 1304-1311.

Trisense Organics (2019.). Neem oil safe for consumers, dostupno na: <http://trisense.in/neem-oil> (pristupljeno: 8. 8. 2021.)

Vijayalakshmi, K., Radha, K. S.; Vandana, S. (1995.). *Neem, a user's manual*. Agris, Fao. Centre for Indian Knowledge Systems and Research Foundation for Science, Technology, and Natural Resource Policy, New Delhi, dostupno na: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201300306319> (pristupljeno: 15. 7. 2021.)

Vinceković, M., Jurić, S., Đermić, E., Topolovec-Pintarić, S. (2017.). Kinetics and Mechanisms of Chemical and Biological Agents Release from Biopolymeric Microcapsules. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65, 9608–9617.

Pregledni rad