



Co-funded by
the European Union



OpenEAT



Kurikulum za specijaliste u vezi sa kontaminiranim žitaricama i srodnim proizvodima *„Jedem da bih živeo ili živim da bih jeo“*

Referenca projekta: 2024-1-RO01-KA220-VET-000249064





Co-funded by
the European Union



“Podrška Evropske komisije za izradu ove publikacije ne predstavlja odobravanje njenog sadržaja, koji odražava isključivo stavove autora, te Nacionalna agencija i Komisija ne mogu snositi odgovornost za bilo kakvu upotrebu informacija sadržanih u njoj.”



OPIS KURIKULUMA

Naziv projekta: „Jedem da bih živeo ili živim da bih jeo“ (OpenEAT)

Referentni broj projekta: 1-2024-1-RO01-KA220-VET-000249064

Kurikulum je namenjen stručnjacima i specijalistima iz oblasti poljoprivrede, prehrambenih tehnologija, bezbednosti hrane i ishrane.

Profesori odgovorni za teorijski deo:

Vodeći partner (ROMPAN): Daniela Voica, Dana Avram

Partner 1 (UBARI): Pasquale Filannino, Donato Gerin, Stefania Pollastro

Partner 2 (ANSES): Petru Jitaru, Rachida Chekri, Chanthadary Inthavong, Julien Parinet

Partner 3 (ULST): Ersilia Alexa, Delia Dumbrava, Camelia Moldovan, Corina Misca, Diana Raba, Mirela Popa

Partner 4 (FINS): Aleksandra Torbica, Bojana Filipčev, Olivera Šimurina

Partner 6 (UKR): Iryna Antonik, Oleksandr Shablia, Taras Zhygailo, Nataliia Valentiuk, Natalia Volkova, Raisa Vozhehova

Profesori odgovorni za praktični deo:

Vodeći partner (ROMPAN): Daniela Voica, Dana Avram

Partner 1 (UBARI): Pasquale Filannino, Donato Gerin, Stefania Pollastro

Partner 2 (ANSES): Petru Jitaru, Julien Parinet

Partner 3 (ULST): Ersilia Alexa, Delia Dumbrava, Camelia Moldovan, Corina Misca, Diana Raba, Mirela Popa

Partner 4 (FINS): Aleksandra Torbica, Bojana Filipčev, Olivera Šimurina

Partner 6 (UKR): Iryna Antonik, Oleksandr Shablia, Taras Zhygailo, Nataliia Valentiuk, Natalia Volkova, Raisa Vozhehova

Ciljevi	<p>Kurikulum definiše kognitivne veštine i sposobnosti koje su neophodne stručnjacima i specijalistima u vezi sa merama za smanjenje kontaminacije žitarica, metodologijama za detekciju pesticida, teških metala i toksičnih azotnih jedinjenja, kao i njihovim uticajem na zdravlje.</p> <p>Kognitivne veštine se odnose na sposobnost primene naučnih koncepata iz osnovnih disciplina – hemije, biologije i opštih tehnologija – u cilju razvoja novih strategija za bezbednost hrane u kontekstu sukoba u Ukrajini.</p> <p>Kurikulum će obuhvatiti teorijske i praktične aspekte koji se odnose na mere za smanjenje kontaminacije žitarica, metodologije za detekciju pesticida, teških metala i toksičnih azotnih jedinjenja, kao i njihov uticaj na zdravlje.</p>
Kognitivne veštine	<p>Prilikom osmišljavanja kurikuluma usmerenog na mere za smanjenje kontaminacije žitarica pesticidima, azotnim jedinjenjima i teškim metalima, od suštinskog je značaja razvijati kognitivne veštine koje unapređuju rešavanje problema, kritičko razmišljanje i donošenje odluka.</p> <p>U nastavku su navedene ključne kognitivne veštine koje treba uključiti:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Analitičko razmišljanje<ul style="list-style-type: none">• Identifikacija izvora kontaminacije u žitaricama i njihovog uticaja na zdravlje• Analiza podataka o zemljištu i usevima radi otkrivanja trendova kontaminacije• Procena efikasnosti različitih strategija za smanjenje kontaminacije2. Kritičko razmišljanje<ul style="list-style-type: none">• Procena rizika povezanih sa kontaminacijom pesticidima i teškim metalima• Poređenje različitih poljoprivrednih praksi u cilju smanjenja kontaminacije• Preispitivanje i potvrđivanje rezultata istraživanja o kontroli kontaminacije3. Rešavanje problema



	<ul style="list-style-type: none">• Razvijanje inovativnih rešenja za minimizaciju kontaminacije• Prilagođavanje poljoprivrednih tehnika u cilju smanjenja hemijskih ostataka• Prevazilaženje izazova u primeni zakonskih propisa u realnim situacijama <p>4. Donošenje odluka</p> <ul style="list-style-type: none">• Odabir odgovarajućih strategija za zaštitu bilja sa minimalnim uticajem na životnu sredinu• Postizanje ravnoteže između produktivnosti i održivosti u proizvodnji žitarica• Tumačenje rezultata laboratorijskih ispitivanja u svrhu donošenja utemeljenih odluka o kontroli kontaminacije <p>5. Naučno istraživanje i istraživačke veštine</p> <ul style="list-style-type: none">• Sprovođenje oglada na terenu u vezi sa ublažavanjem kontaminacije• Pregled naučne literature o smanjenju pesticida i teških metalima• Primena istraživačkih metodologija za procenu nivoa kontaminacije <p>6. Sistemsko razmišljanje</p> <ul style="list-style-type: none">• Razumevanje međusobne interakcije između zemljišta, vode, useva i kontaminenata• Prepoznavanje dugoročnih efekata kontaminacije na ekosisteme i ljudsko zdravlje• Projektovanje održivih poljoprivrednih sistema kojima se minimiziraju rizici od kontaminacije
Stručne veštine	<p>Izrada kurikuluma koji obuhvata mere za smanjenje kontaminacije u žitaricama zahteva kombinaciju naučnih, tehničkih i regulatornih znanja</p> <p>1. Veštine iz oblasti poljoprivrede i zaštite životne sredine</p> <ul style="list-style-type: none">• Razumevanje ponašanja pesticida u zemljištu i usevima• Poznavanje azotnog ciklusa i uticaja đubriva na žitarice• Svest o izvorima kontaminacije teškim metalima (industrijsko zagađenje, sastav zemljišta, navodnjavanje)• Tehnike praćenja stanja zemljišta i useva <p>2. Bezbednost hrane i kontrola kvaliteta</p> <ul style="list-style-type: none">• Principi analize opasnosti i kritičnih kontrolnih tačaka (HACCP)• Procena rizika od ostataka pesticida i teških metala• Laboratorijske metode za ispitivanje kontaminenata (npr. hromatografija, spektroskopija)• Međunarodni propisi o bezbednosti hrane (EU, FAO, Codex Alimentarius) <p>3. Održiva poljoprivreda i precizna agrikultura</p> <ul style="list-style-type: none">• Najbolje prakse za primenu pesticida i strategije za njihovo smanjenje• Tehnike integrisanog upravljanja štetočinama (IPM)• Organske i regenerativne poljoprivredne prakse• Alati precizne poljoprivrede (dronovi, senzori, veštačka inteligencija za praćenje zdravlja zemljišta) <p>4. Znanja iz oblasti regulative i usklađenosti</p> <ul style="list-style-type: none">• Zakonski okviri u vezi sa upotrebom pesticida i graničnim vrednostima ostataka• Maksimalno dozvoljeni ostaci (MRLs) i regulatorni standardi• Zahtevi za sertifikaciju organskih i održivo proizvedenih žitarica <p>5. Analiza podataka i upotreba tehnologije</p> <ul style="list-style-type: none">• Statistička analiza nivoa kontaminacije• Korišćenje geografskih informacionih sistema (GIS) za mapiranje kontaminacije zemljišta i vode• Primena veštačke inteligencije (AI) i sistem umreženih pametnih uređaja (IoT) u praćenju kontaminacije



<p>Jedinice kompetencija</p>	<p>1. Izvori kontaminacije i procena rizika</p> <p>Kompetencije:</p> <ul style="list-style-type: none">• Identifikacija primarnih izvora kontaminacije u žitaricama (pesticidi, đubriva, teški metali)• Procena uticaja faktora iz životne sredine i poljoprivrede na kontaminaciju• Analiza puteva kontaminacije (zemljište, voda, vazduh) i njihovog uticaja na bezbednost hrane <p>Ključne teme:</p> <ul style="list-style-type: none">• Nastanak i postojanost ostataka pesticida• Azotna jedinjenja: prekomerna upotreba, oticanje i ispiranje• Akumulacija teških metala iz industrijskih i prirodnih izvora• Metodologije procene rizika <p>2. Održive i integrisane poljoprivredne prakse</p> <p>Kompetencije:</p> <ul style="list-style-type: none">• Primena integrisanog upravljanja štetočinama (IPM) radi smanjenja upotrebe pesticida• Primena održivih tehnika đubrenja u cilju minimizacije kontaminacije azotnim jedinjenjima• Primena metoda sanacije i očuvanja zemljišta radi smanjenja prenosa teških metala u useve <p>Ključne teme:</p> <ul style="list-style-type: none">• Biološka zaštita biljaka i plodoreda• Precizna poljoprivreda za kontrolisanu primenu đubriva• Upravljanje pH vrednošću zemljišta i tehnike biorazgradnje• Alternative u organskoj proizvodnji <p>3. Praćenje i detekcija kontaminanata</p> <p>Kompetencije:</p> <ul style="list-style-type: none">• Sprovođenje terenskih i laboratorijskih analiza ostataka pesticida, nitrata i teških metala• Upotreba savremenih tehnika detekcije (hromatografija, spektrometrija, biosenzori)• Tumačenje nivoa kontaminacije i predlaganje korektivnih mera <p>Ključne teme:</p> <ul style="list-style-type: none">• Laboratorijske metode ispitivanja (GC-MS, HPLC, ICP-MS)• Regulatorna ograničenja za kontaminante (standard EU, Codex, FAO)• Brze tehnike testiranja na terenu <p>4. Regulatorna usklađenost i standardi bezbednosti hrane</p> <p>Kompetencije:</p> <ul style="list-style-type: none">• Primena propisa o maksimalno dozvoljenim ostacima (MRL), kao i drugih relevantnih propisa o bezbednosti hrane• Obezbeđivanje usklađenosti upravljanja kontaminacijom žitarica sa nacionalnim i međunarodnim standardima• Implementacija sistema analize opasnosti i kritičnih kontrolnih tačaka (HACCP) u cilju prevencije kontaminacije <p>Ključne teme:</p> <ul style="list-style-type: none">• Propisi EU o pesticidima, FAO Codex Alimentarius, smernice Svetske zdravstvene organizacije (WHO)• Dobrea poljoprivredna praksa (GAP)• Načela HACCP sistema u proizvodnji i skladištenju žitarica <p>5. Tehnološka i digitalna rešenja za smanjenje kontaminacije</p>
-------------------------------------	---



	<p>Kompetencije:</p> <ul style="list-style-type: none">● Korišćenje tehnologija precizne poljoprivrede (bespilotne letelice, senzori, veštačka inteligencija) za kontrolu kontaminacije● Primena GIS (geografski informacioni sistem) mapiranja za praćenje kontaminiranih područja● Implementacija pametnih sistema za navodnjavanje i đubrenje <p>Ključne teme:</p> <ul style="list-style-type: none">● Primena veštačke inteligencije (AI) i sistem umreženih pametnih uređaja (IoT) u održivoj poljoprivredi● GIS-bazirano mapiranje kontaminacije● Automatizovani sistemi za primenu pesticida i đubriva <p>6. Održivi lanac snabdevanja i podizanje svesti potrošača</p> <p>Kompetencije:</p> <ul style="list-style-type: none">● Upravljanje postupcima rukovanja žitarica nakon žetve u cilju sprečavanja kontaminacije● Obezbeđivanje održivog snabdevanja i sledljivosti u proizvodnji žitarica● Edukacija svih zainteresovanih strana o rizicima od kontaminacije i strategijama za njihovo ublažavanje <p>Ključne teme:</p> <ul style="list-style-type: none">● Prevencija kontaminacije tokom skladištenja i transporta● Digitalna baza podataka (Blockchain technology) koja sekoristi za zapisivanje i čuvanje informacija o poreklu, kvalitetu i bezbednosti hrane i sistemi za sledljivost● Obrazovanje potrošača o bezbednosti hrane
Elementi inovacije	Elementi inovacije proizilaze iz sinergije kompetencija koje će biti primenjene kod ciljnih grupa, a koje obuhvataju oblasti agronomije, zaštite žitarica, detekcije kontaminanata, primene analitičkih metoda i zdravstvenih aspekata. Ove kompetencije omogućavaju efikasno upravljanje kontaminacijom žitarica i garantuju bezbednost hrane, posebno u uslovima izazvanim sukobom u Ukrajini.
Uticaj	Implementacija dobro strukturiranog kurikuluma na ovu temu može imati značajne pozitivne efekte u više oblasti, od poljoprivrede i javnog zdravlja do očuvanja životne sredine i ekonomskih koristi. U nastavku su navedene ključne oblasti uticaja: 1. Uticaj na poljoprivredu i životnu sredinu <ul style="list-style-type: none">● Smanjenje kontaminacije zemljišta i vode● Pобољшanje kvaliteta i bezbednosti useva● Ojačana otpornost na klimatske promene i održivost 2. Uticaj na javno zdravlje i bezbednost hrane <ul style="list-style-type: none">● Bezbednija snabdevenost hranom● Smanjenje zdravstvenih rizika● Povećano poverenje potrošača 3. Ekonomski i industrijski uticaj <ul style="list-style-type: none">● Veća tržišna vrednost žitarica bez kontaminanata● Smanjenje troškova za poljoprivrednike● Efikasnija upotreba pesticida i đubriva koja smanjuje ulazne troškove● Sprečavanje kontaminacije smanjuje potencijalne finansijske gubitke usled odbijanja izvoza● Otvaranje novih radnih mesta i tehnološki razvoj● Povećana potražnja za stručnjacima u oblasti precizne poljoprivrede, bezbednosti hrane i ekološkog monitoringa● Podsticanje inovacija u poljoprivredno-tehnološkom sektoru, kao što je



	<p>detekcija kontaminacije zasnovana na veštačkoj inteligenciji</p> <p>4. Obrazovni i istraživački uticaj</p> <p>Jačanje kapaciteta budućih stručnjaka u poljoprivredi</p> <ul style="list-style-type: none"> Poljoprivrednici, agronomi i donosioci politika stižu napredna znanja o smanjenju kontaminacije Obuke za donošenje odluka zasnovanih na podacima povećavaju efikasnost u poljoprivredi <p>Podsticanje naučnih inovacija</p> <ul style="list-style-type: none"> Istraživanja u oblasti bioremedijacije, nanotehnologije i alternativnih metoda zaštite bilja unapređuju održivost Povećana saradnja između univerziteta, istraživačkih institucija i industrijskih lidera <p>Globalna razmena znanja</p> <ul style="list-style-type: none"> Međunarodna partnerstva omogućavaju usvajanje najboljih praksi iz različitih regiona Integracija platformi za e-učenje omogućava deljenje znanja van lokalnih zajednica <p>5. Uticaj na politiku i regulativu</p> <p>Unapređena usklađenost sa propisima o bezbednosti hrane</p> <ul style="list-style-type: none"> Poljoprivrednici i proizvođači bolje su osposobljeni za ispunjavanje nacionalnih i međunarodnih standarda Vladine institucije unapređuju monitoring i sprovođenje politika za kontrolu kontaminacije <p>Informisano donošenje odluka od strane kreatora politika</p> <ul style="list-style-type: none"> Naučni podaci iz kurikuluma podržavaju razvoj politika zasnovanih na dokazima Poboljšane strategije za smanjenje poljoprivrednog zagađenja i prekomerne upotrebe hemikalija <p>Oснаživanje lokalnih zajednica</p> <ul style="list-style-type: none"> Inicijative koje uključuju građane u naučni monitoring podstiču javno angažovanje u praćenju bezbednosti hrane Povećana svest vodi ka zagovaranju strožih propisa o zaštiti životne sredine i bezbednosti hrane
--	---

Vreme trajanja aktivnosti

	Ukupan broj sati	Teorijski	Praktični	Individualni rad
	82	48	24	10

Teme Kurikuma

Teorijski deo	Br. sati	Posmatranje
<p>Poglavlje 1. Uvod u rizike kontaminacije žitarica u poljoprivredi pogođenoj sukobima</p> <ul style="list-style-type: none"> Razumevanje uticaja vojnih aktivnosti na kontaminaciju zemljišta i useva Identifikacija primarnih kontaminanata: pesticidi, azotna jedinjenja i 	2 (LTT 1-3)	Svaki teorijski deo traje



<p>teški metali</p> <ul style="list-style-type: none">• Analiza puteva kontaminacije u žitaricama i prehrambenim sistemima• Pregled rizika od kontaminacije u poljoprivredi• Izvori kontaminacije teškim metalima (olovo, arsen, kadmijum)• Uticaj pesticida i prekomerne upotrebe azotnih đubriva na zemljište i vodu		<p>ukupno 8 sati dnevno tokom 2 dana.</p> <p>Ukupno: 16 sati/LTT</p>
<p>Poglavlje 2. Pojmovi i definicije</p> <ul style="list-style-type: none">• Opšti pojmovi u vezi sa kontaminacijom• Pojmovi u vezi sa kontaminacijom teškim metalima• Pojmovi u vezi sa kontaminacijom azotnim jedinjenjima• Pojmovi u vezi sa kontaminacijom pesticidima• Pojmovi specifični za kontaminaciju u poljoprivredi usled sukoba• Međunarodni i EU regulatorni pojmovi	<p>2 (LTT 1-3)</p>	
<p>Poglavlje 3. Međunarodni kontekst sukoba u Ukrajini i zakonodavni okvir na nacionalnom i evropskom nivou</p> <ul style="list-style-type: none">• Regulatorne granice i granične vrednosti (EU, FAO, Codex Alimentarius)	<p>2 (LTT 1-3)</p>	
<p>Poglavlje 4. Mere neophodne za smanjenje kontaminacije žitarica</p> <ul style="list-style-type: none">• Mere za smanjenje sadržaja pesticida u žitaricama i proizvodima od žitarica• Mere za smanjenje kontaminacije teškim metalima u žitaricama i proizvodima od žitarica• Mere za smanjenje jedinjenja azota u žitaricama i proizvodima od žitarica	<p>8 (LTT1)</p>	
<p>Poglavlje 5. Analitičke metode za ispitivanje prisustva kontaminenata</p> <ul style="list-style-type: none">• Analitičke metode za detekciju sadržaja pesticida u žitaricama i proizvodima od žitarica• Analitičke metode za detekciju kontaminacije teškim metalima u žitaricama i proizvodima od žitarica• Analitičke metode za detekciju jedinjenja azota u žitaricama i proizvodima od žitarica	<p>8 (LTT2)</p>	
<p>Poglavlje 6. Zdravstveni rizici povezani sa kontaminacijom žitarica i proizvoda od žitarica</p> <ul style="list-style-type: none">• Zdravstveni rizici konzumacije žitarica i proizvoda od žitarica kontaminiranih pesticidima• Zdravstveni rizici konzumacije žitarica i proizvoda od žitarica kontaminiranih teškim metalima• Zdravstveni rizici konzumacije žitarica i proizvoda od žitarica kontaminiranih jedinjenjima azota	<p>8 (LTT3)</p>	
<p>Evaluacija</p>	<p>2 (LTT1-3)</p>	
<p>Praktični deo</p> <p>Praktične aktivnosti će se realizovati u nastavnim laboratorijama partnerskih univerziteta, koje poseduju neophodnu opremu.</p>	<p>Br. sati</p>	<p>Posmatranje</p>



i) Razmena najboljih praksi u upravljanju žitaricama i srodnim proizvodima podložnim kontaminaciji, koji se uvoze iz Ukrajine.	8 LTT1	Svaki praktičn i deo sastoji se od 8 časova u trajanju od jednog dana (LTT1–3)
ii) Razmena najboljih praksi u pogledu detekcije kontaminenata u žitaricama i proizvodima od žitarica.	8 LTT2	
iii) Razmena najboljih praksi u vezi sa zdravstvenim i bezbednosnim rizicima po hranu koji su povezani sa konzumacijom proizvoda od žitarica kontaminiranih pesticidima, teškim metalima i jedinjenjima azota.	8 LTT3	
Metode evaluacije: Metode evaluacije zasnovane su na objektivnim, poluobjektivnim i subjektivnim tipovima zadataka. Objektivni zadaci podrazumevaju pitanja sa ponuđenim odgovorima, gde učesnici biraju tačno rešenje između dve, više ili uparenih opcija (npr. testovi sa zaokruživanjem). Poluobjektivni zadaci uključuju kratke odgovore, dopunjavanje rečenica ili strukturisana pitanja, gde učesnici daju delimično sopstvene odgovore u okviru jasno definisanih okvira. Subjektivni zadaci obuhvataju pisane sastave – slobodne ili vođene – u kojima učesnici samostalno formulišu rešenje problema, ili prate određenu šemu. U ovu grupu spada i rešavanje konkretnih zadataka iz oblasti koja je obrađivana tokom nastave.		
Procena za sertifikaciju kompetencija: će se vršiti pomoću alata i dokaza razvijenih u skladu sa odredbama koje se odnose na kognitivne i profesionalne veštine, uzimajući u obzir kriterijume učinka i uslove njihove primene. Neki dokazi i alati za evaluaciju mogu obuhvatiti integrisanu procenu više kompetencija ili više kriterijuma učinka unutar iste ili različitih kompetencija. Evaluacija ističe stepen do kojeg su ključne kompetencije, opšte tehničke veštine i specijalizovane tehničke veštine razvijene.		
Spisak nastavnih i istraživačkih materijala: Teorijski delovi, kao i praktični segmenti biće ilustrovani tekstovima, slikama i video materijalima, a konačna metoda nastave biće prilagođena nivou ciljne grupe kojoj je namenjena.		

PROŠIRENI KURIKULUM

Poglavlje 1. Uvod

1.1. Razumevanje uticaja vojnih aktivnosti na kontaminaciju zemljišta i useva



Vojne aktivnosti mogu uneti širok spektar kontaminanata u životnu sredinu, pri čemu dolazi do zagađenja zemljišta, a posredno i useva koji se na njemu uzgajaju. Ovi kontaminanti mogu se grubo podeliti u sledeće kategorije:

Teški metali: Municija, vojna vozila, borbeni dronovi i druga vojna oprema mogu osloboditi teške metale poput olova, kadmijuma, hroma, litijuma i osiromašenog uranijuma u zemljište. Ovi metali se mogu akumulirati u biljkama i predstavljati zdravstveni rizik za potrošače.

Eksplzivne materije: Detonacije eksploziva oslobađaju različita hemijska jedinjenja, uključujući nitroaromatske spojeve (npr. TNT, RDX) i perhlorate, u životnu sredinu. Ove supstance su toksične za biljke i ljude, a zbog svoje postojanosti mogu izazvati dugotrajnu kontaminaciju zemljišta.

Goriva i pogonska sredstva: Izlivanja ili curenja iz vojnih vozila i skladišta mogu dovesti do kontaminacije zemljišta pogonskim materijama (npr. amonijum perhlorat) i gorivima (npr. ugljovodonici). Ove supstance negativno utiču na rast i razvoj biljaka, a neke od njih imaju i kancerogena svojstva.

Hemijsko i biološko oružje: Iako ređe u upotrebi, potencijalna upotreba hemijskog i biološkog oružja predstavlja ozbiljnu pretnju od široko rasprostranjene i dugotrajne kontaminacije. Ova sredstva mogu imati razorne posledice po zdravlje ljudi i životnu sredinu.

Radioaktivni materijali: Upotreba municije sa osiromašenim uranijumom izaziva zabrinutost u vezi sa radioaktivnom kontaminacijom. Iako je radiotoksičnost osiromašenog uranijuma predmet stručnih rasprava, njegova hemijska toksičnost kao teškog metala je dobro poznata i dokumentovana.

Neeksplozivna ubojna sredstva (UXO): UXO, uključujući protivpešadijske mine i neeksplozivne bombe, ne predstavljaju samo direktnu fizičku opasnost, već se vremenom, usled korozije, mogu ispuštati kontaminanti u okolno zemljište.

Uticaj ovih kontaminanata na zemljište i useve je višeslojan:

- **Degradacija zemljišta:** Kontaminacija može izmeniti fizičko-hemijske osobine zemljišta, utičući na njegovu plodnost, strukturu i kapacitet zadržavanja vode, što u krajnjoj meri ometa rast biljaka.
- **Usvajanje i akumulacija u biljkama:** Biljke mogu putem korena apsorbovati kontaminante iz zemljišta i dalje ih transportovati do različitih delova biljke, uključujući i jestive delove poput zrna. Nivo akumulacije zavisi od više faktora, uključujući vrstu kontaminanta, njegovu koncentraciju u zemljištu, vrstu biljke i uslove sredine.
- **Kontaminacija lanca ishrane:** Kontaminirani usevi mogu uneti štetne materije u lanac ishrane, ugrožavajući zdravlje ljudi i životinja. Dugotrajna izloženost i niskim koncentracijama kontaminanata može dovesti do hroničnih zdravstvenih problema.

Važne napomene:

Ozbiljnost kontaminacije zemljišta i useva zavisi od vrste i intenziteta vojnih aktivnosti, kao i od tipa zemljišta i klimatskih uslova.

Dugoročne posledice kontaminacije zemljišta izazvane vojnim aktivnostima teško je proceniti i često nisu u potpunosti vidljive godinama.

Rešavanje problema kontaminacije zemljišta i useva usled vojnih aktivnosti od suštinskog je značaja za zaštitu zdravlja ljudi i očuvanje životne sredine.

1.2. Identifikacija primarnih kontaminanata: pesticidi, jedinjenja azota i teški metali

Žitarice, kao jedna od najvažnijih osnovnih namirnica u svetu, podložne su različitim izvorima kontaminacije, što može predstavljati ozbiljan rizik po ljudsko zdravlje. Pesticidi, azotna jedinjenja i teški metali spadaju u najznačajnije kontaminante, prvenstveno zbog njihove široke primene, dugotrajnog prisustva u životnoj sredini i potencijalno štetnih efekata na zdravlje ljudi.



1.2.1. Pesticidi

Ove hemijske supstance koriste se za suzbijanje štetočina koje oštećuju useve ili prenose biljne bolesti. Iako su neophodni za obezbeđivanje prehrambene sigurnosti, ostaci pesticida u žitaricama predstavljaju ozbiljnu pretnju po ljudsko zdravlje.

Glavne klase pesticida uključuju:

Organofosfati – deluju na nervni sistem inhibicijom enzima acetilholinesteraze (npr. hlorpirifos, malation, diazinon).

Karbamati – slični organofosfatima, ali s reverzibilnom inhibicijom enzima (npr. karbaril, aldikarb).

Organohlorini – postojani u životnoj sredini, mnogi su danas zabranjeni (npr. DDT, lindan).

Piretroidi – sintetički analozi prirodnih piretrina, koriste se za suzbijanje insekata (npr. permetrin, cipermetrin).

Neonikotinoidi – deluju na nervni sistem insekata; kontroverzni zbog štetnog uticaja na pčele (npr. imidaklopid, tiametoksam).

Triazini – često korišćeni herbicidi koji inhibiraju fotosintezu (npr. atrazin, simazin).

Sulfoniluree – herbicidi koji remete sintezu aminokiselina u biljkama (npr. metsulfuron-metil).

Fenoksi herbicidi – koriste se za suzbijanje širokolisnih korova (npr. 2,4-D).

Dikarboksimidi – fungicidi koji inhibiraju rast gljiva (npr. iprodion).

Strobilurini – savremeni fungicidi koji ometaju mitohondrijalno disanje (npr. azoksistrobin).

Svaka klasa pesticida ima specifične namene, profile toksičnosti i uticaj na životnu sredinu.

Zdravstveni efekti

Glavni zdravstveni efekti izloženosti pesticidima kod ljudi zavise od vrste pesticida, doze i trajanja izloženosti. Oni obuhvataju:

Akutni efekti (kratkotrajna izloženost)

1. **Neurološki simptomi** – glavobolja, vrtoglavica, mučnina, konvulzije (npr. organofosfati i karbamati inhibiraju enzim acetilholinesterazu).
2. **Respiratorni problemi** – otežano disanje, iritacija disajnih puteva ili simptomi slični astmi usled udisanja pesticida.
3. **Iritacija kože i očiju** – osip, peckanje ili alergijske reakcije zbog kontakta s kožom.
4. **Gastrointestinalni problemi** – povraćanje, dijareja i bolovi u stomaku usled unošenja pesticida oralnim putem.

Hronični efekti (dugotrajna izloženost)

1. **Neurotoksičnost** – povećan rizik od neurodegenerativnih bolesti poput Parkinsonove bolesti i opadanja kognitivnih funkcija.
2. **Kancerogenost** – neki pesticidi (npr. organohlorini, glifosat) povezani su s nastankom karcinoma, uključujući leukemiju i ne-Hodžkinov limfom.
3. **Endokrini poremećaji** – narušavanje hormonalne ravnoteže, što može uticati na reproduktivno zdravlje, funkciju štitne žlezde i razvoj ploda.
4. **Reproduktivni i razvojni poremećaji** – smanjena plodnost, urođene anomalije i razvojni poremećaji kod dece.
5. **Suzbijanje imunog sistema** – povećana podložnost infekcijama i autoimunim bolestima.
6. **Oštećenje jetre i bubrega** – hronična izloženost može dovesti do disfunkcije organa usled bioakumulacije toksičnih jedinjenja.

Rizične grupe

- **Deca i trudnice** – osetljivije su zbog razvoja organa i tela u razvoju.
- **Poljoprivrednici i primenitelji pesticida** – izloženi su većem riziku zbog profesionalnog kontakta sa pesticidima.



Regulatorne granice i mere bezbednosti imaju za cilj da minimalizuju ove rizike, ali izloženost mora biti pažljivo kontrolisana.

- Regulatorni okviri: Brojne zemlje su uspostavile regulatorne okvire koji uređuju primenu pesticida i propisuju maksimalno dozvoljene ostatke (MRL – maksimalni rezidui) u žitaricama, kako bi se smanjila izloženost potrošača (FAO/WHO, 2022).

1.2.2. Azotna jedinjenja

Azotna jedinjenja, posebno nitrati i nitriti, prirodno su prisutne supstance koje takođe mogu dospeti u lanac ishrane putem poljoprivrednih aktivnosti, naročito primenom đubriva na bazi azota.

- **Izvori kontaminacije:** Prekomerna upotreba azotnih đubriva može dovesti do ispiranja nitrata u podzemne i površinske vode, što dalje može kontaminirati vodu za navodnjavanje i useve žitarica.
- **Zdravstveni rizici:** Povišeni nivoi nitrata u žitaricama predstavljaju zdravstveni rizik, naročito za odojčad, jer se nitrati mogu redukovati u nitrite, što može izazvati methemoglobinemiju — stanje koje ometa transport kiseonika u organizmu. Pored toga, nitriti mogu reagovati sa aminskim jedinjenjima u želucu i formirati kancerogene nitrozamine (WHO, 2011).
- **Regulatorne mere:** Svetska zdravstvena organizacija (SZO) je uspostavila smernice za dozvoljene koncentracije nitrata u vodi za piće, a slični propisi često se primenjuju i na prehrambene proizvode, uključujući i žitarice.

1.2.3. Toksični elementi u tragovima

Izraz „teški metali“ označava metale koji imaju relativno visoku gustinu u poređenju sa vodom, a pretpostavlja se da je ta „težina“ povezana sa toksičnošću. Teški metali se takođe smatraju elementima u tragovima jer su prisutni u veoma niskim koncentracijama — od nekoliko delova milijardi (ppb) do manje od 10 delova miliona (ppm) u većinem delu životne sredine. Ranije su naučnici koristili termin „teški metali“ kada su govorili o elementima u tragovima. Međutim, nisu svi metali suštinski „teški“ (npr. aluminijum – Al, nikal – Ni), a neki elementi uopšte nisu metali (npr. arsen – As, selen – Se). Zbog toga se danas u naučnoj literaturi sve češće koristi izraz „(metalni) elementi u tragovima“ ili jednostavno „elementi u tragovima“.

Metali se mogu klasifikovati kao esencijalni i neesencijalni, u zavisnosti od toga da li imaju određenu ulogu u biohemijskim i fiziološkim procesima (Goyer i sar., 2004). Prema definiciji Svetske zdravstvene organizacije (SZO), esencijalni elementi su: jod (I), cink (Zn), selen (Se), gvožđe (Fe), bakar (Cu), hrom (Cr) i molibden (Mo). Neki drugi elementi u tragovima mogu imati korisne efekte ili biti potencijalno esencijalni, kao što su mangan (Mn), kobalt (Co), arsen (As), nikal (Ni) i vanadijum (V) (Amiard i sar., 2011). Na primer, bakar i gvožđe se ugrađuju u brojne metaloenzime koji učestvuju u formiranju hemoglobina i metabolizmu ugljenih hidrata (Henriques i sar., 2017), dok cink ima važnu ulogu u deobi i rastu ćelija, zarastanju rana i razgradnji ugljenih hidrata (Roohani i sar., 2013). Neesencijalni elementi u tragovima, poput žive (Hg), olova (Pb) i kadmijuma (Cd), nemaju nikakvu fiziološku funkciju i toksični su već u vrlo malim količinama (Goyer i sar., 2004). Toksični elementi u tragovima su prirodno prisutni elementi koji se karakterišu velikom atomskom masom i gustinom, a ispoljavaju štetne efekte na biološke sisteme. Ovi kontaminanti mogu dospeti u lanac ishrane različitim putevima, uključujući industrijska ispuštanja, rudarske aktivnosti i upotrebu kontaminirane vode za navodnjavanje.

- **Predstavnici toksičnih elemenata u tragovima:** Arsen, kadmijum, olovo i živa (uglavnom slučajno) spadaju među najzabrinjavajuće toksične elemente u tragovima koji se mogu naći u žitaricama. Žitarice ih mogu usvajati iz kontaminiranog zemljišta i izvora vode.
- **Regulatorni standardi:** Međunarodne organizacije (kao što je Evropska unija) kao i nacionalna nadležna tela uspostavile su standarde i smernice za dozvoljene koncentracije toksičnih elemenata u tragovima u žitaricama, s ciljem da se minimizira izloženost ljudi.



1.3. Izvori kontaminacije

1.3.1. Izvori kontaminacije pesticidima

• Poljoprivreda

Poljoprivreda je glavni privredni sektor u kojem su se koristili hlorisani pesticidi, čije se posledice osećaju i danas. Uticaj pesticida korišćenih u poljoprivredi ogleda se u vidu difuznog zagađenja voda, koje se danas meri u podzemnim i površinskim vodama.

Emisija organski zagađujućih materija (POPs) koje se koriste u poljoprivredi dospevaju u atmosferu iz stacionarnih izvora, kao što su prskanje pesticida po zemljištu i njihovo spaljivanje, ali i iz pokretnih izvora, poput traktora i drugih vozila.

• Industrija

Izvori emisije u industrijskom sektoru su uglavnom tačkasti. Ipak, postoje i difuzni izvori koji nastaju usled skladištenja čvrstog i tečnog otpada iz proizvodnje pesticida. Postojeće zalihe (uključujući i otpad) POPs-a povezane su sa količinama ovih materija koje se više ne koriste i koje bi trebalo zbrinuti.

1.3.2. Izvori zagađenja azotnim jedinjenjima

Količina nitrata prisutna u biljci u određenom trenutku predstavlja rezultat ravnoteže između količine apsorbovanog azota i količine iskorišćene u procesu sinteze proteina (proteinogeneze). Svaki faktor koji može uticati na metabolički lanac koji omogućava pretvaranje azota iz nitrata u amino-azot i proteinski azot, može uticati na količinu slobodnih nitrata u biljci.

Izvori kontaminacije hortikulturnih proizvoda nitratima, nitritima i amonijum-jedinjenjima su:

- **Prirodni izvori:** nitrati prisutni u zemljištu, površinskim i podzemnim vodama kao rezultat prirodne razgradnje organskog azota delovanjem mikroorganizama i njegove transformacije u materije poput proteina u biljkama i životinjama. Prirodna prisutnost nitrata i nitrita u životnoj sredini posledica je tzv. „azotnog ciklusa“.
- **Antropogeni izvori**, koji uključuju upotrebu sintetičkih đubriva u ishrani hortikulturnih biljaka, u poljoprivredi, kao i primenu otpada nastalog u stočarskim farmama na obradivim površinama.
 - ✓ Prekomerno đubrenje, odnosno primena količina koje premašuju potrebe biljaka za azotom tokom perioda maksimalne potrošnje, dovodi do povećanja sadržaja nitrata u biljci.
 - ✓ Primena azotnih đubriva u vidu folijarne ishrane takođe dovodi do porasta nivoa nitrata, ali se on ubrzo nakon primene vraća na prethodni nivo.
 - ✓ Sadržaj nitrata u biljkama može se smanjiti za 20–25% prskanjem useva vodom u periodu neposredno pre berbe.
 - ✓ Visoke koncentracije nitrata javljaju se i u biljkama gajenim na zemljištima bogatim azotom i humusom, čak i bez dodatnog đubrenja azotnim jedinjenjima.
 - ✓ Problem zagađenja hranljivim materijama počinje već na domaćinstvima, tj. usled nepravilnog upravljanja i korišćenja stajnjaka u poljoprivredi.
 - ✓ Organska proizvodnja promoviše upotrebu komposta i prirodnog đubriva koje ne zagađuje životnu sredinu, pristupačno je i jeftinije.
- **Genetski potencijal biljke** takođe može uticati na akumulaciju nitrata. Najveći sadržaj nitrata prisutan je kod povrća kod kojeg se kao jestivi deo koristi list.
- **Klimatski uslovi** (temperatura, padavine, intenzitet svetlosti) utiču na nivo nitrata u biljkama, u zavisnosti od uslova u kojima se odvija redukciona reakcija. Među ovim faktorima, **intenzitet svetlosti** ima naročito važnu ulogu jer obezbeđuje energiju potrebnu za procese redukcije nitrata u biljci (nitrati → nitriti → amonijak → amino-kiseline).



1.3.3. Izvori kontaminacije teškim metalima (olovo, arsen, kadmijum, antimon, hrom, nikal, cink, živa, aluminijum)

Ostaci teških metala predstavljaju najpostojanije ratne ostatke u pogođenim područjima, koji zagađuju vazduh, zemljište i vodu. Vreme njihovog zadržavanja u životnoj sredini zavisi od redoks osobina (osobina oksidacije i redukcije). Izvori kontaminacije metalima uključuju isparenja i čestice nastale pucanjem, fragmente metaka, inicijalne kapsule, detonatore, vojnu opremu, oružje, municiju, artiljeriju, granate i dejstva bespilotnih letelica (dronova).

Kontaminacija useva toksičnim mikroelementima najčešće potiče iz sledećih izvora:

(i) Kontaminacija zemljišta:

Teški metali poput olova (Pb), arsena (As) i kadmijuma (Cd) akumuliraju se u poljoprivrednom zemljištu kao posledica industrijskih emisija, rudarskih aktivnosti i prirodnih geoloških izvora.

(ii) Voda za navodnjavanje:

Zagađena voda iz industrijskog otpada, kanalizaciona voda korišćena za navodnjavanje ili podzemne vode sa prirodno visokim sadržajem metala mogu uneti teške metale u zemljište i biljni sistem.

(iii) Atmosfersko taloženje:

Zagađujuće materije iz vazduha, koje potiču iz industrijskih aktivnosti, izduvnih gasova vozila, sagorevanja fosilnih goriva, kao i iz emisija nastalih eksplozijama u ratu, mogu se taložiti na useve i zemljište, povećavajući koncentraciju teških metala.

(iv) Đubriva i pesticidi:

Fosfatna đubriva i pojedini pesticidi sadrže tragove teških metala, što doprinosi njihovom dugotrajnom nakupljanju u zemljištu.

(v) Upotreba otpada i mulja:

Primenom kanalizacionog mulja, komposta ili organskog otpada kao dodatka zemljištu može se uneti značajne količine teških metala na poljoprivredne površine.

Nakon što ih biljke apsorbuju, teški metali se mogu akumulirati u jestivim delovima biljaka, predstavljajući rizik po zdravlje ljudi.

1.4. Uticaji pesticida i prekomernog đubrenja azotnim đubrivima na zemljište i vodu

Primena pesticida i prekomernih azotnih đubriva u savremenoj poljoprivredi, iako doprinosi povećanju prinosa, predstavlja ozbiljnu pretnju za kvalitet zemljišta i vode, što za posledicu ima narušavanje zdravlja ekosistema i moguće negativne efekte po zdravlje ljudi. Žitarice, koje predstavljaju dominantan izvor hrane na globalnom nivou, naročito su podložne kontaminaciji ovim agrokemikalijama.

1.4.1. Pesticidi

Upotreba pesticida za suzbijanje štetočina može izazvati niz neželjenih ekoloških posledica, kako za zemljište, tako i za vodne resurse.

● Efekti na zemljište (edafski efekti):

○ **Poremećaj biološke ravnoteže:** Primena pesticida može negativno uticati na organizme u zemljištu koji nisu ciljani tretmanom, uključujući korisne insekte, gliste i mikrobne zajednice. Ovo dovodi do smanjenja biodiverziteta i narušavanja ključnih procesa kao što su kruženje hranljivih materija i razgradnja organske materije.

○ **Kontaminacija zemljišta:** Postojani ostaci pesticida mogu se akumulirati u zemljišnom matriksu, što može ometati rast biljaka i predstavljati rizik za organizme koji konzumiraju kontaminirane biljne materijale.

○ **Promene osobina zemljišta:** Određeni pesticidi mogu uticati na strukturu zemljišta, njegovu sposobnost zadržavanja vode i druge fizičko-hemijske osobine, što može dovesti do smanjenja plodnosti zemljišta.

● Efekti na vodene ekosisteme:



- **Zagađenje voda:** spiranje pesticida sa poljoprivrednih površina može dovesti do kontaminacije površinskih i podzemnih voda, što negativno utiče na vodeni svet i može ugroziti izvore pijaće vode.
- **Ekotoksičnost:** Pesticidi mogu imati toksične efekte na vodene organizme, izazivajući oštećenja ili uginuće riba, beskičmenjaka i algi, čime se narušava ravnoteža vodenih ekosistema.
- **Kontaminacija sedimenata:** Pesticidi se mogu vezivati za čestice sedimenta, akumulirati u vodotokovima i predstavljati dugoročni rizik za vodene organizme.

1.4.2. Prekomerna upotreba azotnih đubriva

Pored toga što azotna đubriva mogu povećati prinos useva, njihova prekomerna primena može imati štetne efekte na kvalitet zemljišta i vode.

● Efekti na zemljište:

- **Zakiseljavanje zemljišta:** prekomerna primena azota može doprineti zakiseljavanju zemljišta, utičući na biodostupnost hranljivih materija i potencijalno ometajući rast biljaka.
- **Neravnoteža hranljivih materija:** povišen nivo azota može narušiti ravnotežu ostalih esencijalnih hranljivih materija u zemljištu, što može ograničiti rast i razvoj biljaka.
- **Emisija gasova sa efektom staklene bašte:** azotna đubriva mogu doprineti emisiji azot-oksidnog gasa (N_2O), snažnog gasovitog zagađivača koji učestvuje u klimatskim promenama.

● Efekti na vodene ekosisteme:

- **Eutrofikacija:** prekomerno spiranje azota može izazvati eutrofikaciju vodenih tela, što se karakteriše cvetanjem algi, smanjenjem kiseonika i masovnim pomorom riba.
- **Kontaminacija nitratima:** povećane koncentracije nitrata u vodi za piće mogu predstavljati rizik po zdravlje, posebno kod odojčadi, izazivajući methemoglobinemiju poremećaj prenosa kiseonika u organizmu.
- **Zagađenje podzemnih voda:** nitrati mogu prodreti u podzemne vode, kontaminirati izvore pijaće vode i što za posledicu ima skupe sanacione mere.

Literatura

- Alengebawy, A., Abdelkhalek, S. T., Han, H., & Abdel-Rahman, M. A. (2021). Heavy metals in irrigation water and their impact on soil health and crop productivity: A systematic review. *Science of The Total Environment*, 786, 147571.
- Antoniadis, V., Golia, E. E., & Tsadilas, C. D. (2017). Heavy metals in fertilizers: A review. *Journal of Environmental Management*, 201, 1-10.
- Bajwa, H., Jabar, Z. J., Hussain, M., & Abbas, F. (2019). Environmental legacy of wars: Impact of ordnance on soil, water, and human health. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(18), 18029-18042.
- Broomandi, P., Guney, M., Kim, J. R., & Karaca, F. (2020). Soil contamination in areas impacted by military activities: A critical review. *Environmental Geochemistry and Health*, 42(7), 2115-2134.
- Galloway, J. N., Townsend, A. R., Erismann, J. W., Bekunda, M., Cai, Z., Freney, J. R., ... & Sutton, M. A. (2008). Transformation of the nitrogen cycle: Recent trends, questions, and potential solutions. *Science*, 320(5878), 889-892.
- Garbino, H. (2019). The impact of landmines and explosive remnants of war on food security: The Lebanese case. *Journal of Conventional Weapons Destruction*, 23(3), 21-26.



- Gozak, N. Y., Trofymenko, O. V., & Dmytruk, Y. V. (2023). Peculiarities of heavy metals accumulation in forage plants and lichens in areas affected by military actions. *Ukrainian Journal of Ecology*, 13(1), 198-204.
- Okafor-Yarwood, I. M. (2014). Use of depleted uranium weapons in contemporary military interventions. *African Security Review*, 2(1), 111-125.
- Panagos, P., Karydas, C. G., & Kougias, I. (2018). Soil contamination in former military areas: A review. *Environmental Geochemistry and Health*, 40(3), 963-978.
- Pérez-Izquierdo, J., Vílchez, C., & Santos-Villoslada, J. (2024). A review about the mycoremediation of soil impacted by war-like activities: Challenges and gaps. *Journal of Fungi*, 10(2), 108.
- Rodríguez-Seijo, A., Arias-Estévez, M., Fernández-Calviño, D., Simal-Gandara, J., & Mejuto, J. C. (2016). Assessment of potential environmental risk by heavy metals in soils from military shooting ranges. *Environmental Pollution*, 216, 703-711.
- Sakhnenko, V., Semenova, N., Smirnova, O., Kolchanov, O., & Yevchuk, O. (2024). Soil degradation and contamination due to armed conflict in Ukraine. *Land*, 13(10), 1614.
- Savci, S. (2012). An agricultural pollutant: Chemical fertilizer. *International Journal of Environmental Science and Development*, 3(1), 71-82
- Skalny, A. V., Aschner, M., Bobrovniksky, I. P., Chen, P., Tsatsakis, A., Paoliello, M. M., Djordjevic, A. B., & Tinkov, A. A. (2021). Environmental and health hazards of military metal pollution. *Environmental Research*, 201, 111568.
- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418(6898), 671-677.
- Vasiliev, S., & Petrova, A. (2024). Risks of soil pollution with toxic elements during military actions in Lviv. *Journal of Ecological Engineering*, 25(1), 195-208.
- Zolnikov, T. R., & Schinasi, L. H. (2020). Heavy Metal Toxicity in Armed Conflicts Potentiates AMR in *A. baumannii* by Selecting for Antibiotic and Heavy Metal Co-resistance Mechanisms. *Frontiers in Public Health*, 7, 7008767.

Poglavlje 2. Pojmovi i definicije

2.1. Opšti pojmovi u vezi sa kontaminacijom

Kontaminacija

Prisustvo štetnih supstanci (hemijskih, bioloških ili fizičkih) u hrani, zemljištu ili vodi u koncentracijama koje premašuju dozvoljene granice, čineći ih nebezbednim za upotrebu ili konzumaciju.

Bezbednost hrane

Naučna disciplina koja se bavi pravilnim rukovanjem, pripremom i skladištenjem hrane, s ciljem sprečavanja kontaminacije i obezbeđivanja da je hrana bezbedna za ljudsku upotrebu.

Maksimalno dozvoljene količine ostataka (MRL)

Najviši nivo pesticida ili drugih kontaminanata koji je zakonski dozvoljen u prehrambenim



proizvodima, u skladu sa propisima Kodeksa alimentarius, Evropske unije, FAO i nacionalnim regulativama.

Procena rizika

Proces identifikacije, procene i upravljanja potencijalnim opasnostima u oblasti hrane i poljoprivrede, posebno onima koje potiču od kontaminacije izazvane ratnim oštećenjima životne sredine.

2.2. Pojmovi u vezi sa kontaminacijom teškim metalima

Teški metali

Toksični elementi (npr. olovo, kadmijum, živa, arsen) koji se akumuliraju u zemljištu i usevima, predstavljajući ozbiljan rizik po zdravlje kada se unesu u organizam.

Bioakumulacija

Postepeno nakupljanje teških metala ili toksičnih supstanci u biljkama, životinjama ili ljudima tokom vremena.

Fitoremedijacija

Proces upotrebe biljaka za apsorpciju i neutralisanje teških metala iz kontaminiranog zemljišta.

Kontaminacija olovom (Pb)

Zagađenje žitarica olovom uzrokovano vojnim aktivnostima, municijom i industrijskim otpadom, koje dovodi do neuroloških i razvojnih poremećaja pri konzumiranju.

Kontaminacija kadmijumom (Cd)

Veoma toksičan teški metal koji se akumulira u zemljištu usled upotrebe đubriva, industrijskih emisija i ratnih ostataka, negativno utičući na funkciju bubrega i zdravlje kostiju.

Kontaminacija arsenom (As)

Arsen dospeva u lanac ishrane putem pesticida, kontaminacije vode i zagađenja uzrokovano ratnim delovanjem, što dovodi do hroničnog trovanja i povećanog rizika od raka.

Kontaminacija živom (Hg)

Kontaminacija poljoprivrednog zemljišta živom potiče od industrijskih emisija, eksploziva i rudarskih aktivnosti, a negativno utiče na neurološko zdravlje i razvoj fetusa.

2.3. Pojmovi u vezi sa kontaminacijom azotnim jedinjenjima

Azotna jedinjenja

Hemijska jedinjenja koja sadrže azot (npr. nitrati, nitriti, amonijak), a koja pri prekomernoj upotrebi negativno utiču na kvalitet zemljišta, vode i zdravlje biljaka.

Zagađenje nitratima (NO₃⁻)

Povišene koncentracije nitrata u vodi i zemljištu, najčešće uzrokovane prekomernom upotrebom veštačkih đubriva i curenjem industrijskih materija usled ratnih dejstava, dovode do kontaminacije vode i zdravstvenih problema kao što je methemoglobinemija (tzv. „sindrom plave bebe“).

Toksičnost nitrita (NO₂⁻)

Nitriti, koji nastaju razgradnjom nitrata, izrazito su toksični i doprinose stvaranju kancerogenih nitrozamina u hrani i vodi za piće.

Kontaminacija amonijakom (NH₃)

Amonijak koji potiče iz poljoprivrednog oticanja, eksploziva i industrijskog otpada može izazvati zakiseljavanje zemljišta i vode, što negativno utiče na rast biljaka i vodene ekosisteme.

Eutrofikacija

Proces u kojem višak azotnih jedinjenja u vodenim ekosistemima izaziva prekomerni rast algi, što dovodi do iscrpljivanja kiseonika i kolapsa akvatičnih ekosistema (slatke vode i morski sistemi).



Denitrifikacija

Prirodni proces u kojem mikroorganizmi pretvaraju nitrata u gasoviti azot, čime se smanjuje nivo azota u zemljištu i sprečava zagađenje.

2.4. Pojmovi u vezi sa kontaminacijom pesticidima

Pesticidi

Hemijska sredstva koja se koriste za suzbijanje štetočina, korova i biljnih bolesti, ali mogu ostaviti štetne ostatke u hrani i životnoj sredini.

Hlororganski pesticidi (OCPs)

Grupa postojećih i toksičnih pesticida (npr. DDT, aldrin, dieldrin) koji se akumuliraju u zemljištu, vodi i lancima ishrane.

Organofosforni pesticidi (OPs)

Visoko toksični pesticidi (npr. hlorpirifos, malation) koji utiču na funkcije nervnog sistema i podležu strogoj regulativi u okviru EU.

Neonikotinoidi

Klasa sistemskih insekticida koji su povezani sa smanjenjem populacije pčela i koji su ograničeni zakonodavstvom Evropske unije.

Glifosat

Široko korišćen herbicid (poznat kao aktivna supstanca u proizvodu „Roundup“) koji se nalazi pod istragom zbog potencijalno kancerogenih efekata.

Ostaci pesticida

Tragovi pesticida koji ostaju u hrani nakon tretmana, a koji moraju biti ispod maksimalno dozvoljenih granica ostataka (MRL) kako bi hrana bila bezbedna za konzumaciju.

Integrirano upravljanje štetočinama (IPM)

Održivi pristup poljoprivredi koji minimalizuje upotrebu pesticida kombinovanjem bioloških, fizičkih i hemijskih metoda kontrole štetočina.

2.5. Pojmovi o kontaminaciji u poljoprivredi specifičnoj za oružane sukobe

Kontaminacija zemljišta usled ratnih dejstava

Zagađenje poljoprivrednog zemljišta izazvano eksplozivima, teškim metalima i industrijskim razaranjem tokom sukoba.

Kontaminacija ostacima eksploziva

Hemijsko zagađenje koje potiče od bombi, mina i vojnog otpada, a koje utiče na plodnost zemljišta i bezbednost hrane.

Kontaminacija radijacijom

Prisustvo radioaktivnih materijala (npr. uranijuma iz osiromašenog uranijuma) u poljoprivrednim oblastima, što utiče na dugoročnu bezbednost zemljišta i useva.

Zagađenje osiromašenim uranijumom (DU)

Toksičan i radioaktivan teški metal koji se koristi u vojnim projektilima i može opstati u zemljištu decenijama, povećavajući rizik od raka i oboljenja bubrega.

Obnova poljoprivrednog zemljišta nakon sukoba

Proces revitalizacije zemljišta oštećenog ratom kroz dekontaminaciju zemljišta, održivu poljoprivredu i ekološku obnovu.

2.6. Pojmovi u vezi sa međunarodnim i EU regulativama



Codex Alimentarius

Globalni standard za bezbednost hrane koji određuje maksimalno dozvoljene granice ostataka pesticida, teških metala i drugih kontaminanata u hrani.

Maksimalno dozvoljeni nivoi ostataka u EU (MRL)

Zakonski propisane granice kontaminanata (npr. pesticida, teških metala) u hrani prema Uredbi (EZ) br. 396/2005.

Direktiva o nitratima EU (91/676/EEZ)

Evropski zakon kojim se ograničava zagađenje azotom iz poljoprivrede i koji obavezuje poljoprivrednike da primenjuju planove upravljanja hranljivim materijama.

Evropski zeleni dogovor i strategija „Od njive do trpeze“

Inicijative EU koje imaju za cilj da se do 2030. godine smanji upotreba pesticida i đubriva za 50%, promovišući organsku i održivu poljoprivredu.

Sanitarne i fitosanitarne mere (SPS)

Pravila Svetske trgovinske organizacije (STO) kojima se obezbeđuje da regulative o bezbednosti hrane i kontaminaciji ne stvaraju nepotrebne trgovinske barijere.

References

- Alexa, E., (2003) Contaminanti in produse vegetale I.S.B.N. 973-620-071-X, Editura Eurobit, Timisoara.
- Alexa, E. (2008) Contaminanți în produse horticoale și cerealiere, ISBN 978-973-729-152-3. Editura SOLNESS, Timișoara.
- Brhane, G., Dargo, H. (2014). Assessment of some heavy metals contamination in some vegetable and canned foods: A review. *International Journal of Emerging Trends in Science and Technology*, 1(9), 1394- 1403.
- Elzwayie, A., Afan, H.A., Allawi, M.F., El-Shafie, A. (2017). Heavy metal monitoring, analysis and prediction in lakes and rivers: State of the art. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(13), 12104-12117
- Gallart-Mateu, D., Armenta, S., de la Guardia, M. (2014). Implementing the contamination prevention programs in the pesticide industry by infrared spectroscopy. *Talanta*, 119, 312-319
- Gomaa, N.A.R. (2022). Heavy metals, definition, sources of food contamination, incidence, impacts and remediation A literature review with recent updates. *Egyptian Journal of Chemistry*, 65(1), 419 - 437
- Li, C., Zhou, K., Qin, W., Tian, C., Qi, M., Yan, X., et al. (2019). A review on heavy metals contamination in soil: Effects, sources, and remediation techniques. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 28(4), 380-394.
- Morrissy, J.G., Currell, J., Reichman, S.M., Surapaneni, A., Mallavarapu, M., Crosbie, N., Hirth, D., Aquiliona, S., Rajendram, W., Ball, A. (2021). Nitrogen contamination and bioremediation in groundwater and the environment: A review. *Earth-Science Reviews*, 222, 103816.
- Su, C. (2014). A review on heavy metal contamination in the soil worldwide: Situation, impact and remediation techniques. *Environmental Skeptics and Critics*, 3(2), 24
- Vryzas, Z. (2018). Pesticide fate in soil-sediment-water environment in relation to contamination preventing actions. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 4, 5-9



- Yadav, I.C., Devi, N. L. (2017). Pesticides classification and its impact on human and environment. Environmental Science & Engineering, 6, 141–154.

Poglavlje 3. Međunarodni kontekst ukrajinskog sukoba i zakonodavstvo na nacionalnom i evropskom nivou

Rat u Ukrajini doveo je do velikih poremećaja u globalnoj poljoprivredi, s obzirom na to da je Ukrajina jedan od najvećih svetskih izvoznika **pšenice, kukuruza i ječma**. Sukob je izazvao degradaciju zemljišta, kontaminaciju usled vojnih aktivnosti, trgovinske restrikcije i izazove u oblasti bezbednosti hrane.

3.1 Ključni međunarodni uticaji

Bezbednost hrane i globalno snabdevanje žitom

- Ukrajina i Rusija zajedno čine oko 30% svetskog izvoza pšenice. Rat je doveo do prekida lanaca snabdevanja, porasta cena hrane i nestašice žitarica, naročito u Africi i na Bliskom istoku.
- Inicijativa o žitu iz Crnog mora, koju su posredovali UN i Turska, predstavljala je pokušaj da se obezbedi siguran izvoz žitarica, ali njen neuspeh dodatno je opteretio svetska tržišta hrane.

Ekološka i poljoprivredna kontaminacija

- Teški metali, ostaci goriva i neeksplozivna ubojna sredstva iz vojnih aktivnosti kontaminirali su ukrajinsko obradivo zemljište, povećavajući rizik od kontaminacije žitarica.
- Intenzivna bombardovanja i uništavanje zemljišta doveli su do degradacije zemljišta, što dugoročno utiče na produktivnost poljoprivrede.

Poremećaji u poljoprivrednoj trgovini i lancima snabdevanja

- Blokade luka i oštećenje infrastrukture ograničili su sposobnost Ukrajine da izvozi žitarice, što je dovelo do upotrebe alternativnih ruta preko Poljske, Rumunije i baltičkih zemalja.
- Sankcije protiv Rusije poremetile su snabdevanje đubrivima i agrohemijskim sredstvima, što je uticalo na svetsku poljoprivrednu proizvodnju.

3.2 Nacionalno zakonodavstvo Ukrajine o kontaminaciji i bezbednosti hrane

Ukrajinski regulatorni okvir usklađen je sa standardima Evropske unije (EU), u okviru težnji za pristupanjem EU i usklađivanjem sa pravilima međunarodne trgovine u oblasti poljoprivrede. Ključne oblasti obuhvataju upotrebu pesticida, kontrolu zagađenja nitratima i regulisanje kontaminacije teškim metalima.

Osnovni ukrajinski zakoni i regulative:

Zakon o pesticidima i agrohemijskim sredstvima (2002, sa izmenama)

- Uređuje upotrebu, registraciju i odlaganje pesticida i đubriva
- Zahteva usklađenost sa graničnim vrednostima ostataka (rezidua) u prehrambenim proizvodima propisanim od strane EU.

Zakon o zaštiti životne sredine (1991, sa izmenama)

- Definiše regulative o zagađenju zemljišta, hemijskoj kontaminaciji i upravljanju industrijskim otpadom
- Propisuje standarde za kontaminaciju zemljišta teškim metalima i nitratima u poljoprivredi

Zakon o bezbednosti i higijeni hrane (2014, usklađen sa EU standardima)

- Uspostavlja maksimalno dozvoljene granice ostataka (MRL) za pesticide i kontaminante
- Reguliše proizvodnju, skladištenje i distribuciju hrane za domaće i izvozne tržišta



Nacionalni akcioni plan za smanjenje zagađenja nitratima

- Sprovodi mere za sprečavanje prekomernog ispiranja azotnih jedinjenja u zemljište i vodu
- Pruža podršku poljoprivrednicima u primeni održivih tehnika đubrenja

Strategija održive poljoprivrede i ruralnog razvoja (2020–2030)

- Podržava poljoprivredu koja je otporna na klimatske promene i ekološki je prihvatljiva
- Promoviše preciznu poljoprivredu i bioremedijaciju radi smanjenja rizika od kontaminacije

3.3 Evropsko zakonodavstvo i regulative o kontaminaciji u poljoprivredi

Kako Ukrajina teži bližoj integraciji sa EU, obavezna je da se uskladi sa strogim evropskim zakonima o bezbednosti hrane, zaštiti životne sredine i trgovini.

Ključne EU regulative relevantne za kontaminaciju žitarica:

- **EU regulative o pesticidima i agrohemijskim sredstvima**

Uredba (EZ) br. 1107/2009 – Uređuje odobravanje i upotrebu pesticida u EU

Uredba (EU) 2019/1381 – Uvodi strožu transparentnost u proceni rizika u oblasti hrane

Uticao na Ukrajinu:

- Izvoz ukrajinskih žitarica u EU mora biti u skladu sa **granicama ostataka pesticida** prema **Uredbi (EZ) br. 396/2005**
- Ukrajina mora postepeno izbaciti iz upotrebe **pesticide zabranjene u EU**, poput neonicotinoida
- **EU regulative o nitratima i teškim metalima**

Direktiva o nitratima (91/676/EEZ) – Ograničava zagađenje voda azotnim jedinjenjima

Uredba (EU) 2023/915 o teškim metalima u hrani – Postavlja stroge granice za **kadmijum, olovo i arsen** u žitaricama

Uticao na Ukrajinu:

- Poljoprivrednici moraju primenjivati najbolje prakse upravljanja (BMP) kako bi smanjili ispiranje azota
- Poštovanje **graničnih vrednosti teških metala propisanih od strane EU** je neophodno za izvoz
- **EU zakoni o bezbednosti hrane i trgovini**

Opšti zakon o hrani (Uredba (EZ) br. 178/2002) – Osnov za politiku EU o bezbednosti hrane

Uredba o maksimalnim dozvoljenim granicama ostataka kontaminanata u hrani (EZ br. 1881/2006, dopunjena 2022) – Propisuje granične vrednosti za kontaminante u žitaricama

Uticao na Ukrajinu:

- Proizvođači žitarica u Ukrajini moraju **testirati proizvode na kontaminante pre izvoza**
- Stroga sledljivost je obavezna radi ispunjavanja **HACCP zahteva i standarda bezbednosti hrane**
- **Politike EU o održivoj poljoprivredi i Zelenom dogovoru**

Strategija „Od njive do trpeze“ (2020) – Ima za cilj da smanji upotrebu pesticida i đubriva za **50% do 2030. godine**

Zajednička poljoprivredna politika (ZPP) 2023–2027 – Podržava **ekološki prihvatljivu poljoprivredu** putem subvencija

Uticao na Ukrajinu:

- Ukrajina mora uskladiti svoje **održive poljoprivredne prakse** sa ciljevima EU Zelene agende.

References

- Alexa, E., (2003) Contaminanti in produse vegetale I.S.B.N. 973-620-071-X, Editura Eurobit, Timisoara.
- Alexa, E. (2008) Contaminanți în produse horticoale și cerealiere, ISBN 978-973-729-152-3. Editura SOLNESS, Timișoara.



- *Cabinet of Ministers of Ukraine. (Various decrees aligning with EU MRLs for pesticides). Official Gazette of Ukraine.*
- *Cabinet of Ministers of Ukraine. (Various decrees aligning with EU MRLs for pesticides). Official Gazette of Ukraine.*
- *Council of the European Communities. (1991). Council Directive 91/676/EEC of 12 December 1991 concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources. Official Journal of the European Communities, L 375, 1-8.*
- *Datsko, O., Melnyk, O., Kovalenko, I., Butenko, A., Zakharchenko, E., Ilchenko, V., Onychenko, V., & Solokha, M. (2025). Estimation of the content of trace metals in Ukrainian military-affected soils. Notulae Botanicae Horti Cluj-Napoca, 53(1), 14328.*
- *Didenko, N. O. (2024). SOIL DAMAGE AND RECOVERY IN UKRAINE: LESSONS FROM GLOBAL POST-WAR EXPERIENCES. Land Reclamation and Water Management, (2), 79-86.*
- *ERS USDA (Economic Research Service, U.S. Department of Agriculture). (2023, September). Global Fertilizer Market Challenged by Russia's Invasion of Ukraine*
- *European Commission. (2006). Commission Regulation (EC) No 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. Official Journal of the European Union, L 364, 5-24*
- *European Commission. (2006). Commission Regulation (EC) No 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. Official Journal of the European Union, L 364, 5-24.*
- *European Commission. (2020). A Farm to Fork Strategy for a fair, healthy and environmentally-friendly food system.*
- *European Commission. (2022). Commission Regulation (EU) 2022/1370 of 4 August 2022 amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels of certain contaminants in foodstuffs. Official Journal of the European Union, L 206, 12–25*
- *European Commission. (2023). EU-Ukraine Solidarity Lanes*
- *European Parliament and Council. (2005). Regulation (EC) No 396/2005 of 23 February 2005 on maximum residue levels of pesticides in or on food and feed of plant and animal origin and amending Council Directive 91/414/EEC. Official Journal of the European Union, L 70, 1-16.*
- *European Parliament and Council. (2021). Regulation (EU) 2021/2115 of the European Parliament and of the Council of 2 December 2021 establishing rules on support for strategic plans to be drawn up by Member States under the Common agricultural policy (CAP Strategic Plans) and financed by the European Agricultural Guarantee Fund (EAGF) and by the European Agricultural Fund for Rural Development (EAFRD) and repealing Regulations (EU) No 1305/2013 and (EU) No 1307/2013. Official Journal of the European Union, L 435, 1-186.*
- *FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2022). The impact of the war in Ukraine on global food security and related matters under the mandate of FAO.*



- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2023). *The importance of Ukraine and the Russian Federation for global agricultural markets and the risks associated with the conflict*.
- IFPRI (International Food Policy Research Institute). (2023). *How sanctions on Russia and Belarus are impacting exports of agricultural products and fertilizer*.
- Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine. (2020). *Strategy for Sustainable Agriculture and Rural Development 2020-2030*.
- Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine. (Various National Action Plan documents on Nitrate Pollution Reduction)
- Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. (Various regulations and standards on heavy metal and nitrate contamination in agriculture). *Official Gazette of Ukraine*.
- Pavlo Martyshev, Oleg Nivievskiy, Mariia Bogonos - <https://www.ifpri.org/blog/regional-war-global-consequences-mounting-%20damages-ukraines-agriculture-and-growing-challenges/>
- Sytar, O., & Taran, N. (2022). Effect of heavy metals on soil and crop pollution in Ukraine—a review. *Journal of Central European Agriculture*, 23(4), 881-887.
- UN (United Nations). (2022). *Black Sea Grain Initiative*.
- Verkhovna Rada of Ukraine. (1991). *Law of Ukraine on Environmental Protection (with amendments)*
- Verkhovna Rada of Ukraine. (2002). *Law of Ukraine on Pesticides and Agrochemicals (with amendments)*
- Verkhovna Rada of Ukraine. (2014). *Law of Ukraine on Food Safety and Hygiene (with amendments)*.
- World Bank. (2022). *The impact of the war in Ukraine on global commodity markets*

Poglavlje 4. Mere neophodne za smanjenje kontaminacije žitarica

Žitarice predstavljaju osnovnu komponentu globalne prehrabene ponude, ali njihova kontaminacija štetnim supstancama, uključujući pesticide, teške metale i azotna jedinjenja, predstavlja značajan rizik po zdravlje ljudi i životnu sredinu. Za postizanje bezbednosti hrane i održive poljoprivredne proizvodnje, neophodno je sprovođenje delotvornih mera koje će smanjiti kontaminaciju u svim fazama proizvodnje – počev od upravljanja zemljištem i đubrenja, pa sve do žetve, skladištenja i prerade.

4.1. Mere za smanjenje sadržaja pesticida u žitaricama i proizvodima od žitarica

Primena dobre poljoprivredne prakse (GAP) u proizvodnji žitarica

Sredstva za zaštitu bilja, tj. „pesticidi“, predstavljaju preparate koji štite useve ili poželjne i korisne biljne vrste od štetočina i bolesti. Oni se koriste kako u poljoprivredi, tako i u drugim sektorima. Ovi preparati sadrže najmanje jednu aktivnu supstancu čija je funkcija zaštita biljaka ili biljnih proizvoda od štetočina i bolesti, ali i povećanje prinosa na njivi i kvaliteta nakon žetve, uz istovremeno sprečavanje kontaminacije mikotoksinima koje proizvode određene vrste gljiva i koje se mogu naći u prerađenim proizvodima.

Pesticidi obuhvataju različite grupe hemikalija, uključujući: herbicide, fungicide, insekticide, akaricide, nematocide, moluskocide, regulatore rasta, repelente, rodenticide i biocide, a za svaku od ovih grupa



postoji širok spektar sintetskih jedinjenja. Njihova upotreba dozvoljena je u integriranoj poljoprivredi, dok je u organskoj proizvodnji uglavnom zabranjena. U okviru integrirane poljoprivrede, upotreba pesticida mora biti u skladu sa principima **integrisanog upravljanja štetočinama (IPM)**, koji se zasniva na agronomskim, mehaničkim, fizičkim i biološkim metodama, a upotreba selektivnih sintetskih pesticida se primenjuje samo kada druge metode nisu dovoljne.

Uobičajene IPM prakse uključuju plodored, korišćenje otpornih ili tolerantnih sorti i sertifikovanog semena, kao i upotrebu korisnih organizama, u cilju smanjenja primene hemijskih sredstava. Kada se pesticidi ipak koriste, mora se poštovati propisana **maksimalna dozvoljena količina ostataka (MRLs)**, u skladu sa regulativama nadležnih tela i principima dobre poljoprivredne prakse. Takođe je neophodno primenjivati **anti-rezistentne strategije** kako bi se povećala efikasnost i smanjila učestalost primene pesticida.

Praćenje štetočina putem terenskih opservacija, klasičnih i molekularnih dijagnostičkih metoda, kao i upotrebom sistema za prognozu pojave bolesti i štetočina, omogućava blagovremeno planiranje mera zaštite, uzimajući u obzir granične pragove štetnosti, vrstu useva i klimatske uslove konkretne oblasti. Konkretno, metode kao što su **hiperspektralno snimanje** i **PCR testovi** omogućavaju brzo i precizno otkrivanje patogena, čime se omogućavaju preventivne mere pre pojave simptoma bolesti.

U oblasti upravljanja usevima žitarica primenjuju se nove tehnologije. Zbog nepredvidive prirode vremenskih uslova, često je teško proceniti obim i posledice bolesti u svakoj sezoni. Savremeni alati za procenu rizika, izbor odgovarajućih mera kontrole i donošenje boljih odluka u zaštiti useva od bolesti danas su dostupni, omogućavajući proaktivno, a ne reaktivno upravljanje. Tehnologije daljinskog osmatranja, uključujući satelitske i dron snimke, kao i **Internet alata (IoT)**, nude pristupačne načine za praćenje i upravljanje bolestima na velikim površinama.

Biološki agensi i prirodne supstance, uključujući **induktore otpornosti**, mogu smanjiti intenzitet biljnih bolesti, čime se ograničava potreba za farmaceutskim sredstvima. Strategije za integrisanu zaštitu žitarica od štetočina i bolesti moraju uzeti u obzir i mogućnost pojave gljivičnih infekcija koje proizvode mikotoksine, jer oni mogu kontaminirati zrna i prerađene proizvode.

Prema najnovijim istraživanjima, najznačajniji mikotoksini koji se javljaju kod žitarica su: **deoksinivalenol (DON)**, **zearalenon (ZEN)**, **aflatoksini (AFs)**, **ohratoksin A (OTA)**, **toksini T-2/HT-2** i **fumonizini (FUMs)**. Ove sekundarne metabolite proizvode različite vrste gljiva, pretežno iz rodova **Aspergillus**, **Penicillium** i **Fusarium**. Praćenje prisustva ovih gljiva na terenu omogućava bolje planiranje mera zaštite i sprečavanje kontaminacije žitarica mikotoksinima i njihovih derivata.

Različite metode u domaćinstvu i industriji, kao što su pranje, blanširanje, ljuštenje i termička obrada, pokazale su se efikasnim u smanjenju ostataka pesticida. Nove tehnologije poput hladne plazme, pulsno električnog polja, zračenja i ultrazvuka takođe se primenjuju za razgradnju pesticida i mikotoksina, u zavisnosti od vrste kontaminenata i uslova prerade, pri čemu treba imati u vidu da do njihovog delimičnog razlaganja može doći i tokom mlevenja i kuvanja.

Ipak, najvažniji korak jeste pravilno upravljanje usevima na terenu kako bi se sprečilo nakupljanje ostataka pesticida i mikotoksina nakon žetve i u prerađenim proizvodima.

Smanjenje kontaminenata u žitaricama zahteva sveobuhvatan pristup koji uključuje:

- **Održive poljoprivredne prakse:** primenu tehnika uzgoja koje su prihvatljive za životnu sredinu i koje ograničavaju akumulaciju štetnih supstanci;
- **Tehnologije precizne poljoprivrede:** primenu sistema zasnovanih na veštačkoj inteligenciji za optimizaciju upotrebe đubriva i pesticida;
- **Usklađenost sa propisima:** poštovanje standarda bezbednosti hrane i ekoloških smernica;
- **Prerada i kontrola nakon žetve:** primenu naprednih metoda čišćenja, detoksikacije i laboratorijskog testiranja u cilju otkrivanja i uklanjanja kontaminenata.

Integracijom ovih mera, proizvodnja žitarica može postati bezbednija, održivija i usklađena sa globalnim ciljevima u oblasti bezbednosti hrane.

4.1.1. Integrirano upravljanje štetočinama (IPM)



IPM predstavlja sveobuhvatan pristup koji kombinuje različite metode suzbijanja štetočina sa ciljem smanjenja upotrebe pesticida. Obuhvata sledeće komponente:

- **Biološka kontrola:** Upotreba prirodnih predatora i mikroorganizama za suzbijanje populacije štetočina.
- **Agrotehničke mere:** Plodored, međukultivacija i upotreba sorti otpornih na štetočine radi smanjenja pojave štetočina.
- **Mehanička kontrola:** Postavljanje zamki, barijera i ručno uklanjanje štetočina.
- **Hemijaska kontrola kao poslednja opcija:** Primena pesticida samo kada je neophodno i u minimalnim dozama.

4.1.2. Izbor ekološki prihvatljivih pesticida

Umesto konvencionalnih hemijskih pesticida, treba koristiti bezbednije alternative:

- **Biopesticidi:** Potiču iz prirodnih izvora kao što su bakterije, gljive ili biljni ekstrakti.
- **Hemikalije niske toksičnosti:** Pesticidi koji se brzo razgrađuju u životnoj sredini i imaju minimalan uticaj na neciljane vrste.
- **Precizna primena:** Tehnike ciljane aplikacije kako bi se izbegla prekomerna upotreba pesticida.

4.1.3. Optimizacija metoda i vremena primene pesticida

Pravilna upotreba pesticida smanjuje količinu ostataka u krajnjem proizvodu:

- **Pridržavanje preporučenih doza:** Izbegavanje prekomerne aplikacije.
- **Praćenje vremenskih uslova:** Primena pesticida u optimalnim vremenskim uslovima kako bi se smanjilo raznošenje i ispiranje.
- **Karenca pre žetve:** Obezbeđivanje dovoljnog vremena za razgradnju pesticida pre žetve.

4.1.4. Praćenje ostataka pesticida u zemljištu i vodi

Radi sprečavanja akumulacije pesticida i zagađenja životne sredine, potrebno je sprovesti sledeće mere:

- **Zaštitne zone (buffer zone):** Površine sa vegetacijom u blizini vodotokova koje apsorbiraju pesticide iz oticanja.
- **Upravljanje zemljištem:** Redovno ispitivanje zemljišta i primena biorazgradivih metoda za uklanjanje ostataka pesticida.
- **Sistemi za filtraciju vode:** Sprečavanje kontaminacije izvora za navodnjavanje i pijaću vodu.

4.1.5. Postžetveni tretmani za smanjenje ostataka pesticida u žitu

Postoji više tehnika koje mogu smanjiti ostatke pesticida u požnjevenim žitaricama:

- **Čišćenje i pranje:** Uklanjanje površinskih ostataka.
- **Termička obrada:** Tretman toplotom radi razgradnje pesticida.
- **Ozonizacija i UV tretman:** Metode bez upotrebe hemikalija za razgradnju molekula pesticida.

4.1.6. Monitoring i laboratorijska kontrola

Redovno laboratorijsko ispitivanje obezbeđuje bezbednost žitarica pre nego što stignu do potrošača:

- **Hromatografska i spektrometrijska analiza:** Otkrivanje ostataka pesticida u uzorcima žitarica.
- **Uzorkovanje metodom slučajnog izbora:** Sprovođenje analiza u različitim fazama (na polju, u skladištu, tokom distribucije).
- **Poštovanje propisanih graničnih vrednosti:** Obezbeđivanje da ostaci pesticida ne prelaze dozvoljene nivoe.



4.1.7. Implementacija sistema organske proizvodnje

Prelaskom na organsku proizvodnju smanjuje se upotreba pesticida:

- **Korišćenje komposta i organskih đubriva:** Prirodno poboljšanje plodnosti zemljišta.
- **Primena prirodnih metoda suzbijanja štetočina:** Upotreba korisnih insekata, sadnja pratećih biljaka i biopesticidi.
- **Izbegavanje sintetičkih hemikalija:** Dozvoljena je samo upotreba sertifikovanih organskih sredstava.

4.1.8. Obuka i informisanje poljoprivrednika

Edukacija je ključna za smanjenje upotrebe pesticida:

- **Radionice i seminari:** Obuka o pravilnoj primeni pesticida i alternativnim metodama zaštite bilja.
- **Demonstracione farme:** Prikazivanje efikasnosti održivih tehnika u praksi.
- **Dostupna uputstva i vodiči:** Obezbeđivanje jasnih smernica za smanjenje upotrebe pesticida.

4.1.9. Podizanje svesti potrošača i preporuke za bezbednu ishranu

I potrošači mogu doprineti smanjenju izloženosti pesticidima:

- **Pravilno pranje i ljuštenje:** Uklanjanje ostataka pesticida sa površine proizvoda.
- **Kupovina sertifikovanih organskih proizvoda:** Obezbeđuje niži nivo pesticida.
- **Primena odgovarajućih metoda kuvanja:** Određeni pesticidi se razgrađuju pri visokim temperaturama.

4.1.10. Unapređenje državne kontrole i sistema sertifikacije

Efikasna regulativa obezbeđuje poštovanje standarda bezbednosti:

- **Usklađivanje sa međunarodnim propisima** (npr. EU, Codex Alimentarius).
- **Redovne inspekcije poljoprivrednih gazdinstava i skladišnih prostora.**
- **Strože kazne za prekomernu upotrebu pesticida i kontaminaciju proizvoda.**
- **Podsticanje programa sertifikacije za proizvode bez pesticida ili iz organske proizvodnje.**

Sprovođenjem ovih mera može se značajno smanjiti prisustvo ostataka pesticida u žitaricama, zaštititi ljudsko zdravlje i unaprediti ekološki održiva poljoprivreda.

4.2. Mere za smanjenje kontaminacije teškim metalima u žitaricama i proizvodima od žitarica

Dobra poljoprivredna praksa u proizvodnji žitarica

Mere za smanjenje rizika od prisustva teških metala uključuju: analizu zemljišta na sadržaj teških metala, eventualnu remedijaciju zemljišta putem fitoremedijacije, plodored sa biljkama koje imaju sposobnost akumulacije teških metala, primene dodataka za poboljšanje osobine zemljišta, kao što su: kreč, biougalj (biochar) ili organska materija, u cilju smanjenja bioraspodivnosti metala.

Preporučuje se i kontrola svih inputa koji se koriste tokom proizvodnje, posebno provera kvaliteta vode za navodnjavanje koja mora biti bez kontaminacije metalima poput kadmijuma i olova. Takođe, treba izbegavati fosfatna đubriva bogata kadmijumom, a organska đubriva (kao što je stajnjak) treba prethodno testirati na prisustvo teških metala.

Mere koje se sprovode tokom prerade zrna

Neophodno je stalno praćenje lanca snabdevanja, uz redovnu analizu sirovina i prerađenih proizvoda na prisustvo teških metala.

4.2.1. Kontrola izvora kontaminacije

- Redovno praćenje zemljišta, vode i vazduha radi identifikacije izvora kontaminacije teškim metalima.



- Otkrivanje i ograničavanje upotrebe kontaminiranih đubriva, pesticida i otpadnih voda u poljoprivredi.

4.2.2. Agrohemijska analiza zemljišta

- Periodično ispitivanje zemljišta na sadržaj teških metala.
- Korišćenje isključivo sertifikovanih đubriva i komposta sa niskim sadržajem toksičnih elemenata.

4.2.3. Kalcifikacija zemljišta i upotreba organskih đubriva

- Upotreba krečnih materijala radi smanjenja biodostupnosti teških metala u zemljištu.
- Primena organske materije (humus, biougalj) radi vezivanja teških metala i smanjenja njihove pokretljivosti.

4.2.4. Gajenje useva otpornih na akumulaciju teških metala

- Upotreba biljnih sorti i hibrida sa smanjenom sposobnošću akumulacije teških metala u zrnu.

4.2.5. Fitoremedijacija – biološko prečišćavanje zemljišta

- Gajenje biljaka za fitoremedijaciju (suncokret, slačica, lucerka) koje apsorbuju i uklanjaju teške metale iz zemljišta.

4.2.6. Pravilna selekcija parcela za uzgoj

- Izbegavanje proizvodnje žitarica na kontaminiranim ili industrijskim zemljištima.
- Praćenje površina u blizini industrijskih zona i autoputeva.

4.2.7. Kontrola i prečišćavanje vode za navodnjavanje

- Testiranje vode za navodnjavanje na prisustvo teških metala.
- Korišćenje sistema za filtraciju i drugih tehnologija za prečišćavanje vode.

4.2.8. Optimizacija skladištenja i prerade zrna

- Korišćenje bezbednih materijala za skladištenje kako bi se izbegao kontakt sa metalnim površinama koje mogu ispuštati toksične elemente.
- Uklanjanje površinske kontaminacije pranjem i čišćenjem pre prerade.

4.2.9. Laboratorijska kontrola kvaliteta proizvoda od žitarica

- Redovno testiranje sadržaja teških metala u zrnu, brašnu, pahuljicama i drugim proizvodima.
- Primena standarda bezbednosti u skladu sa nacionalnim i međunarodnim regulativama.

4.2.10. Regulative i nadzor od strane države

- Uvođenje strožih ekoloških propisa i kontrole njihove primene.
- Uvođenje sistema sertifikacije proizvoda u vezi sa sadržajem teških metala.

4.2.11. Razvoj organske poljoprivrede

- Podsticanje prelaska na ekološki prihvatljive metode uzgoja.
- Izbegavanje sintetičkih đubriva i pesticida koji mogu sadržati teške metale.

Sprovođenjem navedenih mera moguće je značajno smanjiti kontaminaciju useva žitarica teškim metalima, povećati bezbednost hrane i minimizirati negativne efekte po zdravlje ljudi i životnu sredinu.

4.3. Mere za smanjenje sadržaja azotnih jedinjenja u žitaricama i proizvodima od žitarica

Azotna jedinjenja, kao što su nitrati, nitriti i biogeni amini, mogu se akumulirati u žitaricama i njihovim proizvodima usled poljoprivrednih praksi, kontaminacije životne sredine ili mikrobiološke aktivnosti tokom prerade i skladištenja. Iako su neka azotna jedinjenja korisna kao pokazatelji sadržaja proteina, druga – naročito u prekomernim količinama – mogu predstavljati rizik po zdravlje.

U cilju unapređenja bezbednosti i kvaliteta hrane, neophodno je sprovođenje efikasnih strategija za smanjenje neželjenih azotnih jedinjenja. One uključuju: optimizaciju đubrenja, izbor sorti žitarica sa niskim stepenom akumulacije azotnih jedinjenja, unapređenje postupaka posle žetve, kontrolu uslova skladištenja (temperatura, vlažnost, ventilacija), primenu ciljanih metoda prerade koje inhibiraju rast mikroorganizama i enzimsku razgradnju.

Zajedno, ove mere doprinose bezbednijim i zdravijim proizvodima od žitarica, uz podršku održivim sistemima poljoprivrede i proizvodnje.



Dobra poljoprivredna praksa u proizvodnji žitarica

Mere ublažavanja uključuju: primenu tehnika precizne poljoprivrede uz redovno testiranje zemljišta na sadržaj azota i prilagođavanje đubrenja stvarnim potrebama, korišćenje sporootpuštajućih ili organskih đubriva kako bi se smanjilo ispiranje azota, očuvanje organske materije u zemljištu, upotrebu komposta i zelenog đubriva za bolji kapacitet zadržavanja azota u zemljištu, plodored sa leguminozama koje prirodno fiksiraju azot u zemljištu, kontrolisano navodnjavanje kap po kap radi sprečavanja ispiranja azota u podzemne vode, dodavanje inhibitora nitrifikacije kako bi se usporila konverzija amonijuma u nitrata i smanjio gubitak azota.

Mere koje se sprovode tokom prerade zrna

Neophodno je obezbediti niske uslove vlažnosti pri skladištenju kako bi se smanjila mikrobiološka razgradnja i formiranje toksičnih azotnih jedinjenja. Potrebno je primeniti tehnike detoksikacije kao što su: potapanje, klijanje, termička obrada, fermentacija (npr. fermentacija kiselim testom), mogu se koristiti za smanjenje sadržaja određenih azotnih jedinjenja.

4.3.1. Optimizacija azotnog đubrenja

- Primena đubriva u skladu sa potrebama biljaka i analizom zemljišta kako bi se sprečilo prekomerno nakupljanje azota.
- Upotreba sporootpuštajućih i stabilizovanih azotnih đubriva radi smanjenja ispiranja nitrata.

4.3.2. Plodored i uključivanje leguminoza

- Uključivanje leguminoznih biljaka koje fiksiraju azot u zemljištu i time smanjuju potrebu za sintetičkim đubrivima.
- Naizmenično gajenje žitarica sa biljkama dubokog korena radi bolje ishrane biljaka azotom.

4.3.3. Precizna poljoprivreda i pametne tehnologije đubrenja

- Korišćenje tehnologija precizne poljoprivrede (dronovi, senzori, veštačka inteligencija) za optimizaciju đubrenja azotom.
- Primena varijabilne doze đubriva (VRA) u skladu sa potrebama useva u realnom vremenu.

4.3.4. Upotreba inhibitora nitrifikacije

- Dodavanje inhibitora nitrifikacije u đubriva radi usporavanja transformacije azota i smanjenja ispiranja nitrata.

4.3.5. Upravljanje navodnjavanjem

- Izbegavanje prekomernog navodnjavanja koje ispire azot iz zemljišta.
- Primena navodnjavanja kap po kap i drugih tehnologija koje štede vodu i sprečavaju gubitke azota.

4.3.6. Organsko đubrenje i kompostiranje

- Zamena sintetičkih đubriva kompostom, stajnjakom i drugim organskim izvorima azota koji se postepeno oslobađa.
- Podsticanje mikrobiološke aktivnosti u zemljištu radi efikasnijeg korišćenja azota.

4.3.7. Unapređenje zdravlja zemljišta i gajenje pokrovnih useva

- Gajenje pokrovnih useva (npr. detelina, slačica) koji apsorbuju višak azota i sprečavaju ispiranje nitrata.
- Povećanje sadržaja organske materije u zemljištu radi boljeg zadržavanja azota.

4.3.8. Pravilno skladištenje i prerada zrna

- Obezbeđivanje optimalnog sušenja i skladištenja zrna kako bi se sprečile promene koje dovode do povećanja sadržaja nitrata.
- Pranje i prerada zrna u cilju uklanjanja površinskih kontaminanata.

4.3.9. Monitoring i laboratorijska ispitivanja



- Redovna analiza uzoraka zemljišta, vode i žitarica u cilju praćenja nivoa nitrata i azotnih jedinjenja.
- Poštovanje propisa o bezbednosti hrane u vezi sa dozvoljenim nivoima azotnih jedinjenja u proizvodima.

4.3.10. Regulativa i mere zaštite životne sredine

- Jačanje državnih propisa u vezi sa upotrebom azotnih đubriva.
- Podsticanje programa sertifikacije proizvoda sa niskim sadržajem nitrata.

Primena ovih mera omogućava značajno smanjenje kontaminacije žitarica azotnim jedinjenjima, poboljšanje bezbednosti hrane i doprinos očuvanju životne sredine.

References:

- Abdelhamied, A. S., Selim, E. M. M., & Mosaad, I. S. (2024). Modified Slow-Release Urea Fertilizers on Yield and Nitrogen Use Efficiency of Wheat Crop (*Triticum aestivum* L) for Safe and Sustainable Agricultural System. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 55(22), 3497-3509.
- Ali, A., Guo, D., Jeyasundar, P. G. S. A., Li, Y., Xiao, R., Du, J., ... & Zhang, Z. (2019). Application of wood biochar in polluted soils stabilized the toxic metals and enhanced wheat (*Triticum aestivum*) growth and soil enzymatic activity. *Ecotoxicology and environmental safety*, 184, 109635.
- Bai, G., Su, Z., & Cai, J. (2018). Wheat resistance to *Fusarium* head blight. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 40(3), 336-346.
- Chełkowski, J. (2010). *Fusarium* head blight of wheat: pathogenic species and their mycotoxins. *World Mycotoxin Journal*, 3(2), 107-119.
- Conservation agriculture based integrated crop management sustains productivity and economic profitability along with soil properties of the maize-wheat rotation. *Scientific reports*, 12(1), 1962.
- de Chaves, M. A., Reginatto, P., da Costa, B. S., de Paschoal, R. I., Teixeira, M. L., & Fuentefria, A. M. (2022). Fungicide resistance in *Fusarium graminearum* species complex. *Current Microbiology*, 79(2), 62.
- Deguine, J. P., Aubertot, J. N., Flor, R. J., Lescourret, F., Wyckhuys, K. A., & Ratnadass, A. (2021). Integrated pest management: good intentions, hard realities. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(3), 38.
- Fărcaș, A. C. (2024). Food Safety in Cereal Grains: Contaminants, Legislation, and Mitigation Strategies. DOI: 10.5772/intechopen.1007523.



- Hendrichs, J., Pereira, R., & Vreysen, M. J. (2021). Area-wide integrated pest management: development and field application (p. 1028). Taylor & Francis.
- Hrynko, I., Kaczyński, P., Łuniewski, S., & Łozowicka, B. (2023). Removal of triazole and pyrethroid pesticides from wheat grain by water treatment and ultrasound-supported processes. *Chemosphere*, 333, 138890.
- Islam, T. (2022). An integrated pest management program for managing fusarium head blight disease in cereals. *Journal of integrative Agriculture*, 21(12), 3434-3444.
- Joshi, P., Sandhu, K. S., Dhillon, G. S., Chen, J., & Bohara, K. (2024). Detection and monitoring wheat diseases using unmanned aerial vehicles (UAVs). *Computers and Electronics in Agriculture*, 224, 109158.
- Khan, B. A., Nadeem, M. A., Nawaz, H., Amin, M. M., Abbasi, G. H., Nadeem, M., Ali, M., Ameen, M., Javaid, M. M., Maqbool, R., Ikram, M., & Ayub M. A. (2023). Pesticides: impacts on agriculture productivity, environment, and management strategies. In *Emerging contaminants and plants: Interactions, adaptations and remediation technologies* (pp. 109-134). Cham: Springer International Publishing.
- Kuzdraliński, A., Kot, A., Szczerba, H., Nowak, M., & Muszyńska, M. (2017). A review of conventional PCR assays for the detection of selected phytopathogens of wheat. *Journal of molecular microbiology and biotechnology*, 27(3), 175-189.
- Lykogianni, M., Bempelou, E., Karamaouna, F., & Aliferis, K. A. (2021). Do pesticides promote or hinder sustainability in agriculture? The challenge of sustainable use of pesticides in modern agriculture. *Science of the Total Environment*, 795, 148625.
- Ma, Q., Liu, W., Zhai, G., Zhu, N., Gu, Y., Liu, H., ... & Zhu, X. (2025). Effect of slow-release nitrogen fertilizer on the vertical distribution of root and soil nutrients in the middle and later stage of wheat. *Plant and Soil*, 1-16.
- Pérez, A. L., & Anderson, K. A. (2009). DGT estimates cadmium accumulation in wheat and potato from phosphate fertilizer applications. *Science of the total environment*, 407(18), 5096-5103.
- Pooniya, V., Zhiipao, R. R., Biswakarma, N., Kumar, D., Shivay, Y. S., Babu, S., Das, K., A. K. Choudhary, Swarnalakshmi, K., Jat, R. D., Choudhary, R. L., Ram, H., Khokhar, M. K., Mukri, G., Lakhena, K. K., Puniya, M. M., Jat, R., Muralikrishnan, L., Singh A. K., & Lama, A. (2022).
- Sadhasivam, S., Britzi, M., Zakin, V., Kostyukovsky, M., Trostanetsky, A., Quinn, E., & Sionov, E. (2017). Rapid detection and identification of mycotoxigenic fungi and mycotoxins in stored wheat grain. *Toxins*, 9(10), 302.



- Sereda, I., Danilov, R., Kremneva, O., Zimin, M., & Podushin, Y. (2023). Development of Methods for Remote Monitoring of Leaf Diseases in Wheat Agroecosystems. *Plants*, 12(18), 3223.
- Simão, L. M., Cruppe, G., Michaud, J. P., Schillinger, W. F., Diaz, D. R., Dille, A. J., ... & Lollato, R. P. (2024). Beyond grain: Agronomic, ecological, and economic benefits of diversifying crop rotations with wheat. *Advances in agronomy*, 186, 51-112.
- Simpson, D. R., Weston, G. E., Turner, J. A., Jennings, P., & Nicholson, P. (2001). Differential control of head blight pathogens of wheat by fungicides and consequences for mycotoxin contamination of grain. *European Journal of Plant Pathology*, 107, 421-431.
- Sojithamporn, P., Leksakul, K., Sawangrat, C., Charoenchai, N., & Boonyawan, D. (2023). Degradation of pesticide residues in water, soil, and food products via cold plasma technology. *Foods*, 12(24), 4386.
- Tudi, M., Daniel Ruan, H., Wang, L., Lyu, J., Sadler, R., Connell, D., Chu, C., & Phung, D. T. (2021). Agriculture development, pesticide application and its impact on the environment. *International journal of environmental research and public health*, 18(3), 1112.
- Wang, G., Hu, F., Li, H., Yin, W., Fan, Z., Fan, H., ... & Chai, Q. (2025). Optimal green manure application reduces nitrogen losses, enhances wheat grain yield, and improves nitrogen use efficiency. *Journal of Integrative Agriculture*.
- Yang, J., Lai, X., Wang, Y., Guo, L., Zong, Y., Zhang, D., ... & Li, P. (2024). Nitrification inhibitor shifts the composition of soil microbial communities and increases N utilization potentials in wheat soil under elevated CO₂ concentration. *Plant and Soil*, 1-16.
- Zhang, X., Zhang, J., Li, L., Liu, Y., Zhen, W., & Wang, G. (2024). Interaction Effects of Water and Nitrogen Practices on Wheat Yield, Water and Nitrogen Productivity under Drip Fertigation in Northern China. *Agriculture*, 14(9), 1496.

Poglavlje 5. Analitičke metode za kontrolu kontaminata

5.1. Analitičke metode za određivanje sadržaja pesticida u žitaricama i proizvodima od žitarica

Metode za analizu pesticida mogu se generalno podeliti u četiri grupe: hromatografske tehnike, spektroskopske tehnike, tehnike masene spektrometrije, imunološke metode za određivanje prisustva kontaminata i kapilarna elektroforeza. Konvencionalne analitičke metode uključuju gasnu hromatografiju (GC) i tečnu hromatografiju visokih performansi (HPLC), koje se kombinuju sa različitim detektorima, kao što su: UV (ultraljubičasti detektor), FD (fluorescentni detektor), DAD (diodni niz detektora). Izbor detektora zavisi od klase analiziranih pesticida: ECD (detektor elektronskog zahvata) koristi se za halogenovane pesticide, FPD (detektor plamene fotometrije) je pogodan za pesticide koji sadrže sumpor i fosfor, NPD (detektor za azot i fosfor) se koristi za jedinjenja koja sadrže azot i/ili fosfor. FID (plameni jonizacioni detektor) je pogodan za detekciju širokog spektra pesticida, ali su MS (masena spektrometrija) i tandemna masena spektrometrija



(MS/MS) superiorne u poređenju sa ostalim detektorima, jer omogućavaju visoku selektivnost i osetljivost. Analize ostataka pesticida zahtevaju kompleksnu pripremu uzoraka, koja obuhvata: ekstrakciju i pročišćavanje uzorka, kako bi se obezbedila efikasna ekstrakcija ciljnih supstanci i izbegla koekstrakcija neželjenih smetajućih jedinjenja. Tehnika QuEChERS (Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe) široko se koristi za analizu više ostataka pesticida u različitim prehrambenim matricama. Ova tehnika je postala popularna zahvaljujući: jednostavnosti primene, brzini izvođenja, mogućnosti ekstrakcije širokog spektra pesticida i manjoj potrošnji organskih rastvarača. Žitarice predstavljaju složenu matricu zbog prisustva masti i visokog udela čvrste materije, pa se preporučuju određene modifikacije QuEChERS metode radi poboljšanja: efikasnosti ekstrakcije, selektivnosti i osetljivosti analize. Pored QuEChERS metode, značajni ekstrakcioni postupci u analizi pesticida, takođe, su: tečno-tečna ekstrakcija i čvrsto-fazna ekstrakcija (SPE). QuEChERS metod je kompatibilan sa analizama koje se sprovode pomoću GC i LC u kombinaciji sa MS ili MS/MS detektorima.

5.2. Analitičke metode za utvrđivanje kontaminacije teškim metalima u žitaricama i proizvodima od žitarica

Najčešće korišćene analitičke tehnike u laboratorijama za ispitivanje hrane, kada je reč o određivanju kontaminacije hranom teškim metalima, su: plamena atomska apsorpciona spektrometrija-(FAAS) i atomska apsorpciona spektrometrija sa grafitnom peći-(GF-AAS). Pored ovih metoda, koriste se i brojne druge visokoosetljive tehnike, među kojima su: atomska emisiona spektrometrija sa induktivno spregnutom plazmom-(ICP-AES); masena spektrometrija sa induktivno spregnutom plazmom-(ICP-MS); atomska apsorpciona spektrometrija sa grafitnom peći i izvorom kontinuuma visoke rezolucije-(HR-CS-GFAAS); hromatografija anjonske razmene u kombinaciji sa ICP-MS (AEC-ICP-MS); optička emisiona spektrometrija sa mikrotalasno indukovanom plazmom -MIP OES; elektrohemijske metode (npr. potenciometrija i druge); atomska fluorescencijska spektroskopija – AFS; X-zračna apsorpciona spektroskopija (XAS).

Priprema uzoraka za analizu obuhvata sledeće korake: sušenje, mlevenje i razgradnju uzorka, koja se može vršiti suvom metodom, mokrim postupkom ili mikrotalasnom digestijom.

5.3. Analitičke metode za određivanje jedinjenja azota u žitaricama i proizvodima od žitarica

Otkrivanje i kvantifikacija jedinjenja koja sadrže azot u žitaricama i proizvodima od žitarica od suštinskog su značaja za procenu njihove nutritivne vrednosti – naročito sadržaja proteina – kao i za postizanje bezbednosti hrane putem praćenja neželjenih azotnih jedinjenja, poput nitrata, nitrita i biogenih amina. U laboratorijama, kako u istraživačkom sektoru, tako i u industrijskoj praksi, rutinski se primenjuje više analitičkih metoda, od kojih svaka ima svoje prednosti i ograničenja.

Kjeldahl-ova metoda

Kjeldahl-ova metoda je jedna od najstarijih i najrasprostranjenijih tehnika za određivanje ukupnog sadržaja azota u prehrambenim proizvodima, uključujući i žitarice. Princip metode se zasniva na digestiji uzorka koncentrovanom sumpornom kiselinom, čime se organski azot pretvara u amonijum-sulfat. Nakon digestije, rastvor se alkalizuje, oslobođeni amonijak se destiliše i kvantifikuje titracijom. Budući da je azot ključna komponenta proteina, dobijena vrednost se koristi za procenu sadržaja proteina pomoću odgovarajućeg konverzionog faktora.

Kjeldahl-ova metoda ostaje referentna metoda zahvaljujući svojoj tačnosti i širokoj primeni. Standardizovana je od strane organizacija kao što su AOAC i ISO, i široko se koristi u laboratorijama za kontrolu kvaliteta u prehrambenoj industriji.

Dumas-ova metoda sagorevanja (elementna analiza)

Alternativa Kjeldahl-ovoj metodi je Dumas-ova metoda, kojom se ukupni azot određuje visokotemperaturnim sagorevanjem. U ovom postupku, uzorak se sagoreva u okruženju bogatom kiseonikom, pri čemu se azot pretvara u molekularni azot (N₂), koji se detektuje pomoću detektora



toplodne provodljivosti. Metoda je brža i ne zahteva upotrebu jakih kiselina ili baza, što je čini bezbednijom i ekološki prihvatljivijom. Međutim, kao i Kjeldahl-ova metoda, ne razlikuje proteinski od ne-proteinskog azota.

UV-vidljiva spektrofotometrija (UV-Vis)

UV-Vis spektrofotometrija se često koristi za detekciju neorganskih jedinjenja azota, kao što su nitrati i nitriti, u uzorcima žitarica. Jedan od najčešće korišćenih postupaka je Griess-ova reakcija, specifična za nitrite. U toj reakciji, nitrit reaguje sa sulfanilnom kiselinom i sredstvom za spajanje, formirajući azobojnu čiji se intenzitet meri spektrofotometrijski na talasnoj dužini od oko 540 nm.

Za nitrata, koji ne reaguju direktno u Griess-ovoj reakciji, neophodna je prethodna redukcija u nitrite. Alternativno, mogu se koristiti metode direktne UV apsorpcije, naročito u opsegu od 220–275 nm. Ova metoda je relativno jednostavna i ekonomična, iako zahteva pažljivo upravljanje mogućim interferencijama iz matriksa uzorka.

Hromatografija visoke efikasnosti (HPLC)

HPLC je veoma moćna tehnika koja omogućava separaciju i kvantifikaciju širokog spektra azotnih jedinjenja u žitaricama, uključujući: slobodne aminokiseline, biogene amine, ureu i male peptide. Detekcija se najčešće vrši pomoću UV, fluorescentne ili masene spektrometrije, u zavisnosti od analita i korišćenih derivatizacionih reagensa. Na primer, aminokiseline se mogu derivatizovati pomoću o-ftalaldehida (OPA) ili dansil hlorida, čime se povećava osetljivost detekcije. HPLC je naročito koristan za nutritivno profilisanje i praćenje fermentacionih ili procesa kvarenja u proizvodima od žitarica.

Jonska hromatografija (IC)

Jonska hromatografija je izuzetno efikasna za određivanje neorganskih azotnih jedinjenja, kao što su nitrati i nitriti. Ova metoda je naročito pogodna kada su potrebne veoma niske granice detekcije ili kada se analiziraju kompleksne matrice žitarica. IC omogućava separaciju jona na osnovu njihovog naboja i veličine, uz visoku osetljivost i specifičnost, što je čini pogodnom za zakonski regulisane analize u oblasti bezbednosti hrane.

Gasna hromatografija (GC) i GC-masena spektrometrija (GC-MS)

Gasna hromatografija, često u kombinaciji sa masenom spektrometrijom (GC-MS), koristi se za detekciju hlapljivih azotnih jedinjenja, kao što su biogeni amini. Ova jedinjenja mogu nastati tokom kvarenja žitarica ili fermentacionih procesa, i mogu služiti kao indikatori kvaliteta proizvoda.

Pre analize, amini se obično derivatizuju radi poboljšanja njihove hlapljivosti i detekcije. Ova tehnika pruža izuzetnu osetljivost i specifičnost, ali zahteva složeniju instrumentaciju i pripremu uzorka u poređenju sa spektrofotometrijskim metodama.

Kapilarna elektroforeza (CE)

Kapilarna elektroforeza je savremena tehnika za analizu azotnih jedinjenja, koja pruža visoku rezoluciju i zahteva minimalne količine uzorka i reagensa. Pogodna je za analizu aminokiselina, nitrata i nitrita. Iako još nije u širokoj upotrebi kao HPLC ili jonska hromatografija, CE postaje sve popularnija u akademskim i visoko preciznim analitičkim laboratorijama, zahvaljujući svojoj efikasnosti i ekološkoj prihvatljivosti.

References

- He, S., Niu, Y., Xing, L., Liang, Z., Song, X., Ding, M., & Huang, W. (2024). Research progress of the detection and analysis methods of heavy metals in plants. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1310328.



- Vasilachi, I. C., Stoleru, V., & Gavrilescu, M. (2023). Analysis of heavy metal impacts on cereal crop growth and development in contaminated soils. *Agriculture*, 13(10), 1983.
- Balkrishna, A., Kumari, A., Kumar, A., Arya, V., Chauhan, A., Upadhyay, N. K., & Kuca, K. (2024). Biosensors for detection of pesticide residue, mycotoxins and heavy metals in fruits and vegetables: A concise review. *Microchemical Journal*, 111292.
- Proshad, R., & Idris, A. M. (2023). Evaluation of heavy metals contamination in cereals, vegetables and fruits with probabilistic health hazard in a highly polluted megacity. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(32), 79525-79550.
- Yutilova, K., Shved, E., Rozantsev, G., & Adamski, A. (2025). Russia–Ukraine war impacts on environment: warfare chemical pollution and recovery prospects. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-18.
- Jomova, K., Alomar, S. Y., Nepovimova, E., Kuca, K., & Valko, M. (2025). Heavy metals: toxicity and human health effects. *Archives of toxicology*, 99(1), 153-209.
- Anwar Samsidar, A. S., Shafiquzzaman Siddiquee, S. S., & Sharifudin Md Shaarani, S. M. S. (2018). A review of extraction, analytical and advanced methods for determination of pesticides in environment and foodstuffs.
- Radowan, A. A. A. (2024). Analytical Techniques for Determining Pesticide Residues in Food: A Comprehensive Review. *International Journal of Materials Technology and Innovation*, 4(1), 42-74.
- Scutarașu, E. C., & Trincă, L. C. (2023). Heavy metals in foods and beverages: Global situation, health risks and reduction methods. *Foods*, 12(18), 3340.
- Shukla, S., Mbingwa, G., Khanna, S., Dalal, J., Sankhyan, D., Malik, A., & Badhwar, N. (2023). Environment and health hazards due to military metal pollution: A review. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 20, 100857.
- Prof. Yuriy Dmytruk Podillia State University (PSU) Soil Protection Institute of Ukraine (SPIU) The State of Soil in Ukraine: Features, degradation and impact of war. [Presentation The-State-Soil-Ukraine 22.10.2024.pdf](#)
- Solokha, M., Demyanyuk, O., Symochko, L., Mazur, S., Vynokurova, N., Sementsova, K., & Mariychuk, R. (2024). Soil degradation and contamination due to armed conflict in Ukraine. *Land*, 13(10), 1614.
- Broomandi, P., Guney, M., Kim, J. R., & Karaca, F. (2020). Soil contamination in areas impacted by military activities: a critical review. *Sustainability*, 12(21), 9002.
- Solokha, M., Pereira, P., Symochko, L., Vynokurova, N., Demyanyuk, O., Sementsova, K., ... & Barcelo, D. (2023). Russian-Ukrainian war impacts on the environment. Evidence from the field on soil properties and remote sensing. *Science of the Total Environment*, 902, 166122.
- Leal Filho, W., Fedoruk, M., Paulino Pires Eustachio, J. H., Barbir, J., Lisovska, T., Lingos, A., & Baars, C. (2023). How the war in Ukraine affects food security. *Foods*, 12(21), 3996.



- The importance of Ukraine and the Russian federation for global agricultural markets and the risks associated with the war in Ukraine. Information note. Food and Agriculture Organizations of the Unaided Nationals. 10 June 2022. Update. [FAO 2023 Risks associated war Ukraine \(no pollutants\).pdf](#)
- Sytar, O., & Taran, N. (2022). Effect of heavy metals on soil and crop pollution in Ukraine—a review. *Journal of Central European Agriculture*, 23(4), 881-887.
- Temkin, A. M., Evans, S., Spyropoulos, D. D., & Naidenko, O. V. (2024). A pilot study of chlormequat in food and urine from adults in the United States from 2017 to 2023. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 34(2), 317-321.
- Wolterink, G., & Moretto, A. PIRIMIPHOS-METHYL (ADDENDUM). *Pesticide residues in food—2006*, 355.
- Lagisz, M., Wolff, K., & Port, G. (2010). Time matters: delayed toxicity of pirimiphos-methyl on *Tribolium castaneum* (Herbst)(Coleoptera: Tenebrionidae) and its effects on efficacy estimation of residual treatments. *Journal of Stored Products Research*, 46(3), 161-165.
- Conclusion regarding the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance pirimiphos-methyl; finalised: 10 August 2005. EFSA Scientific Report (2005) 44, 1-53, Conclusion on the peer review of pirimiphos-methyl. <http://www.efsa.eu.int>
- Division of Toxicology and Human Health Sciences-Glyphosate - ToxFAQs™. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. August 2020. [Toxfacts Glyphosate.pdf](#)
- TOXICOLOGICAL PROFILE FOR CHLORPYRIFOS U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry. September 1997.
- [ATSDR ToxProfile Chlorpyrifos.pdf](#)
- GUIDELINES FOR DRINKING-WATER QUALITY: FOURTH EDITION INCORPORATING THE FIRST AND SECOND ADDENDA. 12. CHEMICAL FACT SHEETS. p. 487-488. [pirimiphos-methyl-fact-sheet-WHO.pdf](#)
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry ToxFAQs, U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES, Public Health Service: CHLORPYRIFOS CAS # 2921-88-2. September 1997. [Toxfacts84 Chlorpyrifos.pdf](#)
- Nugent, A., & Thielecke, F. (2020). Dietary intakes of whole grains, health benefits but do contaminants pose a major risk?. *Proceedings of the Nutrition Society*, 79(OCE2), E436.
- Thielecke, F., & Nugent, A. P. (2018). *Contaminants in grain—A major risk for whole grain safety? Nutrients* 10 (9): 1213.
- Anca Corina Fărcaș (2024). Chapter: Food Safety in Cereal Grains: Contaminants, Legislation, and Mitigation Strategies in Worldwide Megatrends in Food Safety and Food Security.
- DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.1007523>. [Farcas 2024 Chapter.pdf](#)



- Ukrainian wheat crop-2020: quality and safety under the spotlight. Source: [APK-Inform](#). Sep 17, 2020.
- [Ukrainian wheat crop-2020: quality and safety under the spotlight](#)

Poglavlje 6. Zdravstveni rizici u vezi sa kontaminacijom žitarica i proizvoda od žitarica

6.1. Zdravstveni rizici od konzumacije žitarica i proizvoda od žitarica kontaminiranih pesticidima

Konzumacija žitarica i proizvoda od žitarica kontaminiranih pesticidima može predstavljati različite zdravstvene rizike, u zavisnosti od vrste i količine pesticida, trajanja izloženosti i opšteg zdravstvenog stanja pojedinca.

Mogući zdravstveni rizici

Akutna toksičnost: Neki pesticidi mogu izazvati akutna trovanja, koja se manifestuju mučninom, povraćanjem, dijarejom, glavoboljom, vrtoglavicom, konvulzijama, pa čak i smrću u slučaju visokih doza.

Dugoročni efekti: Dugotrajna izloženost pesticidima, čak i pri niskim dozama, može povećati rizik od hroničnih oboljenja, kao što su:

- **Kancer:** Određeni pesticidi su klasifikovani kao kancerogeni ili mogu doprineti razvoju karcinoma, naročito leukemije, ne-Hodžkinovog limfoma i raka dojke.
- **Neurološke bolesti:** Izloženost pesticidima može uticati na nervni sistem i povećati rizik od Parkinsonove bolesti, Alchajmerove bolesti i drugih neurodegenerativnih poremećaja.
- **Hormonski poremećaji:** Neki pesticidi narušavaju funkciju endokrinog sistema, što može uticati na plodnost, razvoj i funkciju štitne žlezde.
- **Respiratorni problemi:** Udisanje ili dermalna izloženost određenim pesticidima može izazvati astmu, bronhitis i druge respiratorne tegobe.
- **Oslabljen imuni sistem:** Pesticidi mogu oslabiti imuni odgovor, povećavajući osetljivost na infekcije.
- **Problemi u razvoju dece:** Izloženost trudnica pesticidima može rezultirati niskom porođajnom težinom, urođenim deformitetima i razvojnim kašnjenjima kod dece.

Faktori koji utiču na rizik:

Vrsta pesticida: Različiti pesticidi imaju različit stepen toksičnosti i mogu izazvati različite zdravstvene efekte.

Količina pesticida: Što je veća količina unetog pesticida, veći je zdravstveni rizik.

Trajanje izloženosti: Ponavljana ili dugotrajna izloženost pesticidima može povećati rizik od dugoročnih efekata.

Zdravstveno stanje pojedinca: Osobe sa oslabljenim imunim sistemom, trudnice, mala deca i osobe sa određenim prethodnim zdravstvenim stanjima mogu biti osetljivije na štetne efekte pesticida.

6.2. Zdravstveni rizici od konzumacije žitarica i proizvoda od žitarica kontaminiranih teškim metalima

Toksični teški metali, kao što su kadmijum, živa, olovo i arsen, ne samo da mogu konkurisati esencijalnim mineralima (npr. kalcijumu, magnezijumu i gvožđu) u procesu ćelijskog unosa, već i da pokazuju afinitet prema vitalnim ćelijskim komponentama, uključujući strukturne proteine, enzime i nukleinske kiseline, što potencijalno može narušiti njihove funkcije. Konzumiranje žitarica i proizvoda od žitarica kontaminiranih teškim metalima predstavlja širok spektar zdravstvenih rizika, čija manifestacija zavisi od više faktora, uključujući vrstu i koncentraciju teškog metala, trajanje



izloženosti i fiziološko stanje pojedinca. Teški metali su štetni čak i u malim koncentracijama zbog svoje duge biološke poluživota, postojanosti i sposobnosti da se akumuliraju u organima.

Zdravstveni rizici kontaminacije žitarica i proizvoda od žitarica teškim metalima

Žitarice i proizvodi od žitarica mogu akumulirati teške metale kao što su **olovo (Pb)**, **arsen (As)** i **kadmijum (Cd)** iz kontaminiranog zemljišta, vode i vazduha. Hronična izloženost ovim metalima putem ishrane predstavlja značajan zdravstveni rizik.

Akutna toksičnost: Izloženost određenim teškim metalima, kao što su živa i arsen, može izazvati akutno trovanje, koje se karakteriše simptomima kao što su mučnina, povraćanje, dijareja, glavobolja, vrtoglavica, konvulzije, a u ekstremnim slučajevima i smrt.

Dugoročni efekti: čak i dugotrajna izloženost niskim dozama teških metala može povećati učestalost ozbiljnih hroničnih bolesti:

- **Kancer:** određeni teški metali, kao što su arsen, kadmijum i olovo, klasifikovani su kao kancerogeni ili mogu doprineti razvoju neoplazmi, posebno raka kože, pluća, bešike i bubrega.
- **Neurološke bolesti:** izloženost teškim metalima može uticati na nervni sistem i povezuje se sa etiologijom neurodegenerativnih poremećaja kao što su Parkinsonova i Alchajmerova bolest.
- **Poremećaji funkcije bubrega:** kadmijum i olovo mogu oštetiti bubrežnu funkciju, povećavajući rizik od bubrežne insuficijencije.
- **Problemi sa kostima:** olovo može ometati metabolizam kalcijuma, što doprinosi razvoju osteoporoze i povećava rizik od preloma.
- **Oštećenje kardiovaskularnog sistema:** neki teški metali mogu negativno uticati na krvni pritisak i srčani ritam, povećavajući rizik od kardiovaskularnih bolesti.
- **Razvojni problemi kod dece:** Izloženost teškim metalima tokom trudnoće može imati negativne posledice na razvoj ploda, uključujući nisku porođajnu težinu, urođene malformacije i kašnjenje u neurološkom razvoju.

Specifičniji zdravstveni rizici kontaminacije žitarica i proizvoda od žitarica teškim metalima, u zavisnosti od pojedinačnih elemenata, prikazani su u nastavku.

➤ **Olovo (Pb):**

- **Neurološka oštećenja** – Posebno štetna za decu, izazivaju kognitivna oštećenja, smanjenje koeficijenta inteligencije (IQ) i razvojna kašnjenja.
- **Efekti na kardiovaskularni sistem** – Povećan rizik od hipertenzije i srčanih oboljenja.
- **Oštećenje bubrega** – Dugotrajna akumulacija može dovesti do poremećaja funkcije bubrega.

➤ **Arsen (As):**

- **Karcinogenost** – Dugotrajna izloženost neorganskom arsenu povezuje se sa pojavom karcinoma (kože, pluća, bešike).
- **Kožni poremećaji** – Hiperpigmentacija, lezije i keratoze.
- **Neurološki i kardiovaskularni efekti** – Povećan rizik od kognitivnog opadanja, dijabetesa i kardiovaskularnih bolesti.

➤ **Kadmijum (Cd):**

- **Toksčnost za bubrege** – Glavni ciljni organ; hronična izloženost dovodi do bubrežne insuficijencije.
- **Slabost kostiju** – Uzrokuje iscrpljivanje kalcijuma, što vodi do osteoporoze i preloma.
- **Karcinogenost** – Klasifikovan kao ljudski kancerogen, povezan sa rakom pluća i prostate.

Osetljive populacije

- **Novorođenčad i deca** – Osetljiviji na neurološka oštećenja i razvojne poremećaje.
- **Trudnice** – Rizik od prelaska teških metala preko placente, što utiče na razvoj fetusa.
- **Starije osobe** – Veći rizik od oštećenja bubrega i bolesti vezanih za kosti.



Regulatorni limiti i prevencija

Strogi regulatorni limiti za nivoe teških metala u hrani postavljeni su od strane organizacija kao što su EFSA, WHO i FDA. Preventivne mere uključuju praćenje kvaliteta zemljišta i vode, kontrolisanu upotrebu đubriva, kao i tehnike obrade koje smanjuju kontaminaciju žitarica.

Toksične manifestacije

Akutna toksičnost: izloženost određenim teškim metalima, kao što su živa i arsen, može izazvati akutno trovanje, koje se karakteriše simptomima kao što su mučnina, povraćanje, dijareja, glavobolja, vrtoglavica, konvulzije, a u ekstremnim slučajevima i smrt.

Dugoročni efekti: čak i dugotrajna izloženost niskim dozama teških metala može povećati učestalost ozbiljnih hroničnih bolesti:

-**Kancer:** određeni teški metali, uključujući arsen, kadmijum i olovo, priznati su kao kancerogeni ili su povezani sa razvojem neoplazmi, naročito karcinoma kože, pluća, bešike i bubrega.

-**Kardiovaskularna disfunkcija:** određeni teški metali povezani su sa štetnim efektima na kardiovaskularni sistem, uključujući promene krvnog pritiska i srčanog ritma, što može povećati rizik od kardiovaskularnih bolesti.

-**Neurološke bolesti:** izloženost teškim metalima može uticati na nervni sistem i povezivana je sa nastankom neurodegenerativnih poremećaja kao što su Parkinsonova bolest i Alchajmerova bolest.

-**Bubrežni poremećaji:** kadmijum i olovo mogu oštetiti funkciju bubrega, povećavajući rizik od bubrežne insuficijencije.

-**Problemi sa kostima:** olovo može ometati metabolizam kalcijuma, pospešujući osteoporozu i prelome kostiju.

-**Razvojni problemi kod dece:** izloženost teškim metalima tokom trudnoće može izazvati negativne razvojne posledice, uključujući nisku porođajnu težinu, urođene mane i neurološke zaostatke u razvoju.

-**Toksičnost jetre:** Narušavanjem ravnoteže antioksidativnog sistema u ljudskom organizmu, teški metali izazivaju oksidativni stres u jetri, što može dovesti do upale, izazvati kancerogene promene i otkazivanje funkcije jetre.

-**Metabolički efekti i sistemska toksičnost organa:** vezivanjem za proteine u biološkim sistemima i učestvovanjem u redoks reakcijama, teški metali narušavaju mehanizme ćelijske regulacije i izazivaju disfunkciju antioksidativnih mehanizama ćelije, što dovodi do stvaranja reaktivnih kiseoničkih vrsta koje dodatno oštećuju DNK, razgrađuju i inaktiviraju biomolekule.

Faktori rizika

Vrsta teškog metala: svaki teški metal ima specifičan toksični profil i izaziva različite zdravstvene efekte.

Koncentracija teškog metala: što je veća količina unetog teškog metala, veći je zdravstveni rizik.

Trajanje izloženosti: ponavljana ili dugotrajna izloženost teškim metalima povećava rizik od dugoročnih posledica.

Zdravstveno stanje pojedinca: osobe sa oslabljenim imunim sistemom, trudnice, mala deca i osobe sa određenim prethodnim zdravstvenim stanjima su osetljivije na štetne efekte teških metala.

6.3. Zdravstveni rizici od kontaminacije žitarica azotnim jedinjenjima

Prisustvo azotnih kontaminanata u žitaricama predstavlja značajnu pretnju za javno zdravlje. Ova jedinjenja, uključujući nitrata, nitrite i amine, mogu poticati iz različitih antropogenih izvora, kao što su đubriva, pesticidi i ispuštanje otpadnih voda.

Mehanizmi kontaminacije:



Kontaminacija žitarica azotnim jedinjenjima može se dogoditi tokom celokupnog procesa proizvodnje i prerade:

- **Pre žetve:** prekomerna upotreba azotnih đubriva može dovesti do povišenih koncentracija nitrata u zemljištu, što dalje rezultira povećanim unosom i akumulacijom ovih jedinjenja u biljnim tkivima.
- **Posle žetve:** nepovoljni uslovi skladištenja mogu pogodovati razmnožavanju mikroorganizama koji su sposobni da pretvaraju nitrata u nitrite i amine.
- **Tokom prerade:** Određene tehnike prerade, uključujući prženje i fermentaciju, mogu podstaći formiranje aaminskih jedinjenja.

Nepovoljni zdravstveni ishodi

Konzumiranje žitarica kontaminiranih azotnim jedinjenjima može dovesti do niza nepovoljnih zdravstvenih posledica, čija ozbiljnost zavisi od koncentracije kontaminanata i trajanja izloženosti. Ključni zdravstveni rizici uključuju:

- **Methemoglobinemija:** nitriti mogu oksidovati hemoglobin u methemoglobin, oblik proteina koji ne prenosi kiseonik. To može ometati snabdevanje tkiva kiseonikom, što dovodi do cijanoze, umora i otežanog disanja.
- **Karcinogenost:** određeni amini mogu reagovati sa nitritima u kiselom okruženju želuca i formirati nitrozamine – jedinjenja poznata po svom kancerogenom potencijalu.
- **Sistemska toksičnost:** izloženost azotnim jedinjenjima povezuje se sa razvojem različitih zdravstvenih poremećaja, uključujući neurološke, kardiovaskularne i reproduktivne disfunkcije.

Strategije ublažavanja rizika

Efikasno ublažavanje kontaminacije žitarica azotnim jedinjenjima zahteva sprovođenje preventivnih i kontrolnih mera u svim fazama proizvodnje i prerade:

- **Optimizovana primena đubriva:** razborita upotreba azotnih đubriva, prilagođena specifičnim potrebama useva, ključna je za smanjenje akumulacije nitrata u zemljištu i njihovog naknadnog unosa u biljke.
- **Kontrolisani uslovi skladištenja:** održavanje odgovarajućih uslova skladištenja koji sprečavaju razmnožavanje mikroorganizama i formiranje azotnih nusproizvoda od suštinskog je značaja.
- **Sveobuhvatno obezbeđenje kvaliteta:** redovno praćenje nivoa azotnih jedinjenja u žitaricama i proizvodima od žitarica putem analitičkog ispitivanja neophodno je radi zaštite potrošača.

Referencese

- Alavanja, M. C. R., Bonner, M. R., & Beane Freeman, L. E. (2012). Pesticide exposure and cancer risk: An update from the Agricultural Health Study. *Environmental Health Perspectives*, 120(6), 879-887.
- Amarloei, A., Nourmoradi, H., Nazmara, S., Heidari, M., & Mohammadi-Moghadam, F. (2024). Toxic heavy metals of agricultural products in developing countries and its human health risk assessment: A study from Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(1), 1-18.
- Amiard, J., Amiardtriquet, C., Barka, S., Pellerin, J., Rainbow, P., 2006. Metallothioneins in aquatic invertebrates: Their role in metal detoxification and their use as biomarkers. *Aquat. Toxicol.* 76, 160–202.



- Arora, M., Mittleman, M. A., & Sanyal, S. (2024). Heavy metal exposure and cardiovascular disease. *Circulation Research*, 134(8), 1162-1175.
- Balali-Mood, M., Naseri, K., & Afshari, R. (2021). Toxic effects of heavy metals. *Journal of Medical Toxicology*, 17(1), 1-28.
- Barman, S. C., Kisku, G. C., & Singh, R. (2024). Heavy metal contamination and its impact on the food chain: Exposure, bioaccumulation, and risk assessment. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 30(3), 2438726.
- Corsini, E., Luster, M. I., & Kimura, J. (2015). A comprehensive review of pesticides and the immune dysregulation: Mechanisms, evidence and consequences. *Toxicology Mechanisms and Methods*, 25(4), 258-278.
- Goyer, R., Golub, M., Choudhury, H., Hughes, M., Kenyon, E., Stifelman, M., 2004. U.S. Environmental Protection Agency, Issue paper on the human health effects of metals. https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-11/documents/human_health_effects.pdf
- Grandjean, P., & Landrigan, P. J. (2014). Neurobehavioural effects of developmental toxicity. *The Lancet Neurology*, 13(3), 330-338.
- Henriques, B., Rocha, L.S., Lopes, C.B., Figueira, P., Duarte, A.C., Vale, C., Pardal, M.A., Pereira, E., 2017. A macroalgae-based biotechnology for water remediation: Simultaneous removal of Cd, Pb and Hg by living *Ulva lactuca*. *J Environ Manage*. 191, 275-289.
- Jaishankar, M., Tseten, T., Annu, N., Kumar, A., & Bhasker, R. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Chemosphere*, 108, 105-115.
- Jurewicz, J., Hanke, W., & Zielinska, A. (2019). Pesticides: Environmental stressors implicated in the development of central nervous system disorders and neurodegeneration. *Toxics*, 7(2), 31.
- Kim, Y. H., Kim, K. H., & Kim, Y. S. (2017). Immunotoxicity of pesticides: From mechanisms to adverse health effects. *Journal of Clinical Toxicology*, 7(1), 1000331.
- Kumar, K., & Ram, M. (2014). Acute pesticide poisoning: A proposed classification tool. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B, Critical Reviews*, 17(1), 22-38.
- Mnif, W., Hassine, A. I. H., Bouaziz, A., Bartegi, A., Thomas, O., & Mosbah, H. (2011). Effect of endocrine disruptor pesticides: A review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8(6), 2265-2283.
- Mostafalou, S., & Abdollahi, B. (2013). Cancer health effects of pesticides: Systematic review. *Iranian Journal of Toxicology*, 7(2), 527-544.
- Mostafalou, S., & Abdollahi, M. (2013). Pesticides and neurodegenerative diseases: An update. *Neurotoxicology*, 34, 242-253.
- Rauh, V. A., Arunachalam, S., & Horton, M. K. (2020). Prenatal and childhood pesticide exposure and neurodevelopmental outcomes: A review. *Environmental Health Perspectives*, 128(7), 075001.



- Rahman, M. A., Uddin, M. J., & Rahman, M. M. (2021). Heavy metal contamination and associated health risk in the most consumed fruits and vegetables from agricultural lands of Bangladesh. *Exposure and Health*, 13(2), 263-278.
- Roohani, N., Hurrell, R., Kelishadi, R., Schulin, R., 2013. Zinc and its importance for human health: An integrative review. *J. Res. Med. Sci. Off. J. Isfahan Univ. Med. Sci.* 18, 144–157.
- Salameh, P., Baldi, I., & El Hajj, T. (2018). Environmental exposure to pesticides and respiratory health. *Current Opinion in Pulmonary Medicine*, 24(1), 47-53.
- Sarwar, M. F., Sarwar, M., Sarwar, M. H., & Khalid, M. T. (2016). Environmental and health effects of pesticide residues. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(16), 16040-16056.
- Sharma, A., Kumar, A., & Singh, R. (2024). A systematic review of pesticide exposure, associated risks, and long-term human health impacts. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(1), 1-18