ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ПРОГРАМИ

НАЗВА ПРОЄКТУ: «Я їм, щоб жити, чи живу, щоб їсти» (OpenEAT)
РЕЄСТРАЦІЙНИЙ НОМЕР ПРОЄКТУ: 1-2024-1-RO01-KA220-VET-000249064
НАВЧАЛЬНА ПРОГРАМА АДРЕСОВАНА експертам і фахівцям у сфері сільського господарства, харчових технологій, безпечності харчових продуктів і дієтології.

ВИКЛАДАЧІ, ВІДПОВІДАЛЬНІ ЗА ТЕОРЕТИЧНІ РОЗДІЛИ:
Провідний партнер (ROMPAN): Даніела Войка, Дана Аврам
Партнер 1 (UBARI): Паскуале Філанніно, Донато Герін, Стефанія Полластро
Партнер 2 (ANSES): Петру Джітару, Рачіда Чекрі, Чантадарі Інтавонг, Жульєн Паріне
Партнер 3 (ULST): Ерсілія Алекса, Делія Думбрава, Камелія Молдован, Коріна Міска, Діана Раба, Мірела Попа
Партнер 4 (FINS): Александра Торбіца, Бояна Філіпчев, Олівера Шимуріна
Партнер 6 (УКР): Ірина Антонік, Раїса Вожегова, Тарас Жигайло. Олександр Шабля, Наталія Валентюк, Наталія Волкова.

ВИКЛАДАЧІ, ВІДПОВІДАЛЬНІ ЗА ПРАКТИЧНІ ЧАСТИНИ:
Координатор (ROMPAN): Даніела Войка, Дана Аврам
Партнер 1 (UBARI): Паскуале Філаніно, Донато Джерін, Стефанія Поластро
Партнер 2 (ANSES): Петрю Жітару, Жюльєн Паріне
Партнер 3 (ULST): Ерсілія Алекса, Делія Думбрава, Камелія Молдован, Коріна Мішка, Діана Раба, Мірела Попа
Партнер 4 (FINS): Александра Торбіца, Бояна Філіпчев, Олівера Шимуріна.
Партнер 6 (УКР): Ірина Антонік, Раїса Вожегова, Тарас Жигайло. Олександр Шабля, Наталія Валентюк, Наталія Волкова.

Мета	Навчальна програма встановлює когнітивні навички та здібності, необхідні експертам та спеціалістам щодо заходів щодо зменшення забруднення зернових культур та продуктів переробки, методологій виявлення пестицидів, важких металів та токсичних сполук азоту, а також їх впливу на здоров'я. Когнітивні навички стосуються здатності, необхідної для використання наукових концепцій, що належать до фундаментальних дисциплін хімії, біології та загальних технологій, з метою розробки нових стратегій безпеки харчових продуктів у контексті конфлікту в Україні. Навчальна програма представить теоретичні та практичні аспекти заходів щодо зменшення забруднення зернових культур, методологій виявлення пестицидів, важких металів та токсичних сполук азоту, а також їх впливу на здоров'я.
Когнітивні навички	Під час розробки навчальної програми, зосередженої на заходах щодо зменшення забруднення зернових культур та продуктів переробки пестицидами, сполуками азоту та важкими металами, сформувано когнітивні навички, що сприятимуть розвитку здатності до вирішення проблем, критичного мислення та прийняття рішень. Нижче наведено основні когнітивні навички, які слід включити: **1. Аналітичне мислення** ● Визначення джерел забруднення зернових культур та їх впливу на здоров'я ● Аналіз даних про хімічний склад ґрунту і отриманої продукціїї рослинництва для виявлення тенденцій забруднення ● Оцінка ефективності різних стратегій зменшення забруднення **2. Критичне мислення** ● Оцінювання ризиків, пов'язаних із забрудненням пестицидами та важкими металами ● Порівняння різних сільськогосподарських практик щодо зниження забруднення ● Критичний аналіз і перевірка наукових даних про методи контролю забруднення **3. Вирішення проблем** ● Розробка інноваційних рішень для мінімізації забруднення ● Адаптація агротехнічних прийомів для зменшення залишків хімічних речовин ● Подолання викликів щодо дотримання нормативних вимог у реальних умовах **4. Прийняття рішень** ● Вибір відповідних стратегій захисту рослин з мінімальним впливом на довкілля ● Забезпечення балансу між продуктивністю та сталим розвитком у

	вирощуванні зернових культур ●Інтерпретація лабораторних результатів для ухвалення обґрунтованих рішень щодо контролю забруднення продукції рослинництва **5. Наукове дослідження та дослідницькі навички** ● Проведення польових експериментів спрямованих на зменшення забруднення грунту та продукціії рослинництва ● Аналіз наукової літератури з питань зниження умісту пестицидів та важких металів в грунті та продукції рослинництва ● Застосування наукових методів для оцінки рівня забруднення грунту та отриманої продукції **6. Системне мислення** ● Розуміння взаємозв'язків між ґрунтом, водою, сільськогосподарськими культурами та забруднювачами ● Усвідомлення довгострокових наслідків забруднення для екосистем і здоров'я людини ● Розробка сталих сільськогосподарських систем, що мінімізують ризики забруднення
Професійні навички	**Розробка навчальної програми з мінімізації забруднення зернових культур потребує поєднання наукових, технічних та нормативно-правових знань.** **1. Навички сільськогосподарських та екологічних наук** ● Розуміння впливу пестицидів на ґрунт та сільськогосподарські культури ● Знання циклу азоту та впливу добрив на зернові культури ● Усвідомлення джерел забруднення важкими металами (промислове забруднення, склад ґрунту, зрошення) ● Методи моніторингу ґрунту та сільськогосподарських культур **2. Безпека та контроль якості харчових продуктів** **● Принципи аналізу небезпек та критичних контрольних точок (HACCP)** ● Оцінка ризику щодо залишків пестицидів та важких металів ● Методи лабораторних досліджень для виявлення забруднення (наприклад, хроматографія, спектроскопія) ●Міжнародні правила безпеки харчових продуктів (ЄС, ФАО, Кодекс Аліментаріус) **3. Стале землеробство та точне сільське господарство farming practices** ● Найкращі практики застосування пестицидів і стратегії їх скорочення ● Методи інтегрованого захисту рослин (IPM) ● Органічні та відновлювальні методи ведення сільського господарства ● Інструменти точного землеробства (дрони, сенсори, штучний інтелект для моніторингу стану ґрунтів)

	4. Регуляторні знання та дотримання вимог ● Правові норми щодо використання пестицидів та граничних рівнів залишків ● Максимально допустимі рівні залишків (MRLs) і регуляторні стандарти ● Вимоги до сертифікації органічних зернових продуктів **5. Аналіз даних і використання технологій** ● Статистичний аналіз рівнів забруднення ● Використання геоінформаційних систем (ГІС) для картування забруднення ґрунтів і водних ресурсів ● Застосування штучного інтелекту (ШІ) та Інтернету речей (IoT) для моніторингу забруднення агроекосистем
Одиниці компетентності	**1. Джерела забруднення та оцінка ризиків** **Компетентності:** ● Визначати основні джерела забруднення зернових культур (пестициди, добрива, важкі метали) ● Оцінювати екологічні та агрономічні чинники, що сприяють забрудненню ● Аналізувати шляхи потрапляння забрудників (ґрунт, вода, повітря) та їх вплив на безпеку харчових продуктів **Ключові теми:** ● Утворення та стійкість залишків пестицидів ● Азотні сполуки: надмірне використання, стік та вимивання ● Накопичення важких металів із промислових і природних джерел ● Методики оцінки ризиків **2. Стале та інтегроване землеробство** **Компетентності:** ● Застосовувати інтегровані методи захисту рослин (IPM) для мінімізації використання пестицидів ● Впроваджувати методи точного землеробства під час удобрення для зменшення забруднення азотними сполуками ● Використовувати методи рекультивації та збереження ґрунтів для зменшення надходження важких металів у рослини **Ключові теми:** ● Біологічний захист рослин і сівозміна ● Точне землеробство для контрольованого внесення добрив ● Управління кислотністю ґрунту та методи біоремедіації ● Альтернативи органічного землеробства **3. Моніторинг і виявлення забрудників** **Компетентності:** ● Проводити польові та лабораторні дослідження для моніторингу залишків пестицидів, нітратів і важких металів ● Використовувати сучасні методи виявлення (хроматографія, спектрометрія, біосенсори) забруднювачів

	● Інтерпретувати рівні забруднення та пропонувати коригувальні дії **Ключові теми:** ● Лабораторні методи тестування (GC-MS, HPLC, ICP-MS) ● Нормативні обмеження щодо забрудників (ЄС, Кодекс Аліментаріус, стандарти ФАО) ● Швидкі методи тестування на місці **4. Дотримання нормативних вимог і стандартів безпеки харчових продуктів** **Компетентності:** ● Застосовувати гранично допустимі рівні залишків (MRLs) та вимоги до харчової безпеки ● Забезпечувати відповідність національним і міжнародним стандартам ● Впроваджувати HACCP (аналіз небезпек і критичні контрольні точки) для запобігання забрудненню **Ключові теми:** ● Регулювання використання пестицидів у ЄС, Кодекс Аліментаріус ФАО, рекомендації ВООЗ ● Належна сільськогосподарська практика (GAP) ● Принципи HACCP для виробництва та зберігання зерна і зернових продуктів **5. Технологічні та цифрові рішення для зменшення забруднення** **Компетентності:** ● Використовувати технології точного землеробства (дрони, сенсори, ШІ) для контролю забруднення ● Застосовувати ГІС-картографування для моніторингу забруднених ділянок ● Впроваджувати «розумні» системи зрошення та внесення добрив **Ключові теми:** ● Застосування ШІ та Інтернету речей (IoT) у сталому сільському господарстві ● Картографування забруднення на основі ГІС ● Автоматизовані системи внесення пестицидів і добрив **6. Сталий ланцюг постачання та інформованість споживачів** **Компетентності:** ● Керувати процесом післязбиральної обробки з метою запобігання забрудненню ● Забезпечувати сталість постачання та простежуваність у виробництві зерна і зернових продуктів ● Підвищувати обізнаність зацікавлених сторін щодо ризиків забруднення та стратегій їх мінімізації **Ключові теми:** ● Запобігання забрудненню під час зберігання й транспортування зерна і

	зернових прдуктів ● Технології блокчейн і системи простежуваності ● Освітні заходи для споживачів щодо безпечності харчових продуктів
Елементи інноваційності	Елементи інноваційності обумовлені взаємодоповнюваністю компетентностей, які передбачено впровадити для цільових груп. Вони охоплюють такі напрями, як агрономія, захист зернових культур від шкодочинних організмів, виявлення джерел забруднення та вмісту токсичних сполук, аналітичні інструменти та вплив на здоров'я. Метою є ефективне управління забрудненням під час вирощування і переробки зернових культур та забезпечення харчової безпеки в контексті воєнного конфлікту в Україні.
The impact	**Впровадження добре структурованої навчальної програми з цієї теми** може мати суттєвий позитивний вплив у різних сферах — від сільського господарства та громадського здоров'я до екологічної сталості та економічних вигод. Нижче наведено основні напрями впливу: **1. Вплив на сільське господарство та довкілля** ● Зменшення забруднення ґрунтового покриву та водних ресурсів ● Покращення якості та безпеки сільськогосподарської продукції ● Стійкість до змін клімату та забезпечення сталого розвитку сільського господарства **2. Вплив на громадське здоров'я та безпеку харчових продуктів** ● Безпечність продовольчої продукції ● Зниження ризиків для здоров'я населення ● Зростання довіри споживачів **3. Економічний вплив і вплив на галузь** ● Вища ринкова вартість зернових продуктів, вільних від забруднювачів ● Зниження витрат для фермерів ● Зменшення витрат на виробництво продукції рослинництва за рахунок ефективного використання пестицидів і добрив ● Запобігання забрудненню дозволяє уникнути фінансових втрат через відмову від експорту ● Створення нових робочих місць і розвиток технологій ● Зростання попиту на фахівців у сфері точного землеробства, безпеки харчових продуктів і моніторингу довкілля ● Стимулювання інновацій у сфері аграрних технологій, зокрема ШІ для виявлення забруднень **4. Освітній та науково-дослідницький вплив** **Розвиток потенціалу майбутніх фахівців у сфері аграрної справи та продовольства** ● Фермери, агрономи та політики здобувають поглиблені знання щодо шляхів та методів зменшення забруднення

	● Навчання прийняттю рішень на основі моніторингу даних підвищує ефективність агровиробництва **Сприяння науковим інноваціям** ● Дослідження в галузі біоремедіації, нанотехнологій та альтернативних методів боротьби зі шкодочинними організмами сприяє сталому розвитку агровиробництва ● Посилення співпраці між університетами, науковими установами та представниками галузі сприяє обміну знаннями, науково-обґрунтованими технологіями та обізнанності щодо інновацій в агарній сфері **Глобальний обмін знаннями** ● Міжнародні партнерства сприяють вивченню найкращих практик у різних регіонах ● Інтеграція електронного навчання дозволяє поширювати знання за межі місцевих спільнот **5. Вплив на політику та регулювання** **Посилення дотримання вимог щодо безпеки харчових продуктів** ● Фермери та виробники краще підготовлені для дотримання вимог національних та міжнародних стандартів. ● Державні органи підвищують ефективність моніторингу та впровадження політики щодо контролю забруднення. **Інформоване прийняття рішень політиками** ● Наукові дані, отримані в межах навчальної програми, сприяють розробці політики, що ґрунтується на доказовості даних. ● Покращення стратегій щодо зменшення аграрного забруднення та надмірного використання хімічних засобів. **Розширення прав і можливостей місцевих громад** ● Ініціативи громадянської науки стимулюють участь населення в моніторингу безпеки харчових продуктів. ● Підвищення обізнаності сприяє активному впровадженню більш жорстких екологічних та харчових стандартів.

Години занять

	Всього занять	Теоретичні	Практичні	Індивідуальне навчання
	82	**48**	**24**	**10**

Навчальні дисципліни навчальної програми

Теоретична частина	Кількість годин	Спостере-ження
Розділ 1. Вступ. Ризики забруднення зернових культур в умовах аграрного виробництва, постраждалого від воєнного конфлікту ●Розуміння впливу військових дій на забруднення ґрунту, водних ресурсів та сільськогосподарських культур ●Визначення основних контамінантів (забруднювачів): пестицидів, азотних сполук та важких металів ●Аналіз шляхів забруднення зерна, зернових продуктів та продовольчих систем. ●Огляд ризиків забруднення сільського господарства ●Джерела забруднення важкими металами (свинець, миш'як, кадмій) ●Вплив надмірного використання пестицидів та азотних добрив на ґрунт та водні ресурси	2 (LTT 1-3)	Кожна теоретича частина складаєтья з 8 годин х 2 дні Загалом 16 годин/ довгострокоий курс
Розділ 2. Терміни та визначення ● Загальні терміни, пов'язані із забрудненням ● Терміни пов’язані із забрудненням важкими металами ● Терміни, пов'язані із забрудненням азотними сполуками ● Терміни, пов'язані із забрудненням пестицидами ● Терміни, пов'язані із забрудненням в сільському господарстві, специфічні для воєнних конфліктів ● Міжнародні та нормативні терміни ЄС	2 (LTT 1-3)	
Розділ 3. Міжнародний контекст українського конфлікту та законодавство на національному та європейському рівнях ● Основні міжнародні наслідки ● Національне законодавство України щодо забруднення та безпеки харчових продуктів ● Європейське законодавство та регулювання щодо забруднення у сільському господарстві. Нормативні обмеження та порогові значення (ЄС, ФАО, Кодекс Аліментаріус)	2 (LTT 1-3)	Кожна теоретична частина складається з 8 годин х 2 дні Загалом 16 годин/ довгостроковий курс
Розділ 4. Заходи, необхідні для зменшення забруднення зернових культур ● Заходи щодо зменшення вмісту пестицидів у зерні та зернових продуктах ● Заходи щодо зменшення забруднення зерна і зернових продуктів важкими металами ●Заходи щодо зменшення вмісту азотистих сполук у зерні та зернових продуктах	8 (LTT1)	

Розділ 5. Аналітичні методи контролю забруднюючих речовин ● Аналітичні методи виявлення вмісту пестицидів у зерні та зернових продуктах ● Аналітичні методи виявлення забруднення важкими металами зерна і зернових продуктів ● Аналітичні методи виявлення сполук азоту у зерні та зернових продуктах	8 (LTT2)	
Розділ 6. Ризик для здоров'я, пов'язаний із забрудненням зерна та зернових продуктів ● Ризики для здоров'я, пов'язаний із забрудненням зерна та зернових продуктів пестицидами ● Ризики для здоров'я, пов'язаний із забрудненням зерна та зернових продуктів важкими металами ● Ризики для здоров'я, пов'язаний із забрудненням зерна та зернових продуктів азотистими сполуками	8 (LTT3)	
Оцінювання	2 (LTT1-3)	
Практична частина	No of hours	Obs
Практичні заняття будуть проводитися в навчальних лабораторіях університетів-партнерів, які мають необхідне обладнання.	8 LTT1	Кожна практична частина триває 8 годин х 1 день (LTT1-3)
ii) Обмін передовим досвідом щодо виявлення забруднюючих речовин у зерні та зернових продуктах.	8 LTT2	
iii) Обмін передовим досвідом щодо ризиків для здоров'я та продовольчої безпеки, пов'язаних зі споживанням зернових продуктів, забруднених пестицидами, важкими металами та сполуками азоту.	8 LTT3	
Методи оцінювання: Методи оцінювання встановлюються на основі об'єктивних, напівоб'єктивних та суб'єктивних питань. **Об'єктивні питання** стосуються оцінювання на основі принципів подвійного, парного або множинного вибору з низки рішень, запропонованих учням. **Напівоб'єктивні питання** можуть мати короткі відповіді, додаткові або структуровані питання, в яких учень пропонує рішення, виражені у частково наданому формулюванні. **Суб'єктивні питання** стосуються вільного або структурованого есе, в якому учень вільно висловлює рішення заданої проблеми або на основі необхідної схеми. До категорії суб'єктивних питань також належить розв'язання деяких задач з викладеної теми.		

Оцінювання для сертифікації компетенцій: буде здійснюватися за допомогою інструментів та доказів, розроблених відповідно до положень щодо когнітивних та професійних навичок, з урахуванням критеріїв ефективності та умов їх застосування. Деякі інструменти доказів та оцінювання зможуть враховувати інтегровану оцінку кількох компетенцій або більше критеріїв ефективності з однієї компетенції або з різних компетенцій. Оцінювання підкреслює ступінь сформованості ключових компетенцій, загальних технічних навичок та спеціалізованих технічних навичок.		
Перелік навчальних та дослідницьких матеріалів: Теоретична та практична частини будуть ілюстровані текстами, зображеннями та відео, а остаточний метод навчання враховуватиме рівень цільової групи, на яку він орієнтований.		

РОЗШИРЕНА НАВЧАЛЬНА ПРОГРАМА

РОЗДІЛ 1. ВСТУП. РИЗИКИ ЗАБРУДНЕННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР В УМОВАХ АГРАРНОГО ВИРОБНИЦТВА, ПОСТРАЖДАЛОГО ВІД ВОЄННОГО КОНФЛІКТУ

1.1. Розуміння впливу військових дій на забруднення ґрунту, водних ресурсів та сільськогосподарських культур

Військові дії можуть спричиняти надходження широкого спектру забруднювачів у довкілля, впливаючи на ґрунт та водні ресурси, і, відповідно, на культури, що вирощуються на ньому. Ці забруднювачі можна умовно поділити на:

Важкі метали. Боєприпаси, військова техніка, дрони та інше військове обладнання можуть вивільняти у ґрунт важкі метали, зокрема свинець, кадмій, хром, літій та збіднений уран. Ці метали здатні накопичуватися в рослинах, створюючи ризики для здоров’я споживачів.

Вибухові речовини. Детонація вибухівки вивільняє в навколишнє середовище різноманітні хімічні сполуки, зокрема нітроаромати (наприклад, ТНТ, RDX) та перхлорати. Ці сполуки можуть бути токсичними для рослин і людей, а їхня стійкість у ґрунті може призводити до тривалого забруднення.

Ракетні палива та пальне. Розливи й витоки з військової техніки та сховищ можуть забруднювати ґрунт ракетними паливами (наприклад, амонію перхлоратом) і пальним (наприклад, вуглеводнями). Ці речовини можуть негативно впливати на ріст і розвиток рослин, а деякі з них мають канцерогенні властивості.

Хімічна та біологічна зброя. Хоча такі випадки рідкісні, потенційне застосування хімічної або біологічної зброї становить серйозну загрозу широкомасштабного та довготривалого забруднення. Ці агенти можуть мати руйнівні наслідки для здоров’я людини та довкілля.

Радіоактивні матеріали. Застосування боєприпасів зі збідненим ураном викликає занепокоєння щодо радіоактивного забруднення. Хоча радіотоксичність збідненого урану є предметом дискусій, його хімічна токсичність як важкого металу добре відома.

Невибухлі боєприпаси (НВБ). НВБ, зокрема міни та невибухлі бомби, становлять не лише пряму фізичну небезпеку, але з часом можуть також забруднювати навколишній ґрунт, оскільки піддаються корозії та вивільняють токсичні речовини.

Вплив цих забруднювачів на ґрунт і сільськогосподарські культури є багатогранним:

Деградація ґрунту. Забруднення може змінювати властивості ґрунту, впливати на його родючість, структуру та здатність утримувати воду, що зрештою перешкоджає росту рослин.

Поглинання та накопичення речовин у рослинах. Рослини можуть поглинати забруднювачі з ґрунту через кореневу систему та транспортувати їх у різні частини, включно з їстівними (зерно, листя тощо). Рівень накопичення залежить від типу забруднювача, його концентрації в ґрунті, виду рослини та умов навколишнього середовища.

Забруднення харчового ланцюга. Забруднені культури можуть вводити шкідливі речовини в харчовий ланцюг, що негативно впливає як на здоров'я людей, так і на тварин. Тривалий вплив навіть незначних доз забруднювачів може призвести до хронічних захворювань.

Важливі аспекти для врахування:

- Важкість забруднення ґрунтів і культур залежить від типу та інтенсивності військових дій, типу ґрунту та кліматичних умов.
- Довгострокові наслідки забруднення ґрунту, спричиненого військовими діями, можуть бути складними для оцінки та залишатися незрозумілими протягом багатьох років.
- Усунення забруднення ґрунтів і сільськогосподарських культур, викликаного військовими діями, є критично важливим для захисту здоров'я людей та навколишнього середовища.

1.2. Визначення основних контамінантів (забруднювачів): пестицидів, азотних сполук та важких металів

Зернові культури, що є важливою харчовою основою у всьому світі, вразливі до різних джерел забруднення, що створює серйозні ризики для здоров'я людини. Пестициди, азотні сполуки та важкі метали — це основні контамінанти, які викликають особливе занепокоєння через їхнє широке використання, стійкість у довкіллі та потенційний негативний вплив на здоров'я.

1.2.1. Пестициди

Ці хімічні речовини застосовуються для боротьби зі шкідниками, що спричиняють пошкодження сільськогосподарських культур або є переносниками хвороб. Хоча пестициди важливі для забезпечення продовольчої безпеки, залишки цих речовин у зернових культурах становлять значну загрозу для здоров'я людини.

Основні класи пестицидів включають:

- **Органофосфати** – впливають на нервову систему, інгібуючи ацетилхолінестеразу (наприклад, хлорпірифос, малатіон, діазінон);
- **Карбамати** – схожі на органофосфати, але зворотно інгібують ферменти (наприклад, карбарил, алдікарб);
- **Органохлорини** – стійкі в довкіллі, багато з них нині заборонені (наприклад, ДДТ, ліндан);
- **Піретроїди** – синтетичні аналоги природних піретринів, застосовуються для знищення комах (наприклад, перметрин, циперметрин);
- **Неонікотиноїди** – діють на нервову систему комах, суперечливо оцінюються через їхній вплив на бджіл (наприклад, імідаклоприд, тіаметоксам).
- **Триазини** – поширені гербіциди, які інгібують фотосинтез (наприклад, атразин, симазин).
- **Сульфонілсечовини** – гербіциди, що порушують синтез амінокислот у рослинах (наприклад, метсульфурон-метил).
- **Феноксігербіциди** – застосовуються для боротьби з широколистими бур'янами (наприклад, 2,4-Д).

- **Дикарбоксіміди** – фунгіциди, що пригнічують ріст грибків (наприклад, іпродіон).
- **Стробілурини** – сучасні фунгіциди, що порушують дихання в мітохондріях (наприклад, азоксистробін).

Кожен клас має свої специфічні застосування, токсикологічні характеристики та вплив на довкілля.

Вплив на здоров'я

Основні наслідки впливу пестицидів на здоров'я людини залежать від типу пестициду, дози та тривалості контакту. Вони включають:

Гострі ефекти (короткочасна дія):

1. **Неврологічні порушення** – головний біль, запаморочення, нудота, судоми (наприклад, органофосфати та карбамати інгібують ацетилхолінестеразу).
2. **Порушення дихання** – утруднене дихання, подразнення або симптоми, схожі на астму, при вдиханні.
3. **Подразнення шкіри та очей** – висипання, печіння або алергічні реакції при контакті зі шкірою.
4. **Шлунково-кишкові розлади** – блювання, діарея, біль у животі при ковтанні пестицидів.

Хронічні ефекти (тривалий вплив)

1. **Нейротоксичність** – підвищений ризик розвитку нейродегенеративних захворювань, таких як хвороба Паркінсона, та зниження когнітивних функцій.
2. **Канцерогенність** – деякі пестициди (наприклад, органохлорини, гліфосат) пов'язані з розвитком раку, включаючи лейкемію та неходжкінську лімфому.
3. **Порушення ендокринної системи** – втручання у гормональну регуляцію, що впливає на репродуктивне здоров'я, функцію щитоподібної залози та розвиток плоду.
4. **Репродуктивні та розвиткові порушення** – зниження фертильності, вроджені вади розвитку та порушення розвитку у дітей.
5. **Порушення імунної системи** – підвищена схильність до інфекцій та автоімунних захворювань.
6. **Ушкодження печінки та нирок** – тривалий вплив може призвести до порушення функції органів через біоакумуляцію токсичних сполук.

Вразливі групи населення

- **Діти та вагітні жінки** – мають підвищену чутливість через розвиток органів.
- **Сільськогосподарські працівники та особи, які застосовують пестициди** – мають вищий ризик впливу через професійний контакт.

Регуляторні обмеження та заходи безпеки спрямовані на зменшення цих ризиків, але вплив пестицидів повинен суворо контролюватися.

Нормативно-правові рамки. У багатьох країнах впроваджено нормативно-правові акти, що регулюють використання пестицидів і встановлюють гранично допустимі рівні залишків (MRLs) у зернових культурах з метою зниження споживчого ризику (FAO/WHO, 2022).

1.2.2. Азотні сполуки

Азотні сполуки, зокрема нітрати й нітрити, є природними речовинами, які також можуть потрапляти в харчовий ланцюг через сільськогосподарську діяльність, зокрема застосування азотних добрив.

● **Джерела забруднення.** Надмірне використання азотних добрив може спричинити вилуговування нітратів у ґрунтові та поверхневі води, що, в свою чергу, призводить до забруднення води для зрошення та зернових культур.

● **Наслідки для здоров'я.** Підвищений вміст нітратів у зернових становить небезпеку для здоров'я, особливо для немовлят, оскільки нітрати можуть перетворюватися на нітрити, які викликають метгемоглобінемію — стан, що погіршує транспортування кисню. Крім того, нітрити можуть вступати в реакцію з амінами в шлунку, утворюючи канцерогенні нітрозаміни (ВООЗ, 2011).

● **Нормативні заходи.** Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) встановила граничні норми для концентрації нітратів у питній воді, й аналогічні регулювання часто застосовуються й до харчових продуктів, зокрема зернових.

1.2.3. Токсичні мікроелементи

Термін "важкі метали" стосується металевих елементів, які мають відносно високу густину порівняно з водою, і вважається, що ця "важкість" пов'язана з токсичністю. Важкі метали також відносять до мікроелементів, оскільки вони присутні в навколишньому середовищі в слідових концентраціях — від частин на мільярд до менш ніж 10 частин на мільйон. Раніше науковці вживали термін "важкі метали" як синонім до "мікроелементи". Проте не всі метали є важкими (наприклад, алюміній, нікель), а деякі елементи не є металами взагалі (наприклад, миш'як, селен). Саме тому сьогодні дослідники надають перевагу термінам "(металеві) мікроелементи" або просто "мікроелементи".

Метали класифікують як **необхідні** та **необов'язкові** (незамінні та токсичні), залежно від того, чи беруть вони участь у біохімічних і фізіологічних процесах (Goyer et al., 2004). Згідно з ВООЗ, до необхідних елементів належать: йод (I), цинк (Zn), селен (Se), залізо (Fe), мідь (Cu), хром (Cr) і молібден (Mo). Інші мікроелементи, такі як марганець (Mn), кобальт (Co), миш'як (As), нікель (Ni) і ванадій (V), можуть мати корисний або навіть життєво важливий вплив (Amiard et al., 2011).

Наприклад, мідь (Cu) і залізо (Fe) входять до складу металоензимів, що беруть участь у формуванні гемоглобіну та метаболізмі вуглеводів (Henriques et al., 2017), а цинк (Zn) відіграє важливу роль у процесах поділу та росту клітин, загоєнні ран і розщепленні вуглеводів (Roohani et al., 2013).

Натомість такі **необов'язкові** (небіологічні) мікроелементи, як ртуть (Hg), свинець (Pb) або кадмій (Cd), не виконують жодних фізіологічних функцій і є токсичними навіть у дуже малих кількостях (Goyer et al., 2004).

Токсичні мікроелементи

Токсичні мікроелементи — це природного походження елементи, які зазвичай характеризуються високою атомною масою та щільністю й чинять токсичний вплив на біологічні системи. Ці контамінанти можуть потрапляти до харчового ланцюга через різні шляхи, зокрема викиди промислових підприємств, гірничодобувну діяльність і використання забрудненої води для зрошення.

● **Основні токсичні мікроелементи**: Арсен, кадмій, свинець і ртуть (здебільшого надходять випадково) є серед найбільш небезпечних токсичних мікроелементів у зернових культурах. Рослини можуть засвоювати ці елементи з забрудненого ґрунту та води.

● **Регуляторні норми**: Міжнародні організації, зокрема Європейський Союз, а також національні компетентні органи встановили гранично допустимі концентрації токсичних мікроелементів у зернових з метою зменшення ризику для здоров'я людини.

1.3. Аналіз шляхів забруднення зерна, зернових продуктів та продовольчих систем

1.3.1. Джерела забруднення пестицидами

Сільське господарство

Сільське господарство є основним економічним сектором, у якому застосовувалися хлоровані пестициди, наслідки використання яких відчуваються й досі. Вплив пестицидів, що застосовуються в сільському господарстві, на водні ресурси проявляється у вигляді дифузного забруднення, яке нині фіксується як у ґрунтових, так і в поверхневих водах.

Викиди стійких органічних забруднювачів (СОЗ), що використовуються в аграрному секторі, у повітря відбуваються зі стаціонарних джерел, таких як обробка ґрунту пестицидами та спалювання, або з мобільних джерел, переважно пов'язаних із дорожнім транспортом (трактори та інші транспортні засоби).

Промисловість

Джерела викидів у промисловому секторі переважно мають точковий характер. Водночас існують і деякі дифузні джерела, зумовлені зберіганням твердих і рідких відходів від виробництва пестицидів. Наявні запаси (включно з відходами) СОЗ пов'язані з кількістю таких речовин, які більше не використовуються та підлягають утилізації.

1.3.2. Джерела забруднення сполуками азоту

Кількість нітратів у рослині в певний момент часу є результатом балансу між поглинутою кількістю та кількістю, що використовується у процесі протеїногенезу. Будь-який чинник, що може втрутитися в метаболічний ланцюг, який забезпечує перетворення нітратного азоту в аміноазот і білковий азот, може вплинути на кількість вільних нітратів у рослині.

Джерела забруднення нітратами, нітритами та амонієм у плодоовочевій продукції:

• **Природні джерела:** нітрати з ґрунту, поверхневих та підземних вод, що виникають унаслідок природного розкладу органічного азоту мікроорганізмами з подальшим перетворенням у сполуки, такі як білки в рослинах і тваринах. Природна поява нітратів і нітритів у довкіллі є наслідком так званого «азотного циклу».

• **Антропогенні джерела,** зумовлені використанням синтетичних добрив для підживлення плодоовочевих культур, сільським господарством, а також внесенням на орні землі відходів тваринництва:

Надмірне внесення добрив, дози яких перевищують потреби рослини в азоті в період максимального споживання, призводить до підвищення вмісту нітратів у рослині.

✅ Внесення азотних добрив у формі позакореневої підкормки призводить до підвищення вмісту нітратів, але через короткий проміжок часу після застосування рівень нітратів знижується до початкового.

✅ Вміст нітратів у рослинах можна зменшити на 20–25% шляхом обприскування посівів водою у передзбиральний період.

✅ Високий вміст нітратів виявляється в культурах, вирощених на ґрунтах, багатих на азот і гумус, навіть без внесення азотних добрив. Проблема забруднення поживними речовинами починається на рівні домогосподарств, зокрема з неправильного управління гноєм у сільському господарстві. Органічне землеробство сприяє використанню компосту — добрива, яке не шкодить довкіллю, є дешевшим і легко доступним.

• **Генетичний потенціал рослини** сприяє накопиченню нітратів у рослині. Найвищий вміст нітратів характерний для овочів, у яких споживається листя (наприклад, салат, шпинат).

• **Кліматичні умови** (температура, опади, інтенсивність освітлення) визначають рівень нітратів у рослинах як наслідок умов, у яких відбувається реакція відновлення. Серед них режим освітлення має особливо важливе значення, оскільки забезпечує енергію в процесі відновлення нітратів у рослині (нітрат → нітрит → амоній → амінокислота).

1.4. Огляд ризиків забруднення сільського господарства

Сільськогосподарське виробництво сьогодні визнано одним з найбільших забруднювачів довкілля. Методи його ведення характеризуються екстенсивним використанням природних ресурсів, активним залученням різноманітної техніки та застосуванням хімічних речовин, що справляє негативний вплив на стан навколишнього середовища, життя і здоров'я людей. Усе це вимагає від науки екологічного права розробки механізму забезпечення екологічної безпеки у цій галузі.

Деградація земель (за визначенням ООН) – це зменшення або втрата біологічної чи економічної продуктивності та якості земель в результаті їх використання. Деградація земель може відбуватися в результаті ерозії ґрунту, спричиненої вітром чи водою, погіршення фізичних, хіміко-біологічних чи економічних властивостей ґрунту або тривалої втрати природної рослинності. Тривале, інтенсивне та нерозбірливе використання агрохімікатів негативно впливає на біорізноманіття ґрунтів, сталість сільського господарства та безпеку харчових продуктів, є головним фактором деградації земель.

Симптомами деградації земель можуть бути втрата ґрунту, виснаження поживних речовин, засолення, пересушення, забруднення, порушення біологічних циклів та втрата біорізноманіття. За оцінками IUCN деградація земель зачіпає приблизно 29% загальної площі суші в світі, відбувається в усіх агроекосистемах, але може бути замаскована внесенням добрив для підвищення продуктивності земель.

Джерела погіршення якості ґрунту та деградації земель від сільськогосподарської практики: оранка полів, монокультурне вирощування (через надмірне застосування ЗЗР та мінеральних добрив), зрошення, забруднення ґрунту агрохімікатами, накопичення та обробка гною, ерозія через використання сільськогосподарської техніки.

Вплив на водні ресурси. Діяльність агропромислових виробничих систем є головним фактором, який спричиняє зміни у біогеохімічних природних потоках, особливо через вимивання сполук нітрогену та фосфору з сільськогосподарських угідь, що суттєво впливає на якість води та сприяє забрудненню світового океану. Забір прісної води для обслуговування сільськогосподарського виробництва негативно позначається на екосистемах багатьох вододілів. Це зменшує розміри водних об’єктів, призводить до скорочення біорізноманіття та порушує функціонування екосистем.

Масштаби впливу можуть бути дуже суттєвими та поширюватися на великі території: локальне використання води може мати наслідки на великій відстані через фрагментацію екосистем та евтрофікацію, спричинену вимиванням сполук нітрогену та фосфору. Розширення зрошуваних площ сільського господарства призводить до деградації водно-болотних угідь та прибережних територій природних водойм, виснаження водоносних горизонтів та порушення водопостачання нижче за течією.

Сільськогосподарський сектор використовує, за оцінками FAO, 70% усієї води, яка відводиться з водоносних горизонтів, потоків та озер.

Доступність води для потреб сільського господарства стримує подальший розвиток інших галузей економіки. Крім того, несталі методи зрошення сприяють деградації земель через засолення сільськогосподарських угідь. Через втрату вологості внаслідок деградації земель та вирубування лісів зменшується здатність ґрунтів до виробництва біомаси, а отже знижується продуктивність сільськогосподарських угідь, зменшується накопичення вуглецевих сполук у ґрунті.

Зміни в структурі природного водостоку небезпечні для водних екосистем, а також для побутового та промислового водопостачання. Зниження обсягів випаровування водяної пари з ґрунтів впливає на місцевий та регіональний клімат, змінюючи структуру опадів.

Джерела впливу на водні ресурси від сільськогосподарських практик:

- *Забруднення води:*
  - використання добрив, накопичення та обробка гною, посилення ерозійних процесів розораних земель – призводять до забруднення води сполуками фосфору й нітрогену та евтрофікації природних водойм, до змін у водних екосистемах;
  - використання засобів захисту рослин (ЗЗР) може призвести до забруднення поверхневих та підземних вод та серйозно вплинути на водні екосистеми;
  - використання нафтохімікатів для сільськогосподарських машин може призвести до забруднення води продуктами нафтохімії.
- *Виснаження водних ресурсів:*
  - зрошення – може призвести до зміни структури природного водостоку, деградації водно-болотних угідь, зміни рівня ґрунтових вод і таким чином вплинути на різні водні та наземні екосистеми на великих територіях;
  - випаровування води з полів може вплинути на місцеву структуру опадів і, отже, на місцеві екосистеми та клімат.

Якість атмосферного повітря. Хоча вплив сільського господарства на якість повітря не такий великий, як вплив на водні та наземні екосистеми, існує низка викидів забруднюючих речовин, які в поєднанні з транспортними викидами становлять значний ризик для здоров'я людей і тварин. Найбільшими джерелами таких викидів є спалювання біомаси та оранка земель.

Спалювання біомаси є однією з найбільш шкідливих практик, оскільки, крім діоксиду карбону, при цьому виділяються деякі токсичні речовини повного та часткового окиснення біомаси, такі як оксиди нітрогену та сульфуру, монооксид карбону, летка зола, тощо. Ця практика є протизаконною в Україні, але, на жаль, все ще досить поширена і часто спричиняє пожежі в екосистемах. Особливо навесні – щоб позбутися залишків рослинності попереднього сезону, та восени – щоб утилізувати сезонні відходи. Крім того, спалення біомаси широко використовується для опалення у сільській місцевості, що також є джерелом забруднення повітря тими самими забруднювачами.

Іншим великим джерелом є оранка земель: ґрунти розораних непокритих рослинністю полів протягом посушливих періодів перетворюються на порох, забруднений залишками мінеральних добрив та ЗЗР. Цей порох може підійматися в повітря вітром, спричиняючи токсичні пилові бурі, що можуть переноситися вітром на суттєві відстані.

Навесні 2020 року Україна зазнала відчутних втрат від таких пилових бурь у кількох областях. Інші джерела забруднення атмосферного повітря включають викиди оксидів нітрогену в результаті переробки гною та використання азотних добрив, а також забруднюючі речовини від двигунів внутрішнього згоряння, що використовуються для сільськогосподарських робіт.

Джерела забруднення повітря в сільськогосподарських практиках: оранка земель, спалювання біомаси, зберігання та обробка гною, використання мінеральних добрив та сільськогосподарської техніки.

Клімат. Загалом, за оцінками IUCN, сільське господарство відповідає за 23% антропогенних викидів парникових газів. Наприклад, це викиди метану в тваринництві та при вирощуванні рису, випаровування оксидів нітрогену з ґрунту після внесення добрив та при розкладання гною.

Джерела викидів парникових газів у сільському господарстві: спалення біомаси, утримання великої рогатої худоби, обробка гною, використання холодильного обладнання або систем кондиціювання повітря, використання сільськогосподарської техніки з двигуном внутрішнього згоряння, застосування добрив.

1.5. Джерела забруднення важкими металами (свинець, миш'як, кадмій, сурма, хром, нікель, цинк, ртуть, алюміній)

Залишки важких металів є одними з найбільш стійких воєнних забруднювачів у постраждалих районах, що забруднюють повітря, ґрунт і воду. Тривалість їх перебування в навколишньому середовищі залежить від редокс-властивостей. Джерелами забруднення металами є дим і частинки від вогнепальної зброї, осколки куль, капсулі-запальники, детонатори, військова техніка, зброя, боєприпаси, артилерія, гранати, а також дрони та повітряні удари.

Забруднення токсичними мікроелементами рослин виникає переважно через такі джерела:

(i) **Забруднення ґрунту:** важкі метали, такі як свинець (Pb), миш'як (As) і кадмій (Cd), накопичуються в сільськогосподарських ґрунтах внаслідок промислових викидів, гірничодобувної діяльності та природних геологічних джерел.

(ii) **Вода для зрошення:** забруднена вода через промислові скиди, використання стічних вод для зрошення або природна наявність вод з високим вмістом металів може вводити важкі метали у ґрунт та рослини.

(iii) **Атмосферні осідання:** забруднювачі повітря, що походять від промислової діяльності, вихлопів транспортних засобів, спалювання викопного палива, а також, у виняткових випадках, від вибухів (військових дій), можуть осідати на рослинах та ґрунті, підвищуючи концентрації металів.

(iv) **Добрива та пестициди:** фосфатні добрива та деякі пестициди містять слідові кількості важких металів, що сприяє їх накопиченню у ґрунті з часом.

(v) **Використання відходів та осадів:** застосування каналізаційних осадів, компосту або органічних відходів як добрив може вводити значні кількості важких металів у сільськогосподарські угіддя.

Після поглинання рослинами ці метали можуть накопичуватися у їстівних частинах, що створює ризики для здоров'я людини.

1.6. Вплив пестицидів та надмірного внесення азотних добрив на ґрунт і воду

Застосування пестицидів та надмірних доз азотних добрив у сучасному сільському господарстві, хоча й сприяє збільшенню врожаїв, становить значну загрозу як для якості ґрунту, так і для якості водних ресурсів. Це має негативні наслідки для здоров'я екосистем та потенційно шкодить здоров'ю людей. Особливо вразливими до забруднення цими агрохімікатами є зернові культури, які є глобально домінуючим джерелом харчування.

1.6.1. Пестициди

Потенційні ризики використання пестицидів, характерні високою хімічною стабільністю, зумовлені їх різнобічним негативним впливом не тільки для земельних ресурсів, а й для тваринного та рослинного світу. Основна небезпека пестицидів полягає у входженні їх у біологічний колообіг, у процесі якого вони надходять в організм тварин і людини. Негативному впливу пестицидів піддаються насамперед агрофітоценози та їхні основні компоненти: ґрунти сільськогосподарських угідь, рослинний покрив, наземна та ґрунтова біота, водні об'єкти, зокрема ґрунтові води.

Використання пестицидів для контролю шкодочинних організмів може викликати низку небажаних екологічних наслідків як для ґрунтових, так і для водних ресурсів.

● **Вплив на ґрунт (едафічні ефекти):**

○ **Порушення біоти:** застосування пестицидів може негативно впливати на нецільові організми ґрунту, включно з корисними комахами, дощовими хробаками та мікробними спільнотами, що призводить до зменшення біорізноманіття та порушення важливих процесів, таких як кругообіг поживних речовин і розкладання органіки.

○ **Забруднення ґрунту:** стійкі залишки пестицидів можуть накопичуватися у ґрунті, потенційно гальмуючи ріст рослин і створюючи ризики для організмів, які споживають забруднені рослинні матеріали.

○ **Зміна властивостей ґрунту:** деякі пестициди можуть змінювати структуру ґрунту, водозатримувальну здатність та інші фізико-хімічні властивості, що потенційно знижує родючість ґрунту.

● **Вплив на водні ресурси (акватичні ефекти):**

○**Забруднення води:** пестицидний стік з сільськогосподарських угідь може забруднювати поверхневі та підземні води, негативно впливаючи на водні екосистеми і потенційно потрапляючи у питні джерела.

○ **Екотоксичність:** пестициди можуть бути токсичними для водних організмів, викликаючи шкоду або загибель риб, безхребетних та водоростей, порушуючи баланс водних екосистем.

○ **Забруднення донних відкладень:** пестициди можуть зв'язуватися з частинками осадів, накопичуючись у водоймах та створюючи довготривалі ризики для водних організмів.

1.6.2. Надмірне внесення азотних добрив

Хоча внесення азоту сприяє підвищенню врожайності, його надмірне застосування може мати шкідливий вплив на якість ґрунту та води.

● **Вплив на ґрунт (едафічні ефекти):**

○ **Закислення ґрунту:** надмірне внесення азоту може спричиняти закислення ґрунту, що впливає на доступність поживних речовин і потенційно стримує ріст рослин.

○ **Дисбаланс поживних речовин:** підвищені рівні азоту можуть порушувати рівновагу інших необхідних для ґрунту поживних елементів, що обмежує розвиток рослин.

○ **Викиди парникових газів:** азотні добрива можуть сприяти викиду оксиду азоту (N_2O), потужного парникового газу, що впливає на зміну клімату.

● **Вплив на водні ресурси (акватичні ефекти):**

○ **Евтрофікація:** надмірний стік азоту спричиняє евтрофікацію водойм, що проявляється цвітінням водоростей, виснаженням кисню і загибеллю риби.

○ **Забруднення нітратами:** підвищені концентрації нітратів у питній воді становлять ризик для здоров'я, особливо для немовлят, викликаючи метгемоглобінемію — стан, який порушує транспортування кисню.

○ **Забруднення ґрунтових вод:** нітрати можуть вимиватися у ґрунтові води, забруднюючи питні джерела та потребуючи дорогого очищення.

REFERENCES

1. 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.
2. Antoniadis, V., Golia, E. E., & Tsadilas, C. D. (2017). Heavy metals in fertilizers: A review. *Journal of Environmental Management, 201*, 1-10.
3. 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.

4. 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.

5. Galloway, J. N., Townsend, A. R., Erisman, 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.

6. 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.

7. 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.

8. Okafor-Yarwood, I. M. (2014). Use of depleted uranium weapons in contemporary military interventions. *African Security Review*, *2*(1), 111-125.

9. Panagos, P., Karydas, C. G., & Kougias, I. (2018). Soil contamination in former military areas: A review. *Environmental Geochemistry and Health, 40*(3), 963-978.

10. 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.

11. 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.

12. 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.

13. Savci, S. (2012). An agricultural pollutant: Chemical fertilizer. *International Journal of Environmental Science and Development*, *3*(1), 71-82

14. Skalny, A. V., Aschner, M., Bobrovnitsky, I. P., Chen, P., Tsatsakis, A., Paoliello, M. M., Djordevic, A. B., & Tinkov, A. A. (2021). Environmental and health hazards of military metal pollution. *Environmental Research*, *201*, 111568.

15. Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, *418*(6898), 671-677.

16. 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.

17. 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.

РОЗДІЛ 2. ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

2.1. Загальні терміни, пов'язані з забрудненням

Забруднення

Наявність шкідливих речовин (хімічних, біологічних або фізичних) у їжі, ґрунті або воді понад допустимі рівні, що робить їх небезпечними для споживання або використання.

Безпека харчових продуктів

Наукова дисципліна, що займається обробкою, приготуванням і зберіганням їжі способами, які запобігають забрудненню та забезпечують її безпечність для людини.

Максимальні рівні залишків (MRLs)

Найвищий рівень пестицидів або забруднювачів, який законодавчо дозволений у харчових продуктах, встановлений Кодовим харчовим стандартом (Codex Alimentarius), ЄС, ФАО та національними нормами.

Оцінка ризику

Процес ідентифікації, оцінки та контролю потенційних небезпек у харчовій продукції та сільському господарстві, зокрема забруднень, спричинених воєнними екологічними збитками.

2.2. Терміни, пов'язані із забрудненням важкими металами

Важкі метали

Токсичні елементи (наприклад, свинець, кадмій, ртуть, миш'як), які накопичуються у ґрунті та культурах і становлять серйозну загрозу для здоров'я при споживанні.

Біоакумуляція

Поступове накопичення важких металів або токсичних речовин у рослинах, тваринах або людині з часом.

Фітодемуляція

Процес використання рослин для поглинання і нейтралізації важких металів із забруднених ґрунтів.

Забруднення свинцем (Pb)

Забруднення свинцем зернових культур, спричинене військовими діями, боєприпасами та промисловими відходами, що при споживанні призводить до неврологічних та розвитку розладів.

Забруднення кадмієм (Cd)

Високотоксичний важкий метал, який накопичується в ґрунті через добрива, промислові викиди та залишки війни, впливає на функцію нирок та здоров'я кісток.

Забруднення миш'яком (As)

Миш'як потрапляє в харчовий ланцюг через пестициди, забруднення води та воєнні забруднення, що призводить до хронічного отруєння та ризиків розвитку раку.

Забруднення ртуттю (Hg)

Забруднення ртуттю в сільському господарстві спричинене промисловими викидами, вибуховими речовинами та гірничодобувною діяльністю, що впливає на нервову систему та розвиток плода.

2.3. Терміни, пов'язані із забрудненням азотними сполуками

Азотні сполуки

Хімічні сполуки, що містять азот (наприклад, нітрати, нітрити, аміак), які при надмірному використанні впливають на стан ґрунту, води та здоров'я рослин.

Забруднення нітратами (NO_3^-)

Високі рівні нітратів у воді та ґрунті, що часто спричинені надмірним застосуванням добрив та витоками з промислових об'єктів, пов'язаних із війною, призводять до забруднення води та проблем зі здоров'ям, таких як метгемоглобінемія («синдром синього немовляти»).

Токсичність нітритів (NO_2^-)

Нітрити, що утворюються з нітратів, є високотоксичними і сприяють утворенню канцерогенних нітрозамінів у їжі та питній воді.

Забруднення аміаком (NH_3)

Аміак із сільськогосподарського стоку, вибухових речовин та промислових відходів може підкислювати ґрунт і воду, що шкодить росту рослин та водним екосистемам.

Евтрофікація

Процес, при якому надлишок азотних сполук у водоймах викликає надмірне розростання водоростей, що призводить до виснаження кисню і руйнування водних екосистем.

Денітрифікація

Природний процес, під час якого мікроорганізми перетворюють нітрати в азотний газ, знижуючи рівень азоту в ґрунті та запобігаючи забрудненню.

2.4. Терміни, пов'язані із забрудненням пестицидами

Пестициди

Хімічні речовини, які використовуються для контролю шкідників, бур'янів і хвороб, але можуть залишати шкідливі залишки у продуктах харчування та навколишньому середовищі.

Органохлорні пестициди (ОХП)

Клас стійких, токсичних пестицидів (наприклад, ДДТ, алдрін, діелдрін), які накопичуються в ґрунті, воді та харчових ланцюгах.

Органофосфатні пестициди (ОФП)

Високотоксичні пестициди (наприклад, хлорпіріфос, малатіон), які впливають на функції нервової системи і регулюються суворими нормами ЄС.

Неонікотиноїди

Клас системних інсектицидів, пов'язаних зі зниженням чисельності бджіл, і обмежених законодавством ЄС.

Гліфосат

Широко застосовуваний гербіцид (знаходиться у препараті Roundup), який перебуває під наглядом через потенційні канцерогенні властивості.

Залишки пестицидів

Слідова кількість пестициду, що залишається у продуктах після обробки, і має бути нижчою за максимально допустимі рівні (MRLs) для забезпечення безпеки.

Інтегрований захист рослин (ІЗР)

Сталий підхід у сільському господарстві, що мінімізує використання пестицидів за рахунок поєднання біологічних, фізичних та хімічних методів контролю шкідників.

2.5. Терміни, пов'язані із забрудненням в сільському господарстві, специфічні для воєнних конфліктів

Військове забруднення ґрунту

Забруднення сільськогосподарських земель вибуховими речовинами, важкими металами та промисловими руйнуваннями під час воєнних конфліктів.

Забруднення залишками вибухових речовин

Хімічне забруднення від бомб, мін та військового сміття, що впливає на родючість ґрунту та безпеку харчових продуктів.

Радіаційне забруднення

Наявність радіоактивних матеріалів (наприклад, урану із боєприпасів із збагаченим ураном) у сільськогосподарських районах, що впливає на довгострокову безпеку ґрунту і врожаю.

Забруднення збагаченим ураном (ЗУ)

Токсичний і радіоактивний важкий метал, що використовується в військових боєприпасах і може зберігатися в ґрунті десятиліттями, підвищуючи ризик розвитку раку та захворювань нирок.

Реабілітація земель після конфлікту

Процес відновлення сільськогосподарських земель, пошкоджених війною, шляхом очищення ґрунту, впровадження сталих методів землеробства та екологічного відновлення.

2.6. Міжнародні та нормативні терміни ЄС

Кодекс Аліментаріус

Глобальний стандарт безпеки харчових продуктів, який встановлює максимально допустимі рівні залишків пестицидів, важких металів та інших забруднювачів у продуктах харчування.

Максимально допустимі рівні залишків (MRLs) ЄС

Юридично встановлені межі допустимого вмісту забруднювачів (наприклад, важких металів, пестицидів) у продуктах харчування відповідно до Регламенту (ЄС) № 396/2005.

Директива ЄС щодо нітратів (91/676/EEC)

Європейське законодавство, яке обмежує забруднення азотом від сільського господарства, зобов’язуючи фермерів дотримуватися планів управління поживними речовинами.

Європейський зелений курс та стратегія «Від ферми до вилки»

Ініціативи ЄС, спрямовані на зменшення використання пестицидів і добрив на 50% до 2030 року, що сприяють органічному землеробству та сталому сільському господарству.

Санітарні та фітосанітарні (СФЗ) заходи

Правила СОТ, які забезпечують, що норми безпеки харчових продуктів і регулювання забруднення не створюють необґрунтованих торговельних бар’єрів.

REFERENCES

1. Alexa, E., (2003) Contaminanti in produse vegetale I.S.B.N. 973-620-071-X, Editura Eurobit, Timisoara.
2. Alexa, E. (2008) Contaminanţi în produse horticole si cerealiere, ISBN 978-973-729-152-3. Editura SOLNESS, Timişoara.
3. 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.
4. 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
5. 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
6. 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
7. 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.
8. 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.
9. 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
10. 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
11. Yadav, I.C., Devi, N. L. (2017). Pesticides classification and its impact on human and environment. Environmental Science & Engineering, 6, 141–154.

РОЗДІЛ 3. МІЖНАРОДНИЙ КОНТЕКСТ УКРАЇНСЬКОГО КОНФЛІКТУ ТА ЗАКОНОДАВСТВО НА НАЦІОНАЛЬНОМУ ТА ЄВРОПЕЙСЬКОМУ РІВНЯХ

Війна в Україні спричинила серйозні порушення у глобальному сільському господарстві, оскільки Україна є одним із найбільших експортерів пшениці, кукурудзи та ячменю у світі. Конфлікт призвів до деградації ґрунтів, забруднення внаслідок військових дій, торговельних обмежень та загроз для продовольчої безпеки.

3.1 Основні міжнародні наслідки:

Продовольча безпека та глобальне постачання зернових

- Україна разом із Росією забезпечує близько 30% світового експорту пшениці. Війна порушила ланцюги постачання, що спричинило зростання цін на продукти харчування та дефіцит зерна, особливо в Африці та на Близькому Сході.
- Чорноморська зернова ініціатива, посередниками якої виступили ООН і Туреччина, була спробою забезпечити безпечний експорт зерна, проте її припинення ще більше ускладнило ситуацію на світовому ринку продовольства.

Екологічне забруднення та вплив на сільське господарство

- Важкі метали, залишки пального та нерозірвані боєприпаси внаслідок військових дій забруднили українські сільськогосподарські угіддя, збільшуючи ризики контамінації зернових культур.
- Масовані обстріли та руйнування земель призвели до деградації ґрунтів, що негативно впливає на довгострокову продуктивність агросектору.

Порушення в аграрній торгівлі та ланцюгах постачання

- Блокада портів та пошкодження інфраструктури обмежили здатність України експортувати зерно, змусивши шукати альтернативні маршрути через Польщу, Румунію та країни Балтії.
- Санкції проти Росії порушили постачання добрив та агрохімікатів, що впливає на глобальне виробництво сільськогосподарської продукції.

3.2. Національне законодавство України щодо забруднення та безпеки харчових продуктів

Регуляторна база України узгоджується зі стандартами Європейського Союзу (ЄС) у межах зусиль щодо вступу до ЄС та забезпечення відповідності вимогам аграрної торгівлі. Основні напрямки зосереджені на використанні пестицидів, контролі забруднення нітратами та регулюванні вмісту важких металів.

Ключові закони та нормативні акти України:

Закон про пестициди та агрохімікати (2002 р., зі змінами):

● Регулює використання, реєстрацію та утилізацію пестицидів і добрив

● Вимагає дотримання гранично допустимих рівнів залишків (MRLs) у харчових продуктах згідно зі стандартами ЄС

***Закон про охорону навколишнього природного середовища (1991 р., зі змінами)**:*

● Визначає норми щодо забруднення ґрунтів, хімічного забруднення та поводження з промисловими відходами

● Встановлює стандарти щодо вмісту важких металів і нітратів у сільському господарстві

Закон про безпечність та гігієну харчових продуктів (2014 р., зі змінами відповідно до вимог ЄС):

● Установлює максимально допустимі рівні залишків (MRLs) пестицидів і контамінантів

● Регламентує виробництво, зберігання та обіг харчових продуктів для внутрішнього ринку та експорту

***Національний план дій зі зменшення забруднення нітратами**:*

● Запроваджує заходи для запобігання надмірному надходженню сполук азоту в ґрунт і воду

● Підтримує фермерів у впровадженні сталих методів удобрення

***Стратегія сталого сільського господарства та сільського розвитку (2020–2030)**:*

● Заохочує впровадження кліматично сталих і екологічно дружніх методів господарювання

● Сприяє розвитку точного землеробства та біоремедіації для зниження ризиків забруднення.

3.3 Європейське законодавство та регулювання щодо забруднення у сільському господарстві. Нормативні обмеження та порогові значення (ЄС, ФАО, Кодекс Аліментаріус)

Оскільки Україна прагне до більш тісної інтеграції з ЄС, вона має дотримуватись суворих європейських вимог щодо безпеки харчових продуктів, охорони довкілля та торгівлі.

Ключові нормативно-правові акти ЄС, що стосуються забруднення зернових культур:

Регламенти ЄС щодо пестицидів та агрохімікатів

Регламент (ЕС) № 1107/2009 — регулює допуск і використання пестицидів у ЄС

Регламент (EU) 2019/1381 — запроваджує суворіші вимоги до прозорості у сфері оцінки ризиків для безпеки харчових продуктів

Вплив на Україну:

● Український експорт зерна до ЄС має відповідати гранично допустимим рівням залишків пестицидів відповідно до **Регламенту (ЕС) № 396/2005**

● Україна має поступово відмовитися від використання заборонених у ЄС пестицидів, таких як неонікотиноїди.

Регулювання ЄС щодо нітратів та важких металів

● **Нітратна директива (91/676/EEC)** — обмежує забруднення водних об'єктів сполуками азоту

● **Регламент ЄС 2023/915** щодо вмісту важких металів у харчових продуктах — встановлює жорсткі обмеження щодо вмісту **кадмію, свинцю, миш'яку в зернових**

Вплив на Україну:

● Сільгоспвиробники мають впроваджувати найкращі доступні практики управління **(Best Management Practices, BMPs)** для зменшення стоку азотних сполук

● Дотримання європейських норм щодо важких металів є обов'язковою умовою для експорту.

Законодавство ЄС з безпеки харчових продуктів і торгівлі

● Загальне харчове законодавство **(Регламент (ЕС) № 178/2002)** — встановлює основи **політики ЄС у сфері безпеки харчових продуктів**

● Гранично допустимі рівні (MRLs) для забруднювачів у харчових **продуктах (Регламент (ЕС) № 1881/2006, оновлений у 2022 р.)** — визначає межі для забруднювачів у зернових

Вплив на Україну:

● Виробники зерна в Україні мають **проводити аналізи на забруднення** перед експортом

● Необхідно забезпечити **сувору систему простежуваності** для відповідності **стандартам HACCP та сертифікації безпеки харчових продуктів**

Європейська політика сталого сільського господарства та Зелений курс

● **Стратегія "Від ферми до виделки" (2020)** — передбачає скорочення використання пестицидів і добрив **на 50% до 2030 року**

● **Спільна аграрна політика ЄС (CAP) 2023–2027** — підтримує **екологічно дружні методи ведення сільського господарства** через систему субсидій

Вплив на Україну:

● Україна має гармонізувати свої підходи до **сталого сільського господарства** з цілями **Зеленого курсу ЄС.**

REFERENCES

1. Alexa, E., (2003) Contaminanti in produse vegetale I.S.B.N. 973-620-071-X, Editura Eurobit, Timisoara.
2. Alexa, E. (2008) Contaminanţi în produse horticole si cerealiere, ISBN 978-973-729-152-3. Editura SOLNESS, Timişoara.
3. *Cabinet of Ministers of Ukraine. (Various decrees aligning with EU MRLs for pesticides). Official Gazette of Ukraine.*
4. Cabinet of Ministers of Ukraine. (Various decrees aligning with EU MRLs for pesticides). *Official Gazette of Ukraine*.
5. 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.

6. 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.

7. Didenko, N. O. (2024). SOIL DAMAGE AND RECOVERY IN UKRAINE: LESSONS FROM GLOBAL POST-WAR EXPERIENCES. *Land Reclamation and Water Management*, (2), 79-86.

8. ERS USDA (Economic Research Service, U.S. Department of Agriculture). (2023, September). *Global Fertilizer Market Challenged by Russia's Invasion of Ukraine*

9. 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

10. 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.

11. European Commission. (2020). *A Farm to Fork Strategy for a fair, healthy and environmentally-friendly food system*.

12. 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

13. European Commission. (2023). *EU-Ukraine Solidarity Lanes*

14. 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.

15. 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.

16. 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*.

17. 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*.

18. IFPRI (International Food Policy Research Institute). (2023). How sanctions on Russia and Belarus are impacting exports of agricultural products and fertilizer.

19. Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine. (2020). *Strategy for Sustainable Agriculture and Rural Development 2020-2030*.

20. Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine. (Various National Action Plan documents on Nitrate Pollution Reduction)

21. Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. (Various regulations and standards on heavy metal and nitrate contamination in agriculture). *Official Gazette of Ukraine*.

22. Pavlo Martyshev, Oleg Nivievskyi, Mariia Bogonos - https://www.ifpri.org/blog/regional-war-global-consequences-mounting-%20damages-ukraines-agriculture-and-growing-challenges/

23. 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.

24. UN (United Nations). (2022). *Black Sea Grain Initiative*.

25. Verkhovna Rada of Ukraine. (1991). Law of Ukraine on Environmental Protection (with amendaments)

26. Verkhovna Rada of Ukraine. (2002). Law of Ukraine on Pesticides and Agrochemicals (with amendaments)

27. Verkhovna Rada of Ukraine. (2014). Law of Ukraine on Food Safety and Hygiene (with amendaments).

28. World Bank. (2022). *The impact of the war in Ukraine on global commodity markets*

РОЗДІЛ 4. ЗАХОДИ, НЕОБХІДНІ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР

Зернові культури є основою світового продовольчого забезпечення, проте їх забруднення шкідливими речовинами — зокрема пестицидами, важкими металами та сполуками азоту — становить серйозну загрозу для здоров'я людей і навколишнього середовища. Для забезпечення безпечності харчових продуктів і сталого розвитку необхідно впроваджувати ефективні заходи, що мінімізують забруднення на всіх етапах виробництва — від обробітку ґрунту та удобрення до збирання врожаю, зберігання та переробки.

4.1. Заходи щодо зменшення вмісту пестицидів у зерні та зернових продуктах

Застосування належної сільськогосподарської практики (GAP) під час вирощування зернових

Засоби захисту рослин — це «пестициди», які використовуються для захисту сільськогосподарських культур або корисних рослин. Їх застосовують не лише в аграрному секторі, а й в інших галузях. Вони містять щонайменше одну активну речовину, яка захищає рослини або продукти рослинного походження від шкідників та хвороб, а також підвищує продуктивність як у полі, так і після збору врожаю. Крім того, ці засоби запобігають зараженню мікотоксинами, що продукуються деякими видами грибів, які можуть бути присутні в готовій продукції.

До пестицидів, зокрема, належать: гербіциди, фунгіциди, інсектициди, акарициди, нематоциди, молюскоциди, регулятори росту, репеленти, родентициди та біоциди, і для кожного з них існує широкий спектр синтетичних хімічних сполук. Їх використання дозволене в інтегрованому землеробстві, але заборонене в органічному. Застосування пестицидів у межах інтегрованого виробництва повинне здійснюватися відповідно до принципів інтегрованого захисту рослин (IPM), який ґрунтується на агрономічних, механічних, фізичних і біологічних методах, а хімічні засоби застосовуються лише за умови, якщо інші методи є неефективними. Обертання культур, використання стійких або толерантних сортів, сертифікованого насіння, а також залучення корисних організмів — це звичні практики, які зменшують потребу в пестицидах.

У разі застосування пестицидів необхідно дотримуватись їхніх максимально допустимих рівнів залишків (MRLs), встановлених компетентними органами, а також вимог належної сільськогосподарської практики. Також необхідно впроваджувати стратегії боротьби з резистентністю, щоб зменшити кількість обробок і підвищити ефективність засобів захисту. Спостереження за шкідниками в полі, класичні та молекулярні методи діагностики, а також прогностичні системи дозволяють планувати заходи боротьби з урахуванням порогових рівнів шкодочинності, типу культури та кліматичних умов регіону.

Сучасні технології, зокрема гіперспектральна зйомка та тести на основі ПЛР, забезпечують точну та своєчасну ідентифікацію патогенів, дозволяючи вжити запобіжних заходів до появи хвороб. З огляду на нестійкий характер погодних умов, часто складно передбачити вплив хвороб у певний сезон. Нові інструменти дозволяють прогнозувати ризики захворювань, обирати ефективні засоби боротьби та ухвалювати обґрунтовані рішення в системах захисту зернових культур.

Технології дистанційного зондування, зокрема супутникові знімки, дрон-зйомка та системи Інтернету речей (IoT), надають доступне рішення для моніторингу й управління захворюваннями в широких масштабах. Біологічні агенти та природні речовини, зокрема індуктори резистентності, також можуть зменшити поширення хвороб зернових, обмеживши потребу у хімічних препаратах.

Стратегії інтегрованого захисту зернових повинні також враховувати ризик розвитку грибкових захворювань, що супроводжуються утворенням мікотоксинів, які можуть забруднювати зерно та похідні продукти. Відповідно до сучасних досліджень, найбільш поширеними мікотоксинами в зернових є дезоксиніваленол (DON), зеараленон (ZEN), афлатоксини (AFs), охратоксин A (OTA), токсини T-2/HT-2 та фумонізини (FUMs). Ці вторинні метаболіти продукуються грибами родів Aspergillus, Penicillium і Fusarium. Моніторинг цих патогенів у полі дозволяє краще планувати заходи захисту та уникати мікотоксинового забруднення.

Різні побутові та промислові методи, такі як миття, бланшування, очищення, термічна обробка, ефективні для зменшення залишків пестицидів. Сучасні технології — холодна плазма, імпульсні електричні поля, опромінення, ультразвук — також застосовуються для розщеплення залишків пестицидів і мікотоксинів, залежно від типу речовини та умов обробки. Водночас, процеси розмелювання та приготування їжі також можуть сприяти їх руйнуванню.

Однак ключовим залишається належне управління посівами в полі, щоб запобігти накопиченню залишків пестицидів і мікотоксинів після збору врожаю та в продуктах його переробки.

Зниження рівня контамінантів у зернових культурах потребує комплексного підходу, що включає:

● Сталу аграрну практику – застосування екологічно безпечних методів землеробства для обмеження накопичення шкідливих речовин.

● Технології точного землеробства – впровадження систем моніторингу на основі штучного інтелекту для оптимізації внесення добрив і засобів захисту рослин.

● Дотримання нормативних вимог – забезпечення відповідності стандартам безпеки харчових продуктів та екологічним вимогам.

● Післязбиральна обробка та тестування** – застосування сучасних методів очищення зерна, детоксикації та лабораторного контролю для виявлення та усунення забруднень.

Інтеграція цих заходів дозволяє зробити виробництво зернових культур безпечнішим, більш екологічно стійким та таким, що відповідає глобальним цілям продовольчої безпеки.

4.1.1. Інтегрована система захисту рослин (ІЗР)

ІЗР — це комплексний підхід, що поєднує різні методи контролю шкідників з метою мінімізації використання пестицидів. Вона включає:

● Біологічний контроль – використання природних ворогів і мікроорганізмів для стримування популяцій шкідників.

● Агрономічні практики – сівозміна, змішане вирощування культур та використання стійких сортів для зниження ризику спалахів шкідників.

● Механічний контроль – застосування пасток, бар’єрів і ручне знищення шкідників.

● Хімічний контроль як крайній захід – використання пестицидів лише за потреби та в мінімально необхідних дозах.

4.1.2. Вибір екологічно безпечних пестицидів

Замість традиційних хімічних засобів доцільно застосовувати більш безпечні альтернативи:

● **Біопестициди** – речовини природного походження, зокрема на основі бактерій, грибів або екстрактів рослин.

● **Малотоксичні хімічні засоби** – пестициди, які швидко розкладаються в навколишньому середовищі та мають мінімальний вплив на нецільові організми.

● **Точкове внесення –** методи прицільного обприскування для уникнення надмірного використання пестицидів.

4.1.3. Оптимізація методів і строків застосування пестицидів**

Забезпечення правильного використання пестицидів знижує рівень залишків у кінцевій продукції:

●Дотримання рекомендованих доз: уникнення надмірного внесення препаратів.

●Урахування погодних умов: внесення пестицидів у оптимальну погоду для запобігання зносу та стікання.

●Інтервали до збирання врожаю: дотримання достатнього часу для розпаду пестицидів перед збиранням урожаю.

4.1.4. Моніторинг залишків пестицидів у ґрунті та воді

Для запобігання накопиченню пестицидів і забрудненню навколишнього середовища необхідно впроваджувати такі заходи:

●Буферні зони: смуги рослинності біля водойм, які поглинають пестициди, що стікають з полів.

●Управління станом ґрунту: регулярне тестування та використання біоремедіаційних методів для видалення залишків пестицидів**.**

●**Системи фільтрації води:** запобігання забрудненню джерел поливної та питної води.

4.1.5. Післязбиральна обробка та детоксикація зерна

Існують різні методи для зменшення залишків пестицидів у зібраному зерні:

●Очищення та промивання: видаляє залишки з поверхні зерна.

●Термічна обробка: нагрівання, що сприяє розпаду пестицидів.

●Озонування та УФ-обробка: безхімічні методи руйнування молекул пестицидів.

4.1.6. Моніторинг та лабораторний контроль

Регулярне тестування забезпечує безпечність зерна до потрапляння його до споживача:

● Хроматографічний та спектрометричний аналіз: виявлення залишків пестицидів у зразках зерна.

● Випадкове відбір проб: проводиться на різних етапах (поле, зберігання, розподіл).

● Дотримання регламентованих норм: контроль, щоб залишки пестицидів не перевищували безпечні рівні.

4.1.7. Впровадження органічного землеробства

Перехід до органічного землеробства зменшує використання пестицидів шляхом:

● Використання компосту та органічних добрив: природне підвищення родючості ґрунту.

● Застосування природного захисту рослин: корисні комахи, супутні культури, біопестициди.

● Відмова від синтетичних хімікатів: використовуються лише дозволені органічні речовини.

Навчання фермерів та програми підвищення обізнаності

Освіта є ключем до скорочення використання пестицидів:

● Воркшопи та семінари: навчання найкращим практикам внесення пестицидів і альтернативним методам.

● Демонстраційні господарства: демонстрація ефективності сталих технологій.

● Доступні інструкції: забезпечення фермерів чіткими стратегіями скорочення використання пестицидів.

4.1.8. Обізнаність споживачів і рекомендації щодо безпеки харчових продуктів

Споживачі також можуть зменшити вплив пестицидів:

● Ретельне миття та очищення овочів і фруктів: зменшення поверхневих залишків пестицидів.

● Вибір сертифікованих органічних продуктів: забезпечення нижчого рівня пестицидів.

● Використання кулінарних методів, що зменшують залишки пестицидів: деякі пестициди розкладаються при нагріванні.

4.1.9. Посилення державного контролю та сертифікації

Ефективне регулювання забезпечує дотримання стандартів безпеки:

● Гармонізація з міжнародними нормами (наприклад, ЄС, Кодекс Аліментаріус).

● Регулярні перевірки господарств і складів.

● Жорсткіші санкції за надмірне використання пестицидів та забруднення.

● Заохочення програм сертифікації зерна без пестицидів або органічної продукції.

Реалізація цих заходів дозволить зменшити залишки пестицидів у зернових культурах, захистити здоров’я людей та сприяти екологічно орієнтованому сільському господарству.

4.2. Заходи щодо зменшення забруднення зерна і зернових продуктів важкими металами

Належна сільськогосподарська практика під час вирощування зернових.

Заходи зменшення ризику, пов’язаного з наявністю важких металів, включають тестування ґрунтів на вміст важких металів і, за необхідності, проведення фіторемедіації, чергування вирощування зернових культур з рослинами, які здатні поглинати важкі метали, або внесення ґрунтових добавок, таких як вапно, біовугілля чи органічна речовина, з метою зниження біодоступності металів.

Також рекомендується контроль за використаними під час вирощування матеріалами, зокрема перевірка поливної води на відсутність забруднення такими металами, як кадмій і свинець. Слід уникати використання фосфатних добрив, збагачених кадмієм, а органічні добрива (наприклад, гній) необхідно перевіряти на вміст важких металів.

Заходи, які слід вживати під час переробки зерна

Контроль ланцюгів постачання має вирішальне значення: сировина та перероблені продукти повинні регулярно аналізуватися на наявність важких металів.

4.2.1. Контроль джерел забруднення

● Регулярний моніторинг ґрунту, води та повітря для виявлення джерел важких металів.

● Виявлення та обмеження використання забруднених добрив, пестицидів і стічних вод у сільському господарстві.

4.2.2. Агрохімічний аналіз ґрунтів

● Періодичне тестування ґрунтів на вміст важких металів.

● Використання виключно сертифікованих добрив і компостів з низьким вмістом токсичних елементів.

4.2.3. Вапнування та внесення органічних добрив

● Застосування вапнякових матеріалів для зменшення біодоступності важких металів у ґрунті.

● Внесення органічної речовини (гумус, біочар) для зв'язування важких металів і зменшення їх мобільності.

4.2.4. Вирощування культур, стійких до накопичення важких металів

● Використання сортів і гібридів культур із низькою здатністю накопичувати важкі метали в зерні.

4.2.5. Фіторемедіація – біологічне очищення ґрунту

● Вирощування фіторемедіаційних рослин (люцерна, еспарцет, буркун, гірчиця та ін.) для поглинання та виведення важких металів із ґрунту.

4.2.6. Правильний вибір полів для вирощування

● Уникнення вирощування зернових культур на забруднених або промислових землях.

● Моніторинг територій поблизу промислових зон і автомагістралей.

4.2.7. Контроль і очищення поливної води

● Аналіз поливної води на вміст важких металів.

● Використання фільтраційних систем та інших технологій очищення води.

4.2.8. Оптимізація технологій зберігання та переробки зерна

● Застосування безпечних матеріалів для зберігання з метою уникнення контакту із металевими поверхнями, які можуть виділяти токсичні елементи.

● Усунення поверхневих забруднень шляхом очищення та промивання зерна перед переробкою.

4.2.9. Лабораторний контроль якості зернової продукції

● Регулярний моніторинг вмісту важких металів у зерні, борошні, крупах та іншій продукції.

● Впровадження стандартів безпеки відповідно до національних і міжнародних норм.

4.2.10. Регулювання та державний нагляд

● Запровадження жорсткіших екологічних нормативів і контроль за їх дотриманням.

● Введення сертифікації продукції за вмістом важких металів.

4.2.11. Розвиток органічного землеробства

● Заохочення переходу до екологічно безпечних методів ведення сільського господарства.

● Уникнення використання синтетичних добрив і пестицидів, які можуть містити важкі метали.

Реалізація цих заходів сприятиме зниженню забруднення зернових культур важкими металами, підвищенню безпеки харчових продуктів та мінімізації негативного впливу на здоров’я людини і довкілля.

4.3. Заходи щодо зниження вмісту азотистих сполук у зерні та зернових продуктах

Азотисті сполуки, такі як нітрати, нітрити та біогенні аміни, можуть накопичуватися в зернових культурах і продуктах їх переробки внаслідок сільськогосподарських практик, забруднення навколишнього середовища або мікробіологічної активності під час обробки та зберігання. Хоча деякі азотисті сполуки можуть бути корисними як показники вмісту білка, інші — особливо у надлишкових кількостях — становлять ризик для здоров’я людини.

Для забезпечення безпечності та якості продуктів харчування важливо впроваджувати ефективні стратегії зниження небажаних азотистих сполук.

До таких заходів належать:

* оптимізація практик внесення добрив;

* вибір сортів зернових культур із низьким рівнем накопичення нітратів;

* удосконалення заходів післязбирального обробітку;

* контроль умов зберігання (температура, вологість, вентиляція);

* застосування цільових методів переробки, які пригнічують ріст мікроорганізмів і ферментативне розщеплення.

Комплексне впровадження цих заходів сприятиме виробництву безпечніших і здоровіших зернових продуктів, а також підтримці сталих сільськогосподарських та виробничих систем.

Належні сільськогосподарські практики під час виробництва зернових культур

Заходи щодо пом'якшення наслідків включають використання методів точного землеробства, коли ґрунт регулярно тестується для контролю рівня азоту та відповідно коригується удобрення, застосовуючи лише необхідну кількість азотних добрив та обираючи добрива повільного вивільнення або органічні добрива для мінімізації стоку азоту.

Належні практики підтримки органічної речовини ґрунту, використання компосту та сидератів для покращення утримання азоту, а також сівозміна з бобовими культурами для природної фіксації азоту в ґрунті також можуть допомогти.

Контрольоване зрошення крапельним способом також може допомогти запобігти вимиванню азоту в ґрунтові води.

Нарешті, використання інгібіторів нітрифікації з добривами може уповільнити перетворення амонію в нітрат, зменшуючи втрати азоту.

Заходи, які слід вживати під час обробки зерна

Важливо забезпечити зберігання зерна в умовах низької вологості, щоб зменшити мікробну деградацію та утворення токсичних азотних сполук.

Для зменшення деяких азотних сполук також можна використовувати методи детоксикації, такі як замочування, пророщування, термічна обробка та ферментація (наприклад, ферментація на заквасці).

4.3.1. Оптимізація азотного удобрення

● Внесення добрив відповідно до потреб рослин і результатів агрохімічного аналізу ґрунту з метою запобігання надмірному накопиченню азоту.

● Використання добрив із повільним вивільненням та стабілізованих азотних добрив для зменшення вимивання нітратів.

4.3.2. Сівозміна та інтеграція бобових культур

● Включення бобових культур, що фіксують азот, у сівозміни для природного збагачення ґрунту азотом і зменшення потреби у синтетичних добривах.

● Чергування зернових культур із рослинами з глибокою кореневою системою для поліпшення засвоєння азоту.

4.3.3. Точне землеробство та технології «розумного» удобрення

● Запровадження технологій точного землеробства (дрони, сенсори, штучний інтелект) для оптимізації внесення азотних добрив.

● Застосування технології змінної норми внесення (VRA) для ефективного розподілу азоту згідно з поточними потребами рослин.

4.3.4. Використання інгібіторів нітрифікації

● Додавання до добрив інгібіторів нітрифікації для уповільнення перетворення азоту та зменшення вимивання нітратів у ґрунтові води.

4.3.5. Контрольоване управління зрошенням

● Уникнення надмірного зрошення, яке може вимивати азотні сполуки з ґрунту.

● Впровадження крапельного зрошення та інших водоощадних технологій для мінімізації втрат азоту.

4.3.6. Органічне удобрення та компостування

● Заміна синтетичних добрив компостом, гноєм та іншими органічними добривами, які поступово вивільняють азот.

●Стимулювання мікробної активності в ґрунті для підвищення ефективності використання азоту.

4.3.7. Покращення здоров'я ґрунту та покривні культури

●Вирощування покривних культур (наприклад, конюшини, гірчиці) для поглинання надлишку азоту та запобігання вимиванню нітратів.

●Збільшення органічної речовини ґрунту для покращення утримання азоту.

4.3.8. Правильне зберігання та обробка зерна

●Забезпечення оптимальних умов сушіння та зберігання для запобігання перетворенням азотних сполук, які можуть збільшити вміст нітратів у зернових.

●Миття та обробка зерна для видалення поверхневих забруднювачів.

4.3.9. Моніторинг та лабораторні випробування

●Регулярний аналіз зразків ґрунту, води та зерна для контролю рівня нітратів та азотних сполук.

●Дотримання правил безпеки харчових продуктів щодо допустимого рівня азотних сполук у зернових продуктах.

4.3.10. Нормативна (регулятивна) політика та заходи з охорони навколишнього середовища

● Посилення державного регулювання щодо використання азотних добрив.

● Сприяння впровадженню сертифікаційних програм для зернових та зернових продуктів із низьким вмістом нітратів.

Завдяки впровадженню цих заходів можна суттєво зменшити забруднення зернових культур азотними сполуками, що сприятиме підвищенню безпеки харчових продуктів і забезпеченню екологічної сталості.

REFERENCES:

1. 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.

2. 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.

3. Bai, G., Su, Z., & Cai, J. (2018). Wheat resistance to Fusarium head blight. Canadian Journal of Plant Pathology, 40(3), 336-346.
4. Chełkowski, J. (2010). Fusarium head blight of wheat: pathogenic species and their mycotoxins. World Mycotoxin Journal, 3(2), 107-119.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. Fărcaș, A. C. (2024). Food Safety in Cereal Grains: Contaminants, Legislation, and Mitigation Strategies. DOI: 10.5772/intechopen.1007523.
9. Hendrichs, J., Pereira, R., & Vreysen, M. J. (2021). Area-wide integrated pest management: development and field application (p. 1028). Taylor & Francis.
10. 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.
11. Islam, T. (2022). An integrated pest management program for managing fusarium head blight disease in cereals. Journal of integrative Agriculture, 21(12), 3434-3444.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. 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).

19. 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.

20. Sereda, I., Danilov, R., Kremneva, O., Zimin, M., & Podushin, Y. (2023). Development of Methods for Remote Monitoring of Leaf Diseases in Wheat Agrocenoses. Plants, 12(18), 3223.

21. 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.

22. 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.

23. 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.

24. 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.

25. 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.

26. 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.

27. 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.

РОЗДІЛ 5. АНАЛІТИЧНІ МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН

5.1. Аналітичні методи виявлення вмісту пестицидів у зерні та зернових продуктах

Методи аналізу пестицидів умовно поділяються на чотири основні групи: хроматографічні, спектроскопічні, мас-спектрометричні, імуноферментні методи, а також капілярний електрофорез. Серед традиційних аналітичних методів найчастіше використовуються газова хроматографія (ГХ) та високоефективна рідинна хроматографія (ВЕРХ), які поєднуються з різними детекторами (УФ, флуоресцентний, діодний масив тощо).

Тип детектора обирається відповідно до класу аналізованих пестицидів:
ECD (електрозахоплюючий детектор) — для галогенованих сполук;
FPD (детектор полум'яної фотометрії) — для сполук, що містять сірку та фосфор;
NPD (детектор, чутливий до азоту/фосфору) — для азот- і фосфорвмісних сполук;
FID (детектор полум'яної іонізації) — універсальний, придатний для всіх пестицидів.

Методи на основі мас-спектрометрії (MS) і тандемної мас-спектрометрії (MS/MS) демонструють найвищу чутливість і специфічність.

Аналіз залишків пестицидів вимагає складної підготовки зразків, яка включає стадії екстракції та очищення для забезпечення ефективного вилучення цільових речовин та уникнення супутніх домішок. Одним із найбільш широко використовуваних методів підготовки зразків є техніка QuEChERS (Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe), яка застосовується для одночасного визначення великої кількості пестицидів у різних харчових матрицях.

Ця методика набула популярності завдяки своїй простоті, швидкості, здатності охоплювати широкий спектр пестицидів і зменшеному використанню органічних розчинників. Оскільки зернові культури є складною матрицею через наявність жирів і високий вміст твердих речовин, рекомендується застосовувати модифікації методу QuEChERS для підвищення ефективності, селективності та чутливості екстракції.

Окрім QuEChERS, у аналізі пестицидів важливими залишаються також методи рідинно-рідинної (LLE) та твердофазної екстракції (SPE). Методика QuEChERS сумісна з ГХ та ВЕРХ у поєднанні з мас-спектрометрією (MS) або тандемною мас-спектрометрією (MS/MS).

5.2. Аналітичні методи виявлення забруднення важкими металами зерна і зернових продуктів

Найчастіше використовуваними аналітичними методами в лабораторіях аналізу харчових продуктів для визначення забруднення важкими елементами є: полум'яна атомно-абсорбційна спектрометрія (FAAS) та атомно-абсорбційна спектрометрія в графітових печах (GF-AAS). Існує багато інших методів, таких як атомно-емісійна спектрометрія з індуктивно зв'язаною плазмою (ICP-AES), мас-спектрометрія з індуктивно зв'язаною плазмою (ICP-MS), високороздільна атомно-абсорбційна спектрометрія в графітових печах з джерелом континууму високої роздільної здатності (HR-CS-GFAAS); аніонообмінна хроматографія, пов'язана з мас-спектрометрією з індуктивно зв'язаною плазмою (AEC-ICP-MS); мікрохвильова оптично-емісійна спектрометрія з індукованою плазмою (MIP OES); електрохімічні методи (потенціометрія тощо), атомно-флуоресцентна спектроскопія (AFS) та рентгенівська абсорбційна спектроскопія (XAS).

Підготовка зразків включає сушіння, подрібнення, розщеплення зразків сухим, вологим та мікрохвильовим розщепленням.

5.3. Аналітичні методи виявлення сполук азоту у зерні та зернових продуктах

Виявлення та кількісне визначення азотовмісних сполук у зернових культурах і продуктах на їх основі є важливими для оцінки поживної якості — насамперед вмісту білка, — а також для забезпечення безпеки харчових продуктів шляхом контролю за небажаними азотовмісними речовинами, такими як нітрати, нітрити чи біогенні аміни. Для досягнення цих цілей у наукових і виробничих лабораторіях рутинно застосовуються кілька аналітичних методів, кожен із яких має свої переваги та обмеження.

Метод К'єльдаля

Метод К’єльдаля є одним із найстаріших і найпоширеніших методів визначення загального вмісту азоту в харчових продуктах, зокрема в зернових. Принцип методу полягає в розщепленні зразка концентрованою сірчаною кислотою, що призводить до перетворення органічного азоту в сульфат амонію. Після розщеплення розчин роблять лужним, а вивільнений аміак відганяють і кількісно визначають шляхом титрування. Оскільки азот є ключовим компонентом білків, отримане значення використовують для оцінки вмісту білка за допомогою спеціального коефіцієнта перерахунку.

Метод К’єльдаля залишається еталонним завдяки своїй точності та широкому спектру застосування. Він стандартизований такими організаціями, як AOAC та ISO, і широко використовується у лабораторіях контролю якості харчової промисловості.

****Метод згоряння за Дюма (елементний аналіз)****

Альтернативою методу К'єльдаля є метод Дюма, який визначає загальний вміст азоту шляхом високотемпературного згоряння. У цьому процесі зразок спалюється в атмосфері, збагаченій киснем, у результаті чого азот перетворюється на молекулярний азот (N_2), який потім вимірюється за допомогою детектора теплопровідності. Метод є швидшим і не потребує використання концентрованих кислот або лугів, що робить його безпечнішим і більш екологічним. Проте, подібно до методу К'єльдаля, він не розрізняє білковий і небілковий азот.

УФ-видима спектрофотометрія

УФ-видима спектрофотометрія часто використовується для виявлення неорганічних сполук азоту, таких як нітрати та нітрити, у зразках зернових. Одним із найпоширеніших методів є реакція Гріса, яка є специфічною для нітритів. У цьому методі нітрит реагує з сульфаніловою кислотою та сполучним реагентом з утворенням забарвленого азобарвника, інтенсивність якого вимірюється спектрофотометрично на довжині хвилі близько 540 нм.

Для визначення нітратів, які не реагують безпосередньо у реакції Гріса, зазвичай необхідний етап відновлення до нітритів. Альтернативно можуть використовуватися методи прямого УФ-поглинання, зокрема в діапазоні 220–275 нм. Цей метод є відносно простим і економічно ефективним, хоча слід враховувати можливі завади з боку інших компонентів матриці.

Високоефективна рідинна хроматографія (ВЕРХ)

ВЕРХ — це потужний метод, що дає змогу розділяти та кількісно визначати широкий спектр азотовмісних сполук у зернових, зокрема вільні амінокислоти, біогенні аміни, сечовину та дрібні пептиди. Виявлення зазвичай здійснюється за допомогою УФ-детекторів, флуоресценції або мас-спектрометрії — залежно від конкретних аналітів і використаних реагентів для дериватизації.

Наприклад, амінокислоти можуть бути дериватизовані з використанням о-фталальдегіду (ОФА) або дансілхлориду для підвищення чутливості виявлення. ВЕРХ є особливо цінним методом для оцінки поживного складу та моніторингу процесів бродіння або псування у продуктах із зернових**.**

Іонна хроматографія

Іонна хроматографія (ІХ) є надзвичайно ефективною для визначення неорганічних сполук азоту, таких як нітрати та нітрити. Вона особливо корисна, коли потрібне дуже низьке межеве значення виявлення або коли проводиться аналіз складних матриць зернових культур. Системи ІХ можуть розділяти іони на основі їх заряду та розміру, забезпечуючи високу чутливість і специфічність, що робить метод придатним для тестування на відповідність вимогам законодавства у сфері безпеки харчових продуктів.

Газова хроматографія (ГХ) та ГХ-мас-спектрометрія (ГХ-МС)

Газова хроматографія, часто в поєднанні з мас-спектрометрією (ГХ-МС), використовується для виявлення летких сполук, що містять азот, таких як біогенні аміни. Ці сполуки можуть утворюватися під час псування зерна або в процесі ферментації й можуть слугувати індикаторами якості продукції.

Перед аналізом аміни зазвичай піддають дериватизації для покращення їх леткості та виявлення. Цей метод забезпечує чудову чутливість і специфічність, хоча вимагає складнішого обладнання та підготовки зразків у порівнянні зі спектрофотометричними методами.

Капілярний електрофорез (КЕ)

Капілярний електрофорез — це новітня технологія для аналізу азотвмісних сполук, яка забезпечує високу роздільну здатність і вимагає мінімальної кількості зразка та реагентів. Підходить для аналізу амінокислот, нітратів і нітритів. Хоча КЕ ще не настільки широко використовується, як ВЕРХ (високоефективна рідинна хроматографія) або іонна хроматографія, він набуває популярності в академічних і високоточних аналітичних дослідженнях завдяки своїй ефективності та екологічності.

REFERENCES

1. 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.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

5. 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.

6. 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.

7. 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.

8. 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.

9. Scutarașu, E. C., & Trincă, L. C. (2023). Heavy metals in foods and beverages: Global situation, health risks and reduction methods. *Foods*, *12*(18), 3340.

10. 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.

11. 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

12. 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.

13. 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.

14. 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.

15. 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.

16. 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

17. 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.

18. 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.

19. Wolterink, G., & Moretto, A. PIRIMIPHOS-METHYL (ADDENDUM). *Pesticide residues in food—2006*, 355.
20. 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.
21. 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
22. Division of Toxicology and Human Health Sciences-Glyphosate - ToxFAQs™. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. August 2020. Toxfacts_Glyphosate.pdf
23. 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
24. 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
25. 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
26. 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.
27. Thielecke, F., & Nugent, A. P. (2018). *Contaminants in grain—A major risk for whole grain safety? Nutrients 10 (9): 1213*.
28. 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
29. Ukrainian wheat crop-2020: quality and safety under the spotlight. Source: APK-Inform. Sep 17, 2020.
30. Ukrainian wheat crop-2020: quality and safety under the spotlight

РОЗДІЛ 6. РИЗИКИ ДЛЯ ЗДОРОВ'Я, ПОВ'ЯЗАНІ ІЗ ЗАБРУДНЕННЯМ ЗЕРНА ТА ЗЕРНОВИХ ПРОДУКТІВ

6.1. Ризики для здоров'я, пов'язаний із забрудненням зерна та зернових продуктів пестицидами

Споживання зернових культур і продуктів із них, забруднених пестицидами, може становити різноманітні ризики для здоров'я, що залежать від типу та кількості пестицидів, тривалості впливу та загального стану здоров'я людини.

Можливі ризики для здоров'я:

Гостра токсичність: Деякі пестициди можуть спричинити гостре отруєння, яке проявляється нудотою, блюванням, діареєю, головним болем, запамороченням, судомами або навіть смертю у разі впливу високих доз.

Довготривалі наслідки: Тривалий вплив пестицидів, навіть у низьких дозах, може підвищити ризик розвитку хронічних захворювань, таких як:

Рак: Деякі пестициди вважаються канцерогенними або можуть сприяти розвитку раку, зокрема лейкемії, неходжкінської лімфоми та раку молочної залози.

Неврологічні захворювання: Вплив пестицидів може негативно впливати на нервову систему, підвищуючи ризик розвитку хвороби Паркінсона, Альцгеймера та інших нейродегенеративних хвороб.

Гормональні порушення: Деякі пестициди можуть порушувати роботу ендокринної системи, впливаючи на фертильність, розвиток організму та функцію щитоподібної залози.-

Респіраторні проблеми: Інгаляція або контакт з певними пестицидами можуть спричинити розвиток астми, бронхіту та інших респіраторних захворювань.

Пошкодження імунної системи: Деякі дослідження свідчать, що пестициди можуть послаблювати імунну систему, що підвищує сприйнятливість організму до інфекцій.

Порушення розвитку у дітей: Вагітні жінки, які зазнають впливу пестицидів, можуть народжувати дітей із низькою масою тіла при народженні, вродженими вадами або затримками у розвитку.

Фактори, що впливають на ризик:

* **Тип пестициду:** Різні пестициди мають різний ступінь токсичності та можуть спричиняти різні негативні наслідки для здоров'я.
* **Кількість пестициду:** Чим більша кількість спожитого пестициду, тим вищий ризик для здоров'я.
* **Тривалість впливу:** Повторний або тривалий вплив пестицидів може збільшити ризик розвитку хронічних захворювань.
* **Індивідуальний стан здоров'я:** Люди з ослабленою імунною системою, вагітні жінки, малі діти та особи з певними хронічними захворюваннями є більш вразливими до шкідливого впливу пестицидів.

6.2. Ризики для здоров'я, пов'язаний із забрудненням зерна та зернових продуктів важкими металами

Токсичні важкі метали, такі як кадмій, ртуть, свинець і миш'як, не лише конкурують з необхідними мінералами (наприклад, кальцієм, магнієм, залізом) за поглинання клітинами, а й мають спорідненість до важливих клітинних компонентів, таких як структурні білки, ферменти та нуклеїнові кислоти, що може порушувати їх функції.

Вживання зернових та продуктів із зерна, забруднених важкими металами, несе широкий спектр загроз здоров'ю, які проявляються залежно від типу та концентрації металу, тривалості впливу, а також фізіологічного стану людини. Важкі метали небезпечні навіть у малих концентраціях через їх довгий біологічний період напіврозпаду, стійкість у організмі та здатність накопичуватися в органах.

Ризики для здоров'я через забруднення важкими металами зернових і продуктів із них. Зернові культури та продукти із зерна можуть накопичувати важкі метали, такі як свинець (Pb), миш'як (As) та кадмій (Cd), із забруднених ґрунту, води та повітря. Хронічне споживання цих металів через харчові продукти пов'язане з істотними ризиками для здоров'я**.**

Гостра токсичність: Вплив деяких важких металів, таких як ртуть та миш'як, може спричинити гостре отруєння, що характеризується такими симптомами, як нудота, блювота, діарея, головний біль, запаморочення, судоми та, в крайніх випадках, смерть.

Довгострокові наслідки: Навіть тривалий вплив низьких доз важких металів може збільшити частоту тяжких хронічних захворювань:

- Рак: Деякі важкі метали, такі як миш'як, кадмій та свинець, класифікуються як канцерогенні або можуть сприяти розвитку новоутворень, особливо раку шкіри, легень, сечового міхура та нирок.

- Неврологічні захворювання: Вплив важких металів може впливати на нервову систему та пов'язаний з етіологією нейродегенеративних розладів, таких як хвороба Паркінсона та хвороба Альцгеймера.

- Захворювання нирок: Кадмій та свинець можуть пошкодити функцію нирок, збільшуючи ризик ниркової недостатності.

- Проблеми з кістками: Свинець може перешкоджати обміну кальцію, сприяючи остеопорозу та переломам.

- Порушення роботи серцево-судинної системи: Деякі важкі метали можуть негативно впливати на артеріальний тиск та частоту серцевих скорочень, збільшуючи ризик серцево-судинних захворювань.

- Проблеми розвитку у дітей: Вплив важких металів під час вагітності може мати негативні наслідки для розвитку плода, включаючи низьку вагу при народженні, вроджені вади розвитку та затримки нейророзвитку.

Більш конкретні (залежно від елемента) ризики для здоров'я від забруднення важкими металами зернових та продуктів із зерна наведені нижче.

➢ **Свинець (Pb)**

***Пошкодження нервової системи** – Особливо шкідливий для дітей, викликає когнітивні порушення, зниження IQ та затримки у розвитку.

- **Серцево-судинні ефекти** – Підвищений ризик гіпертонії та серцевих захворювань.
- **Пошкодження нирок –** Тривале накопичення може призвести до дисфункції нирок.

➢ **Миш'як (As)**

- **Канцерогенність** – Тривалий вплив неорганічного миш'яку пов'язаний із розвитком раку (шкіри, легенів, сечового міхура)**.**
- **Порушення шкіри –** Гіперпігментація, ураження та кератоз.
- **Неврологічні та серцево-судинні ефекти** – Підвищений ризик когнітивного зниження, діабету та серцево-судинних захворювань.

➢ **Кадмій (Cd)**

- **Токсичність для нирок –** основний орган-мішень; хронічний вплив призводить до ниркової недостатності.
- **Ослаблення кісток**.
- **Канцерогенність** - класифікований як канцероген для людини, пов'язаний з розвитком раку легенів і простати.

Вразливі групи населення

• **Немовлята та діти –** більш схильні до неврологічних пошкоджень та порушень розвитку.

• **Вагітні жінки –** ризик проникнення важких металів через плаценту, що впливає на розвиток плода.

• **Люди похилого віку –** вищий ризик пошкодження нирок та захворювань, пов'язаних з кістками.

Нормативні обмеження та профілактика

Такі організації, як EFSA, ВООЗ та FDA, встановлюють суворі нормативні обмеження для контролю рівня важких металів у продуктах харчування. Профілактичні заходи включають моніторинг ґрунту та води, контрольоване використання добрив та методи обробки для зменшення забруднення зернових культур.

Токсичні прояви

Гостра токсичність: Вплив певних важких металів, таких як ртуть та миш'як, може спричинити гостре отруєння, що характеризується такими симптомами, як нудота, блювота, діарея, головний біль, запаморочення, судоми та, в крайніх випадках, смерть.

Довгострокові наслідки: Навіть тривалий вплив низьких доз важких металів може збільшити частоту тяжких хронічних захворювань:

- Рак: Деякі важкі метали, включаючи миш'як, кадмій та свинець, визнані канцерогенними або пов'язані з розвитком новоутворень, зокрема карцином шкіри, легень, сечового міхура та нирок**.**

- Серцево-судинна дисфункція: Деякі важкі метали пов'язані зі шкідливим впливом на серцево-судинну систему, включаючи зміни артеріального тиску та частоти серцевих скорочень, тим самим потенційно збільшуючи ризик серцево-судинних захворювань.

- Неврологічні захворювання: Вплив важких металів може впливати на нервову систему та пов'язаний з етіологією нейродегенеративних розладів, таких як хвороба Паркінсона та хвороба Альцгеймера.

- Захворювання нирок: Кадмій та свинець можуть пошкоджувати функцію нирок, збільшуючи ризик ниркової недостатності.

- Проблеми з кістками: Свинець може перешкоджати метаболізму кальцію, сприяючи остеопорозу та переломам.

- Проблеми з розвитком у дітей: Вплив важких металів під час вагітності може призвести до несприятливих наслідків для розвитку, включаючи низьку вагу при народженні, вроджені вади розвитку та затримки нейророзвитку.

- Токсичність для печінки: Порушуючи регуляцію антиоксидантної системи в організмі людини, важкі метали викликають оксидативний стрес у печінці, що може призвести до запалення, спричинити канцерогенні зміни та печінкову недостатність.

- Метаболічні ефекти та системна токсичність для органів: Зв'язуючись з білками в біологічних системах та піддаючись окисно-відновним реакціям, важкі метали порушують механізми клітинного контролю та викликають дисфункцію клітинних антиоксидантних механізмів, що призводить до утворення реактивних окислювальних сполук, які додатково викликають пошкодження ДНК, а також деградують та інактивують біомолекули.

Фактори ризику

Тип важкого металу: Кожен важкий метал має специфічний токсичний профіль, що спричиняє різні наслідки для здоров'я.

Концентрація важких металів: Чим вища кількість важкого металу, що потрапляє в організм, тим вищий ризик для здоров'я.

Тривалість впливу: Повторний або тривалий вплив важких металів збільшує ризик довгострокових наслідків.

Стан здоров'я людини: Люди з ослабленою імунною системою, вагітні жінки, маленькі діти та люди з певними попередніми захворюваннями більш вразливі до шкідливого впливу важких металів.

6.3. Ризики для здоров'я, пов'язаний із забрудненням зерна та зернових продуктів азотистими сполуками

Наявність азотних забруднювачів у зернових становить значну загрозу для здоров'я населення. Ці сполуки, включаючи нітрати, нітрити та аміни, можуть походити з різних антропогенних джерел, таких як добрива, пестициди та скидання стічних вод.

Механізми забруднення

Забруднення зернових азотними сполуками може відбуватися протягом усього процесу виробництва та переробки:

● **До збору врожаю:** Надмірне внесення азотних добрив може призвести до підвищеної концентрації нітратів у ґрунтовій матриці, що згодом призведе до збільшення їх поглинання та накопичення в рослинних тканинах.

● **Після збору врожаю:** Неоптимальні умови зберігання можуть сприяти росту мікроорганізмів, здатних перетворювати нітрати на нітрити та аміни.

● **Обробка:** Деякі методи обробки, включаючи обсмажування та ферментацію, можуть спричиняти утворення амінних сполук.

Несприятливі наслідки для здоров'я

Споживання злаків, забруднених азотистими сполуками, може призвести до цілого спектру несприятливих наслідків для здоров'я, тяжкість яких залежить як від концентрації забруднювача, так і від тривалості впливу. Основні ризики для здоров'я включають:

● **Метгемоглобінемія:** Нітрити можуть окислювати гемоглобін до метгемоглобіну, форми білка, що не переносить кисень. Це може погіршити доставку кисню до тканин, що призводить до ціанозу, втоми та задишки.

● **Канцерогенність:** Певні аміни можуть реагувати з нітритами в кислому середовищі шлунка, утворюючи нітрозаміни, сполуки, відомі своїм канцерогенним потенціалом.

● **Системна токсичність:** Вплив азотистих сполук пов'язаний з розвитком різних інших ускладнень зі здоров'ям, включаючи неврологічну, серцево-судинні та репродуктивні дисфункції.

Стратегії пом'якшення забруднення

Ефективне зменшення забруднення зерновими сполуками азоту вимагає впровадження профілактичних та контрольних заходів на всіх етапах виробництва та переробки:

● **Оптимізоване внесення добрив:** Розумне використання азотних добрив, адаптованих до потреб конкретних культур, є важливим для мінімізації накопичення нітратів у ґрунті та подальшого поглинання рослинами.

● **Контрольовані методи зберігання:** Підтримка належних умов зберігання, що перешкоджають розмноженню мікробів та утворенню азотистих побічних продуктів, має вирішальне значення.

● **Комплексне забезпечення якості:** Регулярний моніторинг рівня азотних сполук у зернових та продуктах, отриманих із зернових, за допомогою аналітичних випробувань необхідний для забезпечення безпеки споживачів.

REFERENCES

1. 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.

2. 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.

3. 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.

4. Arora, M., Mittleman, M. A., & Sanyal, S. (2024). Heavy metal exposure and cardiovascular disease. *Circulation Research*, *134*(8), 1162-1175.

5. Balali-Mood, M., Naseri, K., & Afshari, R. (2021). Toxic effects of heavy metals. *Journal of Medical Toxicology*, *17*(1), 1-28.

6. 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.

7. 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.

8. 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

9. Grandjean, P., & Landrigan, P. J. (2014). Neurobehavioural effects of developmental toxicity. *The Lancet Neurology*, *13*(3), 330-338.

10. 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.

11. Jaishankar, M., Tseten, T., Annu, N., Kumar, A., & Bhasker, R. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Chemosphere*, *108*, 105-115.

12. 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.

13. 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.

14. 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.

15. 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.

16. Mostafalou, S., & Abdollahi, B. (2013). Cancer health effects of pesticides: Systematic review. *Iranian Journal of Toxicology*, *7*(2), 527-544.

17. Mostafalou, S., & Abdollahi, M. (2013). Pesticides and neurodegenerative diseases: An update. *Neurotoxicology*, *34*, 242-253.

18. 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.

19. 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.

20. 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.

21. Salameh, P., Baldi, I., & El Hajj, T. (2018). Environmental exposure to pesticides and respiratory health. *Current Opinion in Pulmonary Medicine*, *24*(1), 47-53.

22. 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.

23. 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