УДК 632.92:664.7
DOI https://doi.org/10.15673/swonaft.v89i1.3250

ВМІСТ АФЛАТОКСИНІВ ТА ОХРАТОКСИНУ А В УКРАЇНСЬКОЇ ПШЕНИЦІ

Жигунов Д.О., проф., д-р техн. наук, Оніщенко О.В., аспірант
Одеський національний технологічний університет, м. Одеса

Анотація. *У статті розглянуто мікотоксикологічні ризики, пов'язані з контамінацією м'якої пшениці (Triticum aestivum L.) токсичними метаболітами мікроміцетів, зокрема афлатоксинами (B1, B2, G1, G2) та Охратоксином А. Особливу увагу приділено нормативному регулюванню вмісту зазначених мікотоксинів у харчовій та кормовій продукції відповідно до актів Європейського Союзу – Регламенту (EU) 2023/915, Директиви 2002/32/ЕС та Рекомендацій 2006/576/ЕС.*

У результаті аналізу 1380 зразків української м'якої пшениці за період 2020–2025 рр. методом рідинної хроматографії з мас-спектрометрією (LC-MS/MS) встановлено, що жоден із досліджених зразків не перевищив допустимих рівнів Афлатоксину B1 та Суми афлатоксинів (B1, B2, G1, G2) згідно з нормами Європейського Союзу. Разом з тим, у 3,9 % випадків протягом торгівельних сезонів 2020-2025 років вміст Охратоксину А перевищував граничні значення для продовольчої пшениці, особливо у сезоні 2022–2023 років (у 7,7 % випадків).

Отримані результати вказують на загальну відповідність української м'якої пшениці нормативам Європейського Союзу щодо афлатоксинів, проте свідчать про потребу у посиленому моніторингу Охратоксину А, з огляду на вплив кліматичних факторів, що сприяють зростанню токсигенних грибів. Встановлена закономірність підтверджує необхідність постійного контролю вмісту мікотоксинів з метою гарантування експортної безпеки зерна та виробів з нього.

Ключові слова: мікотоксини, зерно пшениці, афлатоксин B1, охратоксин А, показники безпечності.

Одним з ключових аспектів безпечності злакових культур та продуктів їх переробки є мікотоксикологічна безпека, яка безпосередньо пов'язана з наявністю мікроскопічних грибів (мікроміцетів) та їх токсичних метаболітів — мікотоксинів. На сьогодні науково відомо близько 200 видів мікроміцетів, здатних продукувати понад 400 різних мікотоксинів, і ця кількість продовжує зростати в міру розвитку методів молекулярної діагностики та аналітичної мікотоксикології [1, 2].

М'яка пшениця (*Triticum aestivum L.*) широко використовується у харчовій промисловості та піддається зараженню мікотоксинами – токсичними вторинними метаболітами грибів *Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium* та інших. Ці сполуки становлять загрозу здоров'ю людини і тварин, викликаючи канцерогенні, мутагенні, гепатотоксичні та імуносупресивні ефекти.

Серед найбільш поширених мікотоксинів у м'якій пшениці виділяються:

1. Афлатоксини (AFB1, AFB2, AFG1, AFG2) – сильні канцерогени, які виробляються *Aspergillus flavus* та *A. parasiticus* [3].
2. Охратоксин А (OTA) – нефротоксин, пов'язаний із захворюваннями нирок [5].
3. Дезоксиніваленол (ДОН, Vomitoxin) – трихотецен типу В, що спричиняє нудоту, блювання та пригнічення імунної системи [4].
4. Зеараленон (ZON) – мікотоксин з естрогенною активністю, що викликає гормональні порушення [4].
5. Т-2 і НТ-2 токсини – трихотецени типу А, що викликають харчові отруєння та імуносупресію [6].

Варто зазначити, що один і той самий гриб може синтезувати кілька видів мікотоксинів, тоді як деякі токсини можуть продукуватися різними родами грибів. Крім того, наявність мікроміцетів не гарантує обов'язкову наявність мікотоксинів, так само як і відсутність візуальних ознак плісняви не виключає токсичної контамінації.

Більшість мікотоксинів є термостабільними сполуками, що зберігають токсичні властивості навіть після впливу температури понад 100°C. Традиційні методи кулінарної обробки, включаючи випікання, варіння та обсмажування, лише частково руйнують ці сполуки [8].

Фактори, що впливають на забруднення мікотоксинами: 1) агротехнічні фактори: попередня культура, спосіб обробки ґрунту та сорт пшениці впливають на ризик зараження *Fusarium spp.*. Мінімальний обробіток ґрунту збільшує ризик зараження [11]; 2) кліматичні умови: волога та тепла погода сприяє росту грибів і синтезу мікотоксинів [7]; 3) методи зберігання: висока вологість і погана вентиляція зерносховищ підвищують ризик зараження *Aspergillus* і *Penicillium* [3].

Процеси біосинтезу мікотоксинів є складними та поліфакторними. До ключових біологічних чинників, які визначають утворення мікотоксинів у злакових культурах, належать: 1) властивості грибів, зокрема генетичні механізми метаболізму вторинних сполук; 2) інтенсивність генерації токсинів, яка може варіювати в межах виду або навіть штаму; 3) таксономічна належність гриба, що визначає спектр потенційно продукованих мікотоксинів; 4) початковий рівень грибкової контамінації, що прямо корелює з концентрацією утворених токсинів [10, 11].

Окрім біологічних факторів, істотну роль відіграють зовнішні умови, зокрема: 1) вологість середовища та активність води (aw); 2) температура навколишнього середовища; 3) тип і доступність поживного субстрату; 4) склад газової атмосфери (наприклад, низький вміст O_2 чи високий рівень CO_2); 5) ступінь механічного пошкодження зерна.

Крім того, біологічними чинниками, що також мають значення, відносять: 6) зараженість зерна – комахи можуть бути переносниками спор або спричиняти механічні ушкодження зерна, що полегшує проникнення патогенних грибів; 7) конкуренція між мікробними штамами; 8) стан фітосанітарного стресу рослини; а також 9) сортові (генетичні) особливості оболонки зерна [9].

Найбільш небезпечними для здоров'я людини є Афлатоксини та Охратоксин А.

Афлатоксини — це термостійкі мікотоксини, що продукуються грибами *Aspergillus flavus* та *A. parasiticus*. Вони слабо розчинні у воді, частково руйнуються під дією лугів. Найнебезпечнішим є афлатоксин B1 — потужний гепатоканцероген, який був ідентифікований після масової загибелі індиків у Великій Британії в 1960-х роках (так звана «Turkey X disease»). Оптимальні умови для синтезу афлатоксинів: температура – 25–32 °C; вологість зерна – >15 % (оптимально 18–20 %); водна активність – Aw > 0,85; а також наявність комах, що значно підвищує ризик контамінації.

Охратоксин А продукується переважно *Aspergillus ochraceus* (у теплому кліматі) та *Penicillium verrucosum* (у холодному кліматі). Найчастіше виявляється у зерні, хлібі, вині, сухофруктах, каві. ОТА є нефротоксином, накопичується в тканинах тварин і часто виявляється в м'ясі, особливо у свиней та птиці. У Данії ОТА був ідентифікований у 50 % зразків сироватки крові людини [9]. Оптимальними умовами росту грибів-продуцентів ОТА: для *Aspergillus ochraceus* – 12–37 °C (оптимум: 28 °C); Aw ≥ 0,77; для *Penicillium verrucosum* – 0–24 °C (оптимум: 12–24 °C); Aw ≥ 0,80.

Метою представленої роботи була оцінка рівня контамінації мікотоксинами у зерні пшениці українського походження 2020-2024 років врожаю, а саме Афлатоксинами та Охратоксином А, як найнебезпечніших для здоров'я людини.

Предмет досліджень – зерно м'якої пшениці (1380 зразків), що було вирощено у 2020-2024 роках у різних регіонах України.

Методи та методика досліджень. Досліджені зразки зерна відбирали під час навантаження судових, вагонних, автомобільних та контейнерних партій української м'якої пшениці за Правилами відбору проб Gafta № 124 та з зерносховищ/елеваторів і транспортних засобів за ISO24333:2009 Cereals and cereal products — Sampling. Також аналізувались зразки, надані представниками різних компаній.

Далі їх розмелювали у відповідності до внутрішньої робочої інструкції Випробувального центру (ВЦ) ІП «СЖС УКРАЇНА» UA-06365 «Процедура підготування зразків для випробувань в лабораторії FSL». Для розмелювання використовували млини FRITSCH Pulverisette 15, Retsch GRINDOMIX GM 200 та GM 300.

Оскільки розподіл заражених грибами зерен у пробі є зазвичай дуже нерівномірним, для отримання якісної проби брали весь наявний об'єм відібраного матеріалу, процес розмелювання комбінували з гомогенізацією, для чого на різних стадіях приготування аналітичної проби використовували щільовий дільник та планетарні міксери GASTROMIX B10C та GOOD FOOD PM 10.

Вміст Афлатоксинів B1, B2, G1, G2 та Охратоксину А відповідно визначали за внутрішніми методами SGS-UA1-0005 «Кількісне визначення афлатоксина B1 та суми афлатоксинів B1, B2, G1,G2. Метод високоефективної рідинної хроматографії» та SGS-UA1-0010 «Кількісне визначення охратоксина А. Метод високоефективної рідинної хроматографії», які розроблені спеціалістами ВЦ ІП «СЖС УКРАЇНА» та базуються на рекомендаціях Phenomenex application note «Mycotoxins Analysis using QuEChERS, SPE and LC/MS/MS» і Perkin Elmer application note «A Fully Validated Method for Determination of Twelve Mycotoxins in Various Food Matrices».

Сутність методу полягає у екстракції токсинів з подрібненого зразка, очищенні отриманого розчину за допомогою технології твердофазної екстракції та випробуванні отриманої аналітичної проби за допомогою рідинної хроматографії з мас-детектуванням. Особливість методу полягає у використанні ізотопно-мічених стандартів, що підвищує надійність отриманих результатів, враховуючи складність аналізу подібних матриць. Для випробування використовували використовували хромато-мас-спектрометричну систему Waters Aquity H-Class Plus Xevo TQ-XS.

Для забезпечення достовірності випробувань лабораторія регулярно приймає участь у програмах професійного тестування міжнародного провайдера BIPEA (https://www.bipea.org).

Слід зазначити, що описаний процес визначення мікотоксинів відповідає критеріям, викладеним у рекомендаціях COMMISSION REGULATION (EU) 2023/2782 (Methods of sampling and analysis for the control of the levels of mycotoxins in food).

Випробувальний центр ІП «СЖС УКРАЇНА» акредитований за стандартом ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019. Усі зазначені внутрішні робочі інструкції та методи є частиною системи менеджмента якості (СМЯ) ІП «СЖС УКРАЇНА» та контролюються і коригуються відділом якості ІП «СЖС УКРАЇНА».

Результати досліджень. Контроль за рівнем мікотоксинів у харчових і кормових продуктах регламентується низкою нормативних документів Європейського Союзу, що є обов'язковими для імпорту з третіх країн, зокрема України. Встановлення гранично допустимих рівнів мікотоксинів є ключовим інструментом

для зниження ризиків токсикологічного ураження споживачів і тварин, а також для забезпечення безпечної торгівлі зерновою продукцією. Регламент Європейської Комісії (EU) 2023/915 визначає допустимі рівні мікотоксинів у необробленій м'якій пшениці, що призначена для споживання людиною (табл. 1). Ці обмеження розроблені з урахуванням токсикологічної дії кожного мікотоксину та споживчих норм, зокрема для особливо чутливих груп населення (діти, вагітні жінки, хворі на хронічні захворювання).

Для кормових цілей встановлено жорсткі обмеження на Афлатоксин B1, оскільки він належить до речовин із високою біонакопичуваністю та канцерогенною дією, особливо небезпечною для жуйних тварин і птиці. Відповідно до Директиви Європейського Парламенту та Ради 2002/32/ЕС (консолідована версія від 28.11.2019 р.) максимальний вміст Афлатоксину B1 в кормах: 0,02 мг/кг (або 20 мкг/кг) у перерахунку на корм з вологістю 12 %.

Європейська Комісія також встановила рекомендований граничний рівень Охратоксину А для кормів у Рекомендації 2006/576/ЕС (консолідована версія від 02.08.2016 р.) – 0,25 мг/кг (або 250 мкг/кг). Це значення також розраховане на вміст вологи 12 %, що є типовим для умов безпечного зберігання зерна.

Таблиця 1

Граничні рівні мікотоксинів у м'якій пшениці

Мікотоксини	Максимально допустимий вміст (мкг/кг)	
	харчове призначення	кормові цілі
Афлатоксин B1	2,0	20,0
Сума афлатоксинів B1, B2, G1, G2	4,0	—
Охратоксин А	5,0	250,0

Впродовж торгівельних сезонів 2020–2025 років вміст Афлатоксину B1 та Суми афлатоксинів (B1, B2, G1, G2) у зразках м'якої пшениці залишався стабільно низьким — мінімальні, середні та медіанні значення були <0,5 мкг/кг, а максимальні – не перевищували цього рівня (табл. 2). Перевищення норм (2,0 мкг/кг для Афлатоксину B1 та 4,0 мкг/кг для Суми афлатоксинів) виявлено не було. Це свідчить про відсутність суттєвої контамінації афлатоксинами у досліджених партіях пшениці, як у полі, так і під час зберігання.

Таблиця 2

Показники вмісту Афлатоксину B1 та Суми афлатоксинів (B1, B2, G1, G2) в м'якій пшениці протягом торгівельних сезонів 2020-2025 років

Мікотоксини / Кількість аналізованих зразків	Мін.	Макс.	Середнє	Медіана
Сезон 2020-2021 років				
Афлатоксин B1, мкг/кг / 184 зразки	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Кількість зразків з перевищеннями / відсоток від загальної кількості: 1* - 0 / 0%, 2* - 0 /0%				
Сума афлатоксинів (B1, B2, G1, G2), мкг/кг / 183 зразки	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Кількість зразків з перевищеннями / відсоток від загальної кількості: 1* - 0 / 0%, 2* - 0 / 0%				
Сезон 2021-2022 років				
Афлатоксин B1, мкг/кг / 147 зразків	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Кількість зразків з перевищеннями / відсоток від загальної кількості: 1* - 0 / 0%, 2* - 0 /0%				
Сума афлатоксинів (B1, B2, G1, G2), мкг/кг / 138 зразків	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Кількість зразків з перевищеннями / відсоток від загальної кількості: 1* - 0 / 0%, 2* - 0 /0%				
Сезон 2022-2023 років				
Афлатоксин B1, мкг/кг / 393 зразки	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Кількість зразків з перевищеннями / відсоток від загальної кількості: 1* - 0 / 0%, 2* - 0 /0%				
Сума афлатоксинів (B1, B2, G1, G2), мкг/кг / 390 зразків	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Кількість зразків з перевищеннями / відсоток від загальної кількості: 1* - 0 / 0%, 2* - 0 /0%				
Сезон 2023-2024 років				
Афлатоксин B1, мкг/кг / 371 зразок	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Кількість зразків з перевищеннями / відсоток від загальної кількості: 1* - 0 / 0%, 2* - 0 /0%				
Сума афлатоксинів (B1, B2, G1, G2), мкг/кг / 366 зразків	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Кількість зразків з перевищеннями / відсоток від загальної кількості: 1* - 0 / 0%, 2* - 0 /0%				
Сезон 2024-2025 років				
Афлатоксин B1, мкг/кг / 285 зразків	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Кількість зразків з перевищеннями / відсоток від загальної кількості: 1* - 0 / 0%, 2* - 0 /0%				
Сума афлатоксинів (B1, B2, G1, G2), мкг/кг / 282 зразки	< 0,5	0,5	< 0,5	< 0,5
Кількість зразків з перевищеннями / відсоток від загальної кількості: 1* - 0 / 0%, 2* - 0 /0%				
Узагальнені дані сезонів 2020-2025 років				
Афлатоксин B1, мкг/кг / 1380 зразків	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Кількість зразків з перевищеннями / відсоток від загальної кількості: 1* - 0 / 0%, 2* - 0 /0%				
Сума афлатоксинів (B1, B2, G1, G2), мкг/кг / 1359 зразків	< 0,5	0,5	< 0,5	< 0,5
Кількість зразків з перевищеннями / відсоток від загальної кількості: 1* - 0 / 0%, 2* - 0 /0%				

Примітки:

1*) Перевищення норми вмісту Афлатоксину B1 (2,0 мкг/кг) та Суми афлатоксинів (B1, B2, G1, G2) (4,0 мкг/кг) в необробленій м'якій пшениці для продовольчих цілей у Регламенті Європейської Комісії (EU)

2023/915

2*) Перевищення норми вмісту Афлатоксину B1 (20 мкг/кг) в необробленій м'якій пшениці для кормових цілей у Директиві Європейського Парламенту та Ради 2002/32/ЕС

3) Межа кількісного визначення (LOQ) Афлатоксину B1 та Суми афлатоксинів (B1, B2, G1, G2) – 0,5 мкг/кг

Загалом було проаналізовано 1380 зразків на вміст Афлатоксину B1 і 1359 зразків на Суму афлатоксинів за п’ять сезонів. Така ситуація говорить про ефективний контроль умов вирощування, збору та зберігання зерна. Для експортерів це означає високі шанси відповідати міжнародним вимогам без додаткових витрат на знезараження.

У період з 2020 по 2025 роки вміст Охратоксину А у м’якій пшениці демонстрував значно більшу варіативність, ніж Афлатоксини (табл. 3). Мінімальні значення у всіх сезонах були нижче 1 мкг/кг, але максимальні коливались від 17 до 102 мкг/кг, що у десятки разів перевищує гранично допустимий рівень 5,0 мкг/кг для харчової пшениці. Середні концентрації коливались у межах 1,0–2,2 мкг/кг, медіанні значення у більшості сезонів становили 1 мкг/кг, що свідчить про переважання низького рівня контамінації, але з окремими випадками високих пікових значень.

Перевищення нормативів фіксувалися щороку, і частка таких зразків коливалась від 0,6% (2020–2021) до 7,7% (2022–2023), а в середньому за п’ять сезонів — 3,9% від усіх протестованих 1504 зразків. Найпроблемнішим виявився сезон 2022–2023, коли не лише зафіксовано найбільше перевищень (37 зразків), але й максимальний показник у 102 мкг/кг, що є критично високим для безпечності зерна.

Загалом дані свідчать, що Охратоксин А у пшениці — це більш поширена та мінлива проблема, ніж афлатоксини. Контамінація переважно залишається на безпечному рівні, проте поодинокі випадки високих концентрацій становлять серйозний ризик як для харчового використання, так і для експорту. Це підкреслює необхідність регулярного моніторингу та особливо ретельного контролю умов зберігання, адже Охратоксин А — типовий токсин, що утворюється саме на етапі післязбиральної обробки та зберігання.

Таблиця 3

Показники вмісту Охратоксину А в м’якій пшениці протягом торгівельних сезонів 2020-2025 років

Мікотоксини / Кількість аналізованих зразків	Мін.	Макс.	Середнє	Медіана
Сезон 2020-2021 років				
Охратоксин А, мкг/кг / 167 зразків	1	21	1,1	1
Кількість зразків з перевищеннями / відсоток від загальної кількості: 1* - 1 / 0,6%, 2* - 0 / 0%				
Сезон 2021-2022 років				
Охратоксин А, мкг/кг / 185 зразків	1	32	1,6	1
Кількість зразків з перевищеннями / відсоток від загальної кількості: 1* - 9 / 4,9%, 2* - 0 / 0%				
Сезон 2022-2023 років				
Охратоксин А, мкг/кг / 481 зразок	1	102	2,2	1
Кількість зразків з перевищеннями / відсоток від загальної кількості: 1* - 37 / 7,7%, 2* - 0 / 0%				
Сезон 2023-2024 років				
Охратоксин А, мкг/кг / 382 зразки	1	21	1,4	1
Кількість зразків з перевищеннями / відсоток від загальної кількості: 1* - 8 / 2,1%, 2* - 0 / 0%				
Сезон 2024-2025 років				
Охратоксин А, мкг/кг / 289 зразків	< 1	17	< 1	< 1
Кількість зразків з перевищеннями / відсоток від загальної кількості: 1* - 3 / 1,0%, 2* - 0 / 0%				
Узагальнені дані сезонів 2020-2025 років				
Охратоксин А, мкг/кг / 1504 зразки	< 1	102	1,5	1
Кількість зразків з перевищеннями / відсоток від загальної кількості: 1* - 58 / 3,9%, 2* - 0 / 0%				

Примітки:

1*) Перевищення норми вмісту Охратоксину А (5,0 мкг/кг) в необробленій м'якій пшениці для продовольчих цілей у Регламенті Європейської Комісії (EU) 2023/915

2*) Перевищення рекомендованої норми вмісту Охратоксину А (250 мкг/кг) в необробленій м'якій пшениці для кормових цілей у Рекомендаціях Європейської Комісії 2006/576/ЕС

3) Межа кількісного визначення (LOQ) – 1 мкг/кг

Висновки. За результатами моніторингу 2020–2025 років, Афлатоксин B1 та Сума афлатоксинів у м’якій пшениці виявлялися на стабільно низькому рівні. Це свідчить, що ризик забруднення афлатоксинами у досліджених партіях пшениці мінімальний, і вони не становили суттєвої загрози для безпечності зерна в умовах досліджуваного регіону та періоду.

Натомість Охратоксин А проявив значно більшу варіативність і небезпеку: у середньому 3,9% зразків перевищували допустимий рівень 5,0 мкг/кг, а максимальні значення сягали 102 мкг/кг. Пік проблемності при-

пав на сезон 2022–2023 років, коли перевищення фіксувалися у 7,7% зразків. Через частіші випадки перевищення, значно ширший діапазон концентрацій та походження як токсину зберігання, саме визначення Охратоксину А є більш критичним для контролю якості та безпечності пшениці, ніж афлатоксинів, у сучасних умовах.

References

1. Deligeorgakis, C., Magro, C., Skendi, A., et al. (2023). *Fungal and toxin contaminants in cereal grains and flours: Systematic review and meta-analysis. Foods, 12*(23), 1–52.
2. Weidenbörner, M. (2017). *Mycotoxins in plants and plant products.* In *Mycotoxins in plants and plant products* (pp. 717–722).
3. Enespa, & Chandra, P. (2022). *Aflatoxins: Food safety, human health hazards and their prevention.* In *Aflatoxins – Occurrence, detoxification, determination and health risks* (pp. 1–20).
4. Palpacelli, V., Beco, L., & Ciani, M. (2007). *Vomitoxin and zearalenone content of soft wheat flour milled by different methods. Journal of Food Protection, 70*(2), 509–513.
5. Khoi, C., Chen, J., Lin, T., et al. (2021). *Ochratoxin A-induced nephrotoxicity: Up-to-date evidence. International Journal of Molecular Sciences, 22*, 11237, 1–20.
6. Tolosa, J., Graziani, G., Gaspari, A., et al. (2017). *Multi-mycotoxin analysis in durum wheat pasta by liquid chromatography coupled to quadrupole orbitrap mass spectrometry. Toxins, 9*(2).
7. Froment, A., Gautier, P., Nussbaumer, A., et al. (2011). *Forecast of mycotoxins levels in soft wheat, durum wheat and maize before harvesting with Qualimètre®. Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, 6*(2), 277–281.
8. Kaushik, G. (2015). *Effect of processing on mycotoxin content in grains. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 55*(12), 1672–1683.
9. Jedidi, I., Soldevilla, C., Lahouar, A., et al. (2018). *Mycoflora isolation and molecular characterization of Aspergillus and Fusarium species in Tunisian cereals. Saudi Journal of Biological Sciences, 25*(5), 868–874.
10. Hassan, Z. U., Al-Thani, R. F., Migheli, Q., et al. (2018). *Detection of toxigenic mycobiota and mycotoxins in cereal feed market. Food Control, 84*, 389–394.
11. Jedidi, I., Jurado, M., Cruz, A., et al. (2021). *Phylogenetic analysis and growth profiles of Fusarium incarnatum-equiseti species complex strains isolated from Tunisian cereals. International Journal of Food Microbiology, 353* (November 2020).

AFLATOXINS AND OCHRATOXIN A CONTENT IN UKRAINIAN WHEAT

D. Zhygunov, Doctor of Sciences (Dr. Hab.) in Engineering, Professor, O. Onischenko, postgraduate
Odesa National University of Technology

Abstract. *The article deals with mycotoxicological risks associated with contamination of soft wheat (Triticum aestivum L.) with toxic metabolites of micromycetes, in particular Aflatoxins (B1, B2, G1, G2) and Ochratoxin A. Particular attention is paid to the regulation of maximum content of these mycotoxins in food and feed products in accordance with the acts of the European Union - Regulation (EU) 2023/915, 2002/32/EC Directive and 2006/576/EC Recommendations.*

As a result of the analysis of 1380 samples of Ukrainian common wheat for the period 2020-2025 by liquid chromatography with mass spectrometry (LC-MS/MS), it was established that none of the studied samples exceeded the permissible levels of Aflatoxin B1 and Sum of aflatoxins (B1, B2, G1, G2) according to the norms of the European Union. At the same time, in 3.9% of cases during the trading seasons 2020-2025, the content of Ochratoxin A exceeded the limits for food wheat, especially in the season 2022-2023 (in 7.7% of cases).

The results obtained indicate the overall compliance of Ukrainian common wheat with the European Union requirements for aflatoxins content but indicate the need for enhanced monitoring of Ochratoxin A, given the influence of climatic factors that contribute to the growth of toxigenic fungi. The established regularity confirms the need for constant control of the content of mycotoxins in order to ensure the export safety of grain products.

Key words: mycotoxins, wheat grain, aflatoxin B1, ochratoxin A, safety indicators.

Список використаної літератури

1. Deligeorgakis, C., Magro, C., Skendi, A., та ін. Fungal and Toxin Contaminants in Cereal Grains and Flours: Systematic Review and Meta-Analysis. / *Foods*. 2023. 12, 23. С. 1–52.
2. Weidenbörner, M. Mycotoxins in Plants and Plant Products. / *Mycotoxins in Plants and Plant Products*. 2017. С. 717–722.
3. Enespa, Chandra, P. Aflatoxins: Food Safety, Human Health Hazards and Their Prevention. / *Aflatoxins - Occurrence, Detoxification, Determination and Health Risks*. 2022. С. 1–20.

4. Palpacelli, V., Beco, L., Ciani, M. Vomitoxin and zearalenone content of soft wheat flour milled by different methods. / *Journal of Food Protection*. 2007. 70, 2. С. 509–513.
5. Khoi, C., Chen, J., Lin, T., та ін. Ochratoxin A-Induced Nephrotoxicity : Up-to-Date Evidence. / *International Journal of Molecular Sciences*. 2021. 22, 11237. С. 1–20.
6. Tolosa, J., Graziani, G., Gaspari, A., та ін. Multi-mycotoxin analysis in durum wheat pasta by liquid chromatography coupled to quadrupole orbitrap mass spectrometry. / *Toxins*. 2017. 9, 2.
7. Froment, A., Gautier, P., Nussbaumer, A., та ін. Forecast of mycotoxins levels in soft wheat, durum wheat and maize before harvesting with Qualimètre®. / *Journal fur Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit*. 2011. 6, 2. С. 277–281.
8. Kaushik, G. Effect of Processing on Mycotoxin Content in Grains. / *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2015. 55, 12. С. 1672–1683.
9. Jedidi, I., Soldevilla, C., Lahouar, A., та ін. Mycoflora isolation and molecular characterization of Aspergillus and Fusarium species in Tunisian cereals. / *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2018. 25, 5. С. 868–874.
10. Hassan, Z. U., Al-Thani, R. F., Migheli, Q., та ін. Detection of toxigenic mycobiota and mycotoxins in cereal feed market. / *Food Control*. 2018. 84. С. 389–394.
11. Jedidi, I., Jurado, M., Cruz, A., та ін. Phylogenetic analysis and growth profiles of Fusarium incarnatum-equiseti species complex strains isolated from Tunisian cereals. / *International Journal of Food Microbiology*. 2021. 353, November 2020.

Отримано в редакцію 06.07.2025 Received 06.07.2025
Прийнято до друку 02.09.2025 Approved 02.09.2025