

УДК 632.92

Решетило Л. І.,

lidare@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-1229-634X, Researcher ID: G-9509-2020,

к.т.н., доц., професор кафедри товарознавства, технологій і управління якістю харчових продуктів, Львівський торговельно-економічний університет, м. Львів

МІКРОБІОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ: ПЛІСЕНЕВІ ГРИБИ ТА РИЗИКИ ОТРУЄННЯ ЇХ ТОКСИНАМИ

Анотація. Сьогодні у цілому світі значна увага приділяється питанням безпечності та якості продуктів харчування. Споживання харчових продуктів рослинного та тваринного походження, контамінованих плісневими грибами, є загрозою для здоров'я людей і може бути причиною тяжких захворювань. Незважаючи на те, що за останні роки знання в галузі вивчення мікотоксинів плісневих грибів як в Україні, так і у всьому світі значно розширилися, проблема їх більш детального дослідження залишається актуальною. Метою статті було дослідження характеристик та властивостей окремих плісневих грибів різних родів, які уражають більшість видів сільськогосподарської продукції, харчові продукти рослинного і тваринного походження та є загрозою для здоров'я людей, оскільки можуть бути причиною тяжких захворювань. Наведено допустимі норми вмісту мікотоксинів плісневих грибів у харчових продуктах, які визначають безпечність їх для споживання. Встановлено, що один і той же вид плісневих грибів може виробляти декілька видів мікотоксинів і кілька грибів можуть виробляти один і той самий мікотоксин. Активність мікотоксинів у різних штамів одного виду плісняви може відрізнятися, а токсична складова, яка проявляється у пригніченні синтезу нуклеїнових кислот і білкових сполук, може бути гостро токсичною, слабо токсичною або взагалі нетоксичною. Проблема мікотоксинів набуває все більшої актуальності в Україні і в світі, адже забруднення ними харчової продукції зростає і є серйозною загрозою для безпеки людей. Зроблено висновок, що зусилля науковців повинні бути спрямовані на пошук ефективних способів обробки харчових продуктів з метою знищення у них мікотоксинів, адже при сучасних технологіях можливе лише часткове зменшення їх кількості.

Ключові слова: плісневі гриби, рід, штами, мікотоксини, отруєння, забруднення, харчові продукти.

Reshetylo L. I.,

lidare@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-1229-634X, Researcher ID: G-9509-2020,

Ph.D., Associate Professor, Professor of the Department of Commodity Studies, Technologies and Food Quality Management, Lviv University of Trade and Economics, Lviv

MICROBIOLOGICAL SAFETY OF FOODSTUFFS: RISKS OF POISONING BY MOLD FUNGI TOXINS

Abstract. Today, worldwide, much attention is paid to food safety and quality. Consumption of food of plant and animal origin contaminated with mold fungi is a threat to human health and can cause serious illnesses. Despite the fact that in recent years the knowledge in the field of studying the mycotoxins of mold fungi both in Ukraine and around the world has expanded significantly, the problem of their more detailed study remains relevant. The aim of the article was to study the particular characteristics and properties of individual mold fungi of different genera, which affect most types of agricultural products, food products of plant and animal origin and are a threat to human health because they can cause serious diseases. Permissible levels of mycotoxins of mold fungi in food products are revealed, which determine their safety for consumption. It has been found that the same species of mold fungi can produce several types of mycotoxins and several fungi can produce the same mycotoxin. The activeness of mycotoxins in different strains of the same species of mold may differ, and the toxic component, which is manifested in the inhibition of nucleic acids and protein compounds synthesis, may be acutely toxic, weakly toxic or even non-toxic. The problem of mycotoxins is becoming increasingly important in Ukraine and in the world, because their contamination of food products is growing and is a serious threat to human safety. It is concluded that the efforts of scientists should be aimed at finding effective ways to process food in order to destroy their mycotoxins, because with modern technology it is possible only to partially reduce their number.

Key words: mold fungi, genus, strains, mycotoxins, poisoning, pollution, foodstuffs.

JEL Classification: L66

DOI: <https://doi.org/10.36477/2522-1221-2020-24-08>

Постановка проблеми. Сьогодні значна увага приділяється питанням безпечності та якості продуктів харчування. В останні роки одними з найбільш небезпечних для здоров'я людей і тварин забруднювачів практично всіх видів сільськогосподарської продукції у світі вважають мікотоксини – токсичні вторинні метаболіти обміну речовин плісневих грибів, більшість з яких відносять до канцерогенних.

Загального погіршення мікотоксикологічної ситуації у світі і забруднення плісневими грибами харчових продуктів важко уникнути, оскільки воно відбувається у всьому навколишньому середовищі і пов'язано з ураженням ними сільськогосподарських культур, порушенням екологічної рівноваги у мікоценозах при інтенсивних технологіях вирощування, неконтрольованим використанням добрив, втратою рослинами стійкості до фітопатогенів, підвищенням вмісту фотооксидантів у атмосфері, забрудненням грибами продуктів, кормів через недотримання санітарно-гігієнічних умов тощо.

Науковцями встановлено, що мікотоксини можуть міститися у продуктах харчування у досить високих концентраціях і викликати різні захворювання людей, часом і з летальним закінченням. Вважають, що причиною виникнення деяких форм рака (первинний рак, печінки, легень, стравоходу) є потрапляння мікотоксинів з їжею в організм людини.

Незважаючи на те, що за останні роки знання в галузі вивчення мікотоксинів плісневих грибів як в Україні, так і у всьому світі значно розширилися, проблема їх більш детального дослідження залишається актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останні роки вивченням мікотоксинів плісневих грибів займалися у різних країнах світу. Дослідження проводилися у напрямках вивчення структури, властивостей, характеру зараження рослинної сировини, механізму їх впливу на окремі об'єкти, розробки методів їх виділення, ідентифікації та кількісного визначення тощо.

Вивченням мікотоксинів займалися Кравченко Л., Мочалов В., Нестерін М., Покровський, А. Тутельян В. Харченко С. є автором довідника по мікозах та мікотоксикозах сільськогосподарських тварин.

Дослідження структури, біологічних ефектів впливу мікотоксинів на організм людини і тварин здійснювали Антоняк Г., Головчак Н., Досвідчинська М. Фундаментальними і прикладними аспектами дослідження мікотоксинів займаються в Інституті мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАНУ Смирнов В., Зайченко А., Рубежнюк І. та інші.

Білай В., Дахновський В., Зайченко А., Підопличко В., Харченко С., досліджуючи антимікробні властивості різних мікотоксинів, дійшли висновку, що використання їх в якості антибіотиків є малоімовірним.

Вивченням захворювань тварин, пов'язаних з ураженням їх мікотоксинами, займалися Андрійчук В., Білан А., Труфанов О., Іванова А., Пчелкіна А. Дослідженнями Pier A. I Thaxton встановлено ослаблення імунітету і порушення процесу імунної відповіді у домашньої птиці. Дворською Ю. доведено надзвичайно високу чутливість до мікотоксинів високопродуктивних порід птиці.

Грибковим захворюванням шкіри, викликаним токсинами плісневих грибів, присвячені роботи Коляденка В., Кравченка А., Степаненка В.

Постановка завдання. Метою роботи було охарактеризувати окремі плісневі гриби різних родів, які уражають більшість видів сільськогосподарської продукції, харчові продукти рослинного і тваринного походження та є загрозою для здоров'я людей, оскільки можуть бути причиною тяжких захворювань. У зв'язку з цим необхідно знати допустимі норми вмісту мікотоксинів плісневих грибів у харчових продуктах, які визначають безпечність їх для споживання.

Виклад основного матеріалу дослідження. Плісневі гриби є поширеними у природі організмами, які спостерігаються практично всюди. Вони розвиваються тільки при наявності повітря, утворюють грибниці великих розмірів і покривають поверхні переважно у вигляді пухнастих нальотів різного забарвлення.

З продуктів харчування і кормів виділено близько 30000 тисяч видів плісневих грибів, з яких більше ніж 250 видів здатні виробляти небезпечні токсини і є одним із чинників ризику та порушення найважливіших систем організму людини. Крім цього, мікотоксини негативно впливають на ситуацію з продовольчою безпекою та харчуванням, оскільки обмежується доступ людей до здорової їжі.

За даними Управління з продовольства й сільського господарства ООН (ФАО), щорічно близько 36% всіх захворювань рослин і сільськогосподарських продуктів у світі викликаються мікотоксинами, при цьому втрати сільськогосподарської продукції, пов'язані із забрудненням ними, перевищують 15 млрд дол.

Причини утворення плісневими грибами мікотоксинів ще до кінця не з'ясовані. Є думка, що вони

необхідні плісневим грибам для поліпшення життєдіяльності росту та розвитку. Оптимальна температура токсинування – у межах від 8-12°C до 27-30°C, вологість повітря - не більше 85%.

За хімічною будовою мікотоксини являють собою ароматичні поліциклічні сполуки. Вони містять різні групи хімічних речовин: алкалоїди, стероли, кумарини, пептиди, антрахінони, трихотецини та інші сполуки.

Більшість мікотоксинів є кристалічними речовинами, які добре розчинні в органічних розчинниках, досить стійкі до дії кислот, руйнуються лугами з утворенням нетоксичних або малотоксичних сполук, стійкі до нагрівання, пастеризації, кулінарної обробки.

Ступінь реальної небезпеки кожного мікотоксину залежить від біології та екології гриба-продуцента, фізико-хімічних властивостей мікотоксину та його токсикологічної характеристики (біотрансформації, виділення, накопичення, гострої і хронічної токсичності), особливості розповсюдження у харчових продуктах, гігієнічного регламентування вмісту мікотоксинів у харчових продуктах, профілактичних заходів.

Слід зазначити, що один і той же вид плісневих грибів може виробляти декілька видів мікотоксинів і кілька грибів можуть виробляти один і той самий мікотоксин.

Активність мікотоксинів у різних штамів одного виду плісняви може відрізнятись, а токсична складова, яка проявляється у пригніченні синтезу нуклеїнових кислот і білкових сполук, може бути гостро токсичною, слабо токсичною або взагалі нетоксичною.

В організм людини мікотоксини можуть потрапляти з харчовими продуктами, виготовленими із зараженої ними сировини.

Джерелами забруднення харчових продуктів мікотоксинами переважно є зернові, бобові, олійні культури, уражені плісневими грибами на етапі росту, збирання врожаю, зберігання, реалізації та виготовлення з них харчових продуктів, концентратів, арахіс, горіхи (фісташки, волоський горіх, мигдаль), зерна кави, какао-боби, чайний лист, спеції (найчастіше перець червоний і чорний, сушений імбир), прянощі, сухофрукти тощо.

Різновиди злаків, що ростуть у лісах і в горах, можуть теж містити мікотоксини і становити реальну небезпеку отруєння при тактильному контакті або при вдиханні.

Із заражених плісневими грибами кормів для тварин (сіно, солома, запліснявіле зерно злаків,

комбікорми тощо) мікотоксини мають властивість мігрувати у молоко, м'ясо, субпродукти, яйця.

Джерелом надходження мікотоксинів в організм людини є також запліснявілі продукти (хлібобулочні, м'ясні, ковбасні вироби, овочі, фрукти, варення, трав'яні чаї тощо). У країнах Європи мікотоксини часто виявляють у горіхах, сухих плодах, зернових і м'ясних продуктах, молоці.

За даними експертних досліджень, досить нерідко знаходять мікотоксини у продуктах для дитячого харчування і соках у ПЕТ-упаковках.

Небезпека ураження мікотоксинами полягає ще і в тому, що їх часто не видно у харчових продуктах, вони не змінюють їх колір, запах, стійкі до високих і низьких температур.

Токсини дуже швидко всмоктуються в організмі людини. Дослідження вчених показали, що більшість мікотоксинів адаптуються у тонкому кишечнику. Симптоми мікотоксикозу залежать від типу мікотоксину, його концентрації, часу дії, віку, статі, загального стану та чутливості організму людини.

Клінічна картина мікотоксикозів досить різноманітна. В організмі людини мікотоксини уражають серцево-судинну, центральну нервову систему, шлунково-кишковий тракт, внутрішні органи, шкіру, деякі з них впливають на функцію відтворення і здатні викликати мутації, неправильне внутрішнє формування плоду. Встановлена чітка залежність між вмістом мікотоксинів у харчових продуктах і частотою рака печінки у людей.

Найбільш небезпечними для людини є плісневі гриби переважно родів *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, які продукують різні мікотоксини.

Гриби роду *Aspergillus* при розмноженні на таких природних субстратах, як колосові злаки, рис, кукурудза, бобові, горіхи, арахіс, фрукти, овочі, сири, спеції, продукують охратоксини А, В і С, афлатоксини В₁, В₂, G₁, G₂, М₁, М₂, фумітоксини А, В, С і D, фумітриморгини А і В, терротриєми А і В, цитохалазин Е, стеригматоцестин. Найбільш поширені та небезпечні мікотоксини та їх продуценти наведено у табл. 1.

Охратоксини виділяють плісневі гриби *Aspergillus ochraceus*, які інгібують синтез білка.

Найчастіше забруднює харчові продукти найбільш токсичний охратоксин А. У чистому вигляді він нестабільний, чутливий до дії світла та кисню, стійкий у розчинах. Охратоксини проявляють нефротоксичну, тератогенну та імунодепресивну дію, негативно впливають на внутрішньо-

утробний розвиток плода, руйнують імунну систему, порушують синтез глікогену.

Афлатоксини, які вважаються основними забруднювачами харчових продуктів і сировини, продукують плісеневі гриби *Aspergillus flavus* та *Aspergillus parasiticus*.

Частота виділення з харчових продуктів штамів гриба *Aspergillus*, які виробляють афлатоксини, в Україні складає 1-2%, з них 40-50% припадає на *Aspergillus flavus*.

За хімічною природою афлатоксини відносяться до дифуранокумаринів.

Афлатоксини В1, В2, G1 та G2, які взаємодіють з нуклеофільними ділянками ДНК і РНК, мають виражену канцерогенну і імунодепресивну дію, можуть викликати неправильний розвиток плоду у вагітних жінок.

Афлатоксини відрізняються між собою за токсичними властивостями. Найбільш токсичним є афлатоксин В1. Афлатоксини типу G мають вдвічі нижчу токсичність порівняно з афлатоксином типу В.

Найчастіше і у великих концентраціях афлатоксинами забруднені арахіс, кукурудза, а також мигдаль, волоські, кедрові і кокосові горіхи, фісташки, сири, сорго та продукти їх переробки. Небагато афлатоксинів виявлено в насіннях соняшника. Рідко вони спостерігаються у свіжих овочах і фруктах.

Встановлено, що в зерні вміст афлатоксинів знижується від периферії до центру ендосперми. Якщо концентрацію їх у вихідному зерні при-

йняти за 100%, то у борошні вищого гатунку вона складатиме 25-49%; борошні першого гатунку – 60-75%; борошні другого гатунку – 135%; у висівках – 370-391%.

З проса, ураженого плісеневим грибом *Aspergillus fumigates*, було виділено токсин, який в організмі людини викликає геморагічну алейкію Франка, є у формі агранулоцитозу.

Присутність афлатоксинів у харчових продуктах тваринного походження обумовлена переважно наявністю їх в кормах або забрудненням мікроміцетами різних виробів у процесі їх виробництва.

При вживанні тваринами кормів, забруднених афлатоксином В1, з молоком виділяється високо-токсичний афлатоксин М1.

Така термічна обробка, як пастеризація (температура до 100°C) і навіть стерилізація (температура вища за 100°C) молока, не знижує в ньому вмісту афлатоксину М1.

Слід зазначити, що в кисломолочних продуктах спостерігається дещо менший вміст афлатоксину, ніж у молоці. Встановлено, що при виготовленні сиру 36-58% афлатоксину М1 переходить в сирну масу.

Більш безпечно купувати молочні продукти заводського виробництва, де вони проходять триетапну хімічну перевірку на наявність мікотоксину М1, який не видає себе у молочних продуктах ні стороннім кольором, ні запахом, ні присмаком. В інших продуктах виявити самостійно афлатоксини також неможливо, а тому під час виробництва обов'язково перевіряється їх вміст,

Таблиця 1

Найбільш поширені та небезпечні мікотоксини

Мікотоксин	Гриби-продуценти	Контаміновані продукти
Афлатоксини	<i>Aspergillus flavus</i> , <i>A. parasiticus</i>	Кукурудза, арахіс, лісові горіхи, колосові злаки, молоко
Фумонізени	<i>Fusarium verticilloides</i> (= <i>F. moniliforme</i>), <i>F. proliferatum</i>	Кукурудза
Охратоксин А	<i>Aspergillus ochraceus</i> , <i>A. carbonarius</i> , <i>Penicillium verrucosum</i>	Кукурудза, колосові злаки, фрукти та соки, кава, вино
Трихотецени (DON, T-2)	<i>Fusarium graminearum</i> , <i>F. culmorum</i> , <i>F. crookwellense</i> , <i>F. sporotrichoides</i> , <i>F. poae</i> , <i>F. tricinctum</i> , <i>F. acuminatum</i>	Кукурудза, колосові злаки
Зеараленон	<i>Fusarium culmorum</i> , <i>F. graminearum</i>	Кукурудза, колосові злаки

який не повинен перевищувати встановлені допустимі мінімальні дози.

Встановлено, що в яйцях концентрація афлатоксину В1 дещо нижча, ніж у м'ясі.

Афлатоксини є найбільш сильною гепатотропною отрутою і вражають печінку, викликають гепатит, дегенерацію та некроз клітин печінки, при гострому отруєнні спостерігається фіброз, при хронічній формі – цироз. Афлатоксини ушкоджують ДНК, провокують рак кровотворних органів.

В організм людини за сприятливих умов надходить за добу з їжею до 0,19 мкг афлатоксинів. Смертельною дозою для дорослого вважається 75 мг/кг, а токсичною, при якій настає гостре отруєння, – 1,7 мг/кг. Значної шкоди організму завдає хронічне отруєння афлатоксинами.

Гриби роду *Penicillium* продукують такі мікотоксини, як патулін, рокфортин, пенітреми, янтитреми, руголозин, ісландітоксин, еритроскирин, веррукулоген, лютеоскирин, паксилін, рубратоксини, циклоротин, цитреовіридин, цитрини, пеніцилова, мікофенолова, циклопіазонова, секалонова кислоти. Для цих мікотоксинів характерна нефротоксична, нейротоксична, кардіотоксична, пульмонотоксична, гепатотоксична, мутагенна дія.

Субстратами для грибів роду *Penicillium* є пшениця, жито, овес, ячмінь, рис, кукурудза, сорго, насіння соняшника, арахіс, різні фрукти та овочі і продукти їх переробки (компоти, соки, пюре, джем), сири.

Penicillium expansum виділяє надзвичайно токсичний патулін, який інгібує ДНК та РНК. При потраплянні в організм людини він вражає селезінку, печінку і нирки, викликає шлунково-кишкові розлади, блювоту.

В останні роки зросло ураження зернових культур плісєневими грибами роду *Fusarium*, які продукують трихотеценові мікотоксини, зеараленон, моніліформін.

Трихотецени продукують гриби *Fusarium sporotrichiella*, *Fusarium solani* і *Fusarium graminearum* та інші. Їх поділяють на типи А, В, С і Д.

Ці мікотоксини зумовлюють пригнічення біосинтезу білка, проявляють тератогенну, цитотоксичну, імунодепресивну, канцерогенну, кардіотоксичну, дерматотоксичну дію, уражають центральну нервову систему, кровотворні органи, викликають лейкопенію, геморагічний синдром, вражають шкіру і слизові кишечника, викликаючи діарею, можуть бути причиною порушення гормонального фону.

Плісєневі гриби роду *Fusarium*, розвиваючись переважно на пшениці, рідше на житі, вівсі, ячмені, продукують мікотоксин – вомітоксин. На зерні і колосках з'являється блідо-рожевий або рожево-червоний наліт.

При споживанні хліба, отриманого з борошна, виготовленого із зерна, зараженого *Fusarium graminearum*, виникає гостре отруєння, яке за симптомами схоже на сп'яніння («п'яний хліб»), при цьому спостерігаються розлади психіки, збудження, ейфорія, порушення координації рухів, тремтіння у кінцівках, запаморочення, далі слабкість, сонливість, депресія, порушення травлення, послаблюється функція кісткового мозку і знижується кількість лейкоцитів у крові.

Плісєневі гриби *Fusarium sporotrichiella* і *Fusarium sporotrichioidis* виділяють токсини, які викликають аліментарно-токсичну алейкію (септична ангіна) – харчовий мікотоксикоз. Отруєння виникає при споживанні продуктів, виготовлених із заражених зернових культур (пшениця, жито, ячмінь, гречка, просо та інші), які перезимували у полі. Найбільш сприятливою умовою для розвитку плісєневого гриба є температура нижча за 0°C, а токсиноутворення – від мінус 1°C до плюс 5°C. Температурний оптимум для вегетації гриба коливається у межах від 18°C до 27°C. Токсин досить стійкий і зберігає активність навіть при тривалому (4-5 років) зберіганні зерна.

Аліментарно-токсична алейкія проявляється стоматитом, агранулоцитозом, пізніше – некротичною ангіною, геморагічним синдромом, сепсисом.

Зеараленон – мікотоксин, який продукується плісєневим грибом *Fusarium graminearum*, має естрогенні та тератогенні властивості, а також проявляє антибактеріальну дію стосовно грампозитивних бактерій.

Спори гриба живуть у ґрунті і переважно уражають кукурудзу (зерна рожевіють), а також рис, сорго, горіхи, банани, чорний перець, прянощі.

Зеараленон часто спостерігається одночасно з дезоксиниваленом та іншими трихотеценоми і мікотоксинами грибів роду *Fusarium* і є лактоном фенольної резорцилової кислоти.

Ведуться дослідження по підтвердженню участі зеараленону в розвитку рака молочної залози.

Фумонізени – це група мікотоксинів, які виявляють у різних продуктах рослинного походження (переважно злаки, кукурудза, просо, сорго). Продуцентом їх є плісєневий гриб *Fusarium verticillioides*. Найбільш поширеним і небезпечним представником фумонізинів є фумонізін В1.

Вважають, що вони блокують процес синтезу ліпідів у біологічних мембранах клітин. Токсичність фумонізинів ґрунтується на структурній подібності їх із сфінгоосовами, сфінгозином і сфінганіном.

Фумонізиди в організмі людини руйнують печінку, нирки, провокують захворювання нервової системи, зокрема лейкоенцефаломалацію. Доведено, що навіть малі дози токсину мають канцерогенні властивості і можуть спричинити розвиток рака стравоходу і кишківника.

Мікроскопічні плісеневі гриби *Claviceps purpurea* та *Claviceps paspali* виділяють ерготоксин і ерготонін, які уражають колоски пшениці та жита і потрапляють в організм людини з виробами, виготовленими із зараженого зерна. Проявами отруєння є судоми, спазми гладкої мускулатури, розлади психіки, зору.

Плісеневі гриби *Alternaria alternata*, *Alternaria solani*, *Alternaria tenuissima* продукують такі мікотоксини, як альтернаріол, альтенуен, альтеннізол, альтертоксини, тенаузонова кислота та інші, які вражають серцево-судинну систему, мають мутагенну, фітотоксичну, тератогенну дію.

У профілактиці мікотоксикозів основними є заходи із запобігання забрудненню харчових продуктів і сировини мікроміцетами. Запліснявілі продукти не можна використовувати в їжу.

У побуті слід звертати увагу на термін придатності харчового продукту до споживання, а також на відсутність сторонніх запахів, на присутність цвілі, на правильне зберігання. До групи проблемних продуктів без видимої цвілі і з відсутнім запахом відносяться такі, як арахіс, чечевиця, горіхи в шкарлупі, ядра персикових і абрикосових кісточок, мигдаль.

Заходи з дотримання правил зберігання зерна і харчових продуктів направлені на недопускання зволоження продукції, розвитку плісняви, підвищення культури землеробства, впровадження науково обґрунтованих агротехнологічних заходів.

У США та Франції для зниження вмісту афлатоксинів у продуктах до безпечного рівня використовують хімічну детоксикацію кормів аміаком при підвищеному тиску і температурі, в Індії – обробку перексидом водню.

Для знищення мікотоксинів, які виробляють гриби роду *Aspergillus*, в кормах застосовують знезараження за допомогою аміаку або гідроксиду кальцію або екстракцію з органічними розчинниками. Можлива також обробка кормів гарячою водою з сіллю.

Часом доцільно видаляти афлатоксини екстракцією водою, органічними розчинниками (диме-

тилефіром, бентоїном), сумішшю органічного розчинника і води (ацетон:гексан:вода).

Застосовують також обробку розчинами окисників; сильними кислотами (спосіб не придатний для харчових продуктів), основами у поєднанні з високими температурами.

Гідросульфіти, які використовують для консервування фруктових соків, джемів, сухофруктів, руйнують афлатоксини B1 і G1.

Перспективною є біологічна детоксикація афлатоксинів та інших мікотоксинів деякими видами мікроорганізмів. Біологічні методи профілактики афлатоксинів полягають і у виведенні сортів рослин, резистентних до аспергілів.

Механічні методи деконтамінації і детоксикації продуктів, забруднених афлатоксинами, передбачають фізичне видалення забрудненого матеріалу, а саме: некондиційних, пліснявих зерен кукурудзи, арахісу, ядер горіхів, плодів тощо.

Розроблені електронно-колориметричні сортувальники для видалення пошкоджених зерен, однак оптимальний ефект досягається при поєднанні цього методу з наступним ручним сортуванням.

Фізичними методами є високотермічна обробка, опромінення сонячними і УФ-променями, що дозволяє зруйнувати до 70% афлатоксинів. Таке руйнування зростає при підвищенні тиску і температури, а також об'єму води по відношенню до продукту.

Проводиться селекційна робота з сільськогосподарськими культурами по підборі комбінацій для протистояння патогенним плісеневим грибам на генетичному рівні.

Єдиним доказом наявності специфічного грибного токсину в харчових продуктах і сировині є хімічна та фізична ідентифікація.

Щоб знизити ризики отруєння та поширення мікотоксинів в кормах і їжі, необхідно тримати на контролі якість продукції, регулярно перевіряти рівень мікотоксинів.

Визначення мікотоксинів у харчових продуктах і сировині проводиться шляхом спеціальних лабораторних досліджень. Сучасні способи виявлення і визначення мікотоксинів є дуже різноманітними.

На сьогодні наявні аналітичні та кількісні методи аналізу дають змогу виявити тільки десятку частину з усіх відомих мікотоксинів. Кращі європейські лабораторії визначають не більше 15 з них.

Компанією Shimadzu розроблено нову хроматографічну систему для визначення 10 мікотоксинів експрес-методом за 14 хвилин.

Визначення мікотоксинів особливо важливе для виробників і постачальників продовольчої продукції, адже дозволяє визначити зараження плісневими грибами продуктів харчування, уникнути поширення мікотоксинів, удосконалити або змінити умови зберігання.

Для попередження шкоди здоров'ю людей вміст мікотоксинів у продуктах харчування повинен бути максимально низьким.

У більшості країн світу встановлені максимальні гранично допустимі норми вмісту окремих мікотоксинів у сировині, харчових продуктах, кормах, які вказуються у нормативних документах, і перевищення їх є причиною серйозних захворювань. Максимально допустимі норми вмісту окремих мікотоксинів у зерні і харчових продуктах у різних країнах наведено у табл. 2.

З метою гармонізації законодавства України з Регламентом Комісії Європейського Союзу від 19.12.2006 р. №1881/2006 про встановлення максимального рівня вмісту певних забруднюючих речовин у харчових продуктах в Україні згідно з Наказом МОЗ від 13.05.2013 р. №368 затверджено Державні гігієнічні правила і норми «Регламенти максимальних рівнів окремих забруднюючих речовин у харчових продуктах», які набрали чинності з 1.01.2014 р.

Так, у харчових продуктах максимально допустимий рівень афлатоксину В1 складає для

продуктів дитячого харчування – 0,1 мкг/кг, для арахісу, сухофруктів, горіхів, що ростуть на деревах, – 2,0 мкг/кг, для мигдалю і фісташок – 8,0 мкг/кг, для більшості інших харчових продуктів – 5,0 мкг/кг.

У молоці непереробленому і термічно обробленому, молоці для виготовлення харчових продуктів, у молочних продуктах, сирах і сирних виробках, маслі коров'ячому вміст афлатоксину В1 не повинен перевищувати 0,1 мкг/кг, афлатоксину М1 – 0,05 мкг/кг.

Згідно з Регламентом у харчових продуктах нормується також максимально допустимий вміст мікотоксинів, який складає (в залежності від виду продукту): охратоксину (від 0,5 до 15,0 мкг/кг), патуліну (від 10,0 до 50,0 мкг/кг), дезоксиніваленолу (від 200 до 750 мкг/кг), зеараленону (від 20 до 400 мкг/кг), фумонізину (від 200 до 1000 мкг/кг).

Ряд міжнародних організацій, установ та агентств намагаються досягти універсальної стандартизації нормативних обмежень для мікотоксинів, що є складним завданням, оскільки потрібно враховувати багато чинників при прийнятті нормативних документів. Важливу роль у процесі ухвалення рішення відіграють оцінка ризиків, аналітична точність, економічні аспекти та комерційні інтереси кожної країни при постачанні на ринок зерна, продуктів харчування чи кормів.

Таблиця 2

Максимально допустимі норми вмісту мікотоксинів у зерні і харчових продуктах у різних країнах

Мікотоксини	Назва продукту	Європейський стандарт	Codex standart 193-1995	Японський стандарт
Афлатоксини В1, В2, G1, G2	Зерно, зернові продукти	Сума - 4-15 мкг/кг AFB1 2-12 мкг/кг	Сума - 10-15 мкг/кг	Сума - 10 мкг/кг
Афлатоксин М1	Молоко	0,05 мкг/кг	0,5 мкг/кг	0,5 мкг/кг
Охратоксин А	Пшениця, пшеничне борошно	2-10 мкг/кг	5 мкг/кг	Не регламентується
Патулін	Яблука	25-50 мкг/кг	50 мкг/кг	50 мг/г
Дезоксиніваленол	Пшениця, пшеничне борошно	500-1700 мкг/кг	1000 мкг/кг	1100 мкг/кг
Зеараленол	Зерно, зернові продукти	299-400 мкг/кг (корм 2-3 мкг/кг)	Не регламентується	Не регламентується (корм – 1 мкг/кг)
Фуманізін	Кукурудза	200-400 мкг/кг	2000- 4000 мкг/кг	Не регламентується
Т 2 токсин	Зерно	Сума – 200-1000 мкг/кг	Не регламентується	Не регламентується

Висновки і перспективи подальших досліджень у даному напрямі. Сьогодні проблема мікотоксинів набуває все більшої актуальності в Україні і в світі, адже забруднення ними харчової продукції зростає і є серйозною загрозою для безпеки людей.

Оскільки причини утворення плісневими грибами мікотоксинів та характер зараження ними рослинної сировини і харчових продуктів до кінця не з'ясовані, дослідження у цьому напрямі потребують продовження.

Ведуться дослідження, спрямовані на виведення сортів сільськогосподарських культур, стійких до токсиноутворювальних штамів плісневих грибів.

Зусилля науковців направлені на пошук ефективних способів обробки харчових продуктів з метою знищення у них мікотоксинів, адже при сучасних технологіях можливе лише часткове зменшення їх кількості.

ЛІТЕРАТУРА

1. Борисова Т. Скрининговий аналіз мікотоксинів в зерне пищевых продуктов / Т. Борисова // Аналитика. – 2017. – № 2. – С. 96-98.

2. Микотоксины и способы борьбы с ними [Електронний ресурс]. – Режим доступу: teknofeed.org/2019/06/18/micotoxins.

3. Микотоксины [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/mycotoxins>

4. Смирнов В. В. Микотоксины: фундаментальные и прикладные аспекты / В. В. Смирнов, А. М. Зайченко, И. Г. Рубежняк // Современные проблемы токсикологии. – 2000. – № 1. – С. 5-12.

REFERENCES

1. Borysova T. (2017), Skrynynhovyj analiz mykotoksynov v zerne pyschevykh produktov, *Analytyka*, № 2, s. 96-98.

2. Mykotoksyny u sposoby bor'by s nymy, available at: teknofeed.org/2019/06/18/micotoxins.

3. Mykotoksyny, available at: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/mycotoxins>

4. Smyrnov, V. V. Zajchenko, A. M. and Rubezhniak, Y. H. (2000), Mykotoksyny: fundamental'nye y prykladnye aspekty, *Sovremennye problemy toksykolohyy*, № 1, s. 5-12.

Стаття надійшла до редакції 14 травня 2020 року