



Информация относно

Нови методи и стратегии за смекчаване ефектите от микотоксини във фуражи и храни

Микотоксините са широко разпространени замърсители по хранителната верига, които представляват сериозни рискове за здравето на животни и хора. Изменението на климатичните условия има благоприятно въздействие за растежа на плесенните гъби и производството на микотоксини. Поради това, опасенията относно безопасността на храните и фуражите нарастват. Въпреки че са създадени регулаторни рамки за наблюдение и ограничаване на експозицията от микотоксини, ефективното смекчаване на техните ефекти остава предизвикателство. Статия на учени от Хърватия [1] предоставя цялостен преглед на последните постижения относно превенция, откриване и контрол на микотоксини, с особен акцент върху иновативни стратегии като растителни биоактивни вещества, системи, базирани на нанотехнологии, генно-инженерни подходи, технологии, медириани от антитела, и нововъзникващи нетермични методи за обработка.



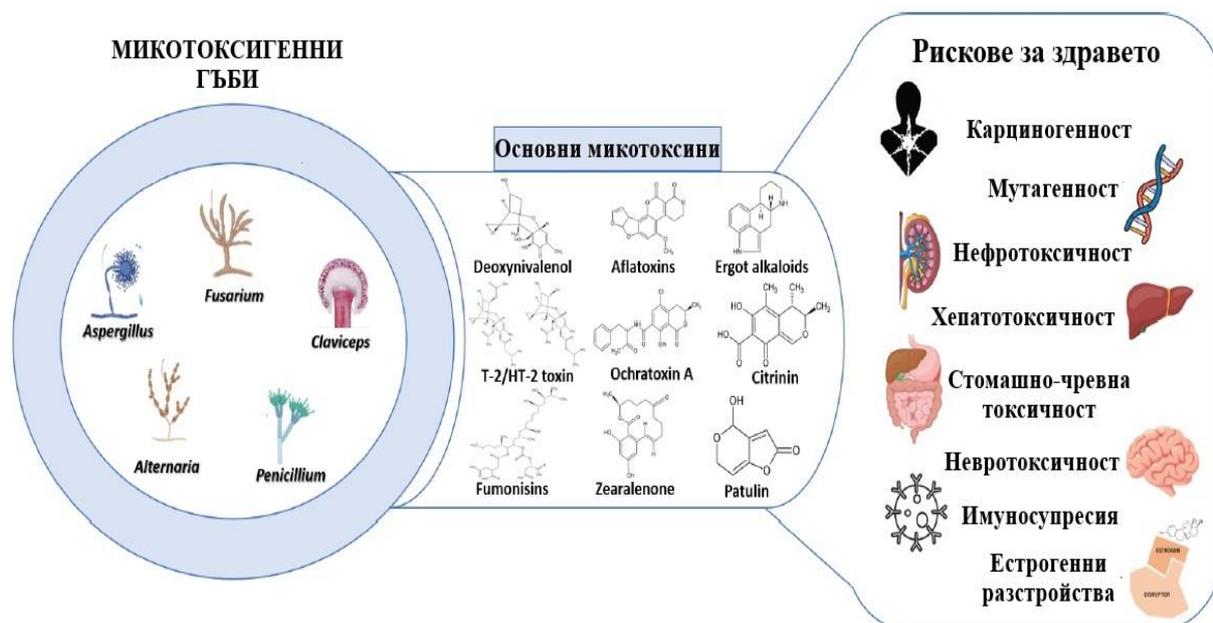
Графичен абстракт, източник [1]

1. Въведение

Осигуряването на безопасност по хранителната верига е поставено пред значителни предизвикателства. Различни фактори, включително технологичният напредък и социално-икономическото развитие, световната търговия, произтичащата от това интензификация на селскостопанското производство и все по-значителното въздействие на глобалното изменение на климата, влияят върху веригата за доставки на храни и фуражи. Вариациите на

температурата на въздуха, количество и честота на валежите, концентрация на въглероден диоксид в атмосферата оказват силно влияние върху видовете и честотата на проява на различни опасности, които замърсяват храните. Климатичните аномалии се отразяват и на видовете и динамиката на вредителите по земеделските култури. Под влияние на факторите на изменението на климата, вредителите и патогените, включително микотоксигенните гъби и техните вторични метаболити, се разпространяват и се наблюдават географски промени в местообитанията на видовете организми. Съществува нарастващо разнообразие във взаимодействията между земеделските култури, патогените и полезните микроорганизми, което води до ускорени промени в съществуващите модели на замърсяване и създаване на нови взаимоотношения между растенията и патогените. Може да възникнат и косвени ефекти върху растенията, вследствие повишената експозиция на стресови фактори като суша, щети от насекоми, промени във фенологията на културите, промени в цъфтежа и времето на зреене на плода.

Микотоксините са вторични метаболити, получени от нишковидни гъби и са широко признати като неизбежни замърсители на храни и фуражи. Тяхното наличие по хранителната верига представлява значителен риск, защото може да доведе до проява на микотоксикози, след прием. Микотоксините проявяват широк спектър от неблагоприятни ефекти върху здравето на хора и животни, включително канцерогенност, мутагенност, репродуктивни разстройства, нефротоксичност, невротоксичност, хепатотоксичност, имunosупресия и стомашно-чревна токсичност, като много от тях показват припокриващи се токсични ефекти (Фигура 1)



Фигура 1. Схематично представяне на токсикологичното въздействие на основните микотоксини

Афлатоксините, (особено афлатоксин В1 (AFB1), класифициран като човешки канцероген от Група 1, се свързват със проява на симптоми на хепатотоксичност, имунотоксичност, мутагенност, канцерогенност и тератогенност. Охратоксин А (ОТА) може да предизвика различни неблагоприятни ефекти, включително нефротоксичност, мутагенност, канцерогенност, имунотоксичност, тератогенност и невротоксичност. Хроничната експозиция на трихотецени (Т-2 и НТ-2 токсини) води до компрометирани имунни функции и увеличена възприемчивост към инфекции. По подобен начин, хроничното излагане на дезоксиниваленол

(DON), известен още като вомитоксин, влошава възпалителната реакция, като засяга стомашно-чревните епителни клетки и имунните механизми. Зеараленонът (ZEN) функционира като ендокринен разрушител, свързва се с естрогенните рецептори, което води до хормонален дисбаланс и репродуктивна дисфункция. Токсичността на фумонизините (FUM, FB1, FB2) е силно зависима от вида токсин, с потенциал да доведе до невротоксичност, хепатотоксичност, нефротоксичност и цитотоксичност при бозайници. Алкалоидите (Ergot alkaloids, EAs) на моравото рогче (*Claviceps purpurea*) притежават невротоксични свойства, често се свързват със стомашно-чревни симптоми и вътрешни кръвоизливи и определено намаляват продуктивността при животните. Излагането на смеси от различни микотоксини е друг токсикологичен проблем поради възможни адитивни и синергични ефекти, които все още не са напълно характеризирани.

Предвид широкото им разпространение, глобалните проучвания за микотоксини показват замърсяване на културите до 60 – 80% в световен мащаб, като микотоксините продуцирани от гъби от род *Fusarium* преобладават в умерения климат. За да се намалят рисковете, свързани с експозицията на микотоксини, регулаторните органи установяват прагови граници за основните микотоксини. В рамките на Европейския съюз (ЕС) максимално допустимите или допустими нива в различни храни и фуражи са определени съответно от Регламент (ЕС) 2023/915¹, Препоръка 2006/576/ЕО² на Комисията и Директива 2002/32/ЕО³. **Въпреки тези регулаторни мерки, пълното предотвратяване на замърсяването с микотоксини остава предизвикателство, особено в контекста на ефектите от изменението на климата, което засилва опасенията относно безопасността на храните и фуражите.** В отговор на това, текущите изследвания и разработването на **цялостни подходи за управление на микотоксините** са от съществено значение по цялата верига за доставка на храни и фуражи. Освен конвенционални подходи, все по-голямо внимание се насочва към иновативни методи. Прегледът на хърватските учени [1] има за цел да представи задълбочен поглед върху методите за предотвратяване на замърсяването, откриване и контрол на микотоксини, с акцент върху последните постижения и ефективни стратегии за повишаване на безопасността по цялата агрохранителна верига.

2. Замърсяване с микотоксини

Замърсяването с микотоксини може да възникне във всеки един момент от производството по веригата за доставки на храни и фуражи (Фигура 2.): на полето, по време на растежа и развитието на земеделските култури и след това, по време на различни манипулации, съхранение и обработка на културите. Най-значимите микотоксигенни гъби принадлежат към родовете *Aspergillus*, *Fusarium*, *Alternaria*, *Penicillium* и *Claviceps*, като всеки от тях проявява специфични предпочитания към околната среда за растеж и развитие. Видовете *Aspergillus* виреят при условия на ниска водна активност⁴ и повишени температури, докато видовете *Fusarium* предпочитат по-висока водна активност и умерени температурни

¹ Регламент (ЕС) 2023/915 на Комисията от 25 април 2023 година относно максимално допустимите количества на някои замърсители в храните и за отмяна на Регламент (ЕО) № 1881/2006, *OB L 119, 5.5.2023 г., стр. 103–157*

² Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on a Community energy-efficiency labelling programme for office equipment (Recast) /* COM/2006/0576 final - COD 2006/0187 */ CELEX номер: 52006PC0576

³ Директива 2002/32/ЕО на Европейския Парламент и на Съвета от 7 май 2002 година относно нежеланите вещества в храните за животни *OB L 140, 30.5.2002 г., стр. 10–22*

⁴

https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82_%D0%BD%D0%B0_%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%B0%D1%82%D0%B0

диапазони. Биосинтезът на микотоксини, наличието им и причиняването на замърсяване са силно повлияни от факторите на околната среда, включително валежите, температурата на въздуха, относителната влажност и характеристиките на субстрата [1].



Фигура 2. Схема на цикъла на замърсяване с микотоксини и влияещите върху него фактори, източник [1]

Важна роля играе физиологичното състояние на гъбите и взаимодействията им с други микроорганизми. Въпреки че оптималните условия за развитие варират между различните видове, много токсигенни гъби растат добре в температурен диапазон от 10 – 40°C, при рН около 8,4 и нива на водна активност над 0,70. Някои видове гъби са способни да произвеждат множество микотоксини, както и някои микотоксини могат да бъдат синтезирани от повече от един род гъби. Поради това, не е необичайно наличие на няколко микотоксина в една замърсена проба. Предвид сложното взаимодействие на екологичните и биологичните фактори, влияещи върху растежа на плесенните гъби и производството на микотоксини, **изясняването на регионалните модели на разпространение на микотоксини е от съществено значение за точната оценка на риска, както и за прилагане на ефективни стратегии за смекчаване на последиците [1].**

2.1. Наличие и откриване на микотоксини

2.1.1. Наличие на микотоксини във фуражи и храни

Климатът на Хърватия⁵, разположена в северната умерена зона, е претърпял значителни промени в температурата и валежите през последните 20 години, твърдят учените [1]. Регистрирани са тенденции към по-топли и по-сухи условия, които влияят върху селскостопанската производителност, човешкото благосъстояние и цели екосистеми, отразявайки по-широки модели в умерената част на Европа. Тази регионална климатична променливост предоставя важен контекст за изясняване на появата на микотоксини при променящи се условия на околната среда. Проучвания за микотоксини, изброени от авторите [1], в Хърватия често откриват микотоксини от вида *Fusarium* като основни замърсители на зърнените култури, с отделни съобщения за доминиране на афлатоксини. **Проучване за**

⁵ В Хърватия доминира средиземноморски климат по крайбрежието с много слънце, горещи лета (26-38°C) и мека зима. Вътрешността има по-континентален климат. Приликите с климата в България са, че и двете страни имат региони със средиземноморско влияние (Черноморието на България, Адриатика на Хърватия), което означава топло лято. Има и вътрешни райони с по-умерени и континентални характеристики, които могат да имат студени зими.

наличието на 11 регулирани от ЕС микотоксина в зърнените култури от сезони 2016 и 2017 разкрива, че DON е най-разпространеният микотоксин, открит в 73% от пробите от 2016 г. и 33% от 2017 г. Царевицата е най-замърсеният вид зърнена култура, като FUM е най-разпространеният микотоксин.

Често се среща съвместна поява на множество микотоксини, особено комбинации от микотоксини от вида *Fusarium*. Анализ на различни проби от зърнени култури (царевица, пшеница, тритикале, овес и ечемик) от реколта 2016/2017, показва, че метаболитите на *Fusarium* замърсяват над 50% от пробите.

Разпространение на AFB1 е силно повлияно от климатичните условия и обикновено се наблюдава при царевица и фуражи на основата на царевица. Проучване за наличието на AFB1 в царевица, през периода 2018 – 2021 г., показва най-високи стойности през 2021 г. (с нива на замърсяване до 40%), които до голяма степен се дължат на горещите и сухи метеорологични условия. За разлика от тези данни, целият период 2018 – 2020 г. показва много по-ниски нива на замърсяване – 20%. Петгодишно мониторингово проучване (2009 – 2013 г.) на AFB1 в зърнени храни и фуражи от хърватски млечни ферми разкрива значително по-високи концентрации на AFB1 в царевица, зърнени смеси и фуражи за млечни крави, събрани през 2013 г., свързани с екстремно топли и сухи метеорологични условия по време на растежа на културите и при прибиране на реколтата през 2012 г. Наблюдавани са и регионални вариации, със значително по-високи нива на AFB1 в проби от Източна Хърватия.

Повишените нива на микотоксини в земеделските култури повишават риска от преминаване на микотоксини към храни от животински произход, включително мляко, млечни продукти и традиционни сушени месни продукти. Анализите в Хърватия показват завишени стойности на AFM1 в мляко след 2012 г., като отговор на повишеното замърсяване на царевица с AFB1. Пикът е достигнат през 2013 г., когато стойностите на AFM1 надвишават праговите граници на ЕС в 28% и 10% от пробите от сурово и УНТ мляко, съответно. През следващите години замърсяването с AFM1 намалява, поради по-благоприятни метеорологични условия и подобро управление на безопасността на фуражите. **Спорадично повишените концентрации се свързват с локална употреба на замърсени фуражи и ясно изразен сезонен модел, с по-високи нива на замърсяване, наблюдавани през есенните и зимните месеци [1].**

Продуктите от месо имат основно значение като източник на хранителни протеини и наличието на микотоксини в тях предизвиква допълнителни опасения за безопасността на храните. Микотоксините (откривани в месо), включват OTA и AB1, като последните проучвания [1] изследват и цитринин (Citrinin, CIT), циклопиазонова киселина (CPA) и стеригматоцистин (STC), биосинтетичен прекурсор на AFB1. Тяхното наличие в месните продукти може да е резултат от няколко фактора: директно замърсяване чрез растеж на гъбички по повърхността на продукта, индиректно замърсяване чрез използването на замърсени подправки и трансфер от замърсен фураж в дажбите на селскостопански животни.

Подробностите, относно преминаване на микотоксини от фураж към хранителни продукти, не са напълно изяснени. Изследванията показват по-висок процент на трансфер на OTA към чернодробна и бъбречна тъкан, както и пренос на AFB1 към свински черен дроб, мускулна и мастна тъкан. Хърватските учени [1] посочват скорошно проучване, което съобщава за потенциален трансфер на CIT от фураж към годни за консумация свински тъкани, макар и с ниски проценти на пренос. Учените посочват резултати от друго проучване, насочено към пет микотоксина (OTA, AFB1, CIT, CPA и STC) в традиционни сушени месни продукти, открива 27% замърсени проби, като най-често докладвани са CPA и OTA.

Резултатите показват значително по-висок процент на замърсяване при трайни сурово сушени колбаси, в сравнение с други сушени месни продукти, което подчертава необходимостта от **бъдещи проучвания на всички пътища на замърсяване и прилагане на превантивни мерки на всички етапи от производството и съхранението на месо.**

2.1.2. Техники за откриване на микотоксини

Съществуват различни методи и техники, използвани за определяне на микотоксини, но анализът им е сложен процес, който изисква подходящи стратегии за вземане на проби, процедури за подготовка на пробите и надеждно откриване и количествено определяне с помощта на подходящи аналитични инструменти [1].

3. Стратегии за смекчаване на ефектите от микотоксините

Европейският съюз следи замърсяването на храни и фуражи, използвайки Системата за бързо предупреждение за фуражи и храни (RASFF), което позволява навременна комуникация между държавите членки относно потенциални опасности. Най-новият доклад на Европейската комисия, анализиращ данни, обменени чрез електронната система iRASFF през 2024 г., **идентифицира микотоксините, по-специално АФТ и ОТА, като едни от най-често докладваните опасности.** Категориите храни и фуражи, най-често свързани със замърсяване с микотоксини, включват ядки и продукти от ядки, плодове и зеленчуци, както и зърнени храни и хлебни изделия. Тези констатации подчертават важноста на прилагането на контролни мерки по цялата верига за производство и доставка на храни и фуражи. Мерките преди прибиране на реколтата се фокусират върху предотвратяване на първоначалното замърсяване на културите на полето с микотоксигенни гъби, като по този начин се минимизира рискът от образуване на микотоксини. След прибиране на реколтата също могат да се приложат различни мерки, за да се намали концентрацията на микотоксини и да се смекчат потенциалните им неблагоприятни ефекти [1].

Мерките преди прибиране на реколтата включват предимно агрономически стратегии като сеитбообращение, правилна обработка на почвата, балансирано торене, използване на подходящ посевен материал и техники за сеитба, селекция и подбор на културите и подготовка на семената – набор от техники, които подготвят растенията за потенциални абиотични и биотични стрес фактори. Мерките след прибиране на реколтата включват различни физични, химични или биологични методи за обеззаразяване на семена, фуражи и храни срещу микотоксини и детоксикация, като последните се считат за по-специализирани, ефективни и екологични [1].

3.1. Физическа обработка

Почистването и сортирането на земеделски култури несъмнено е първата стъпка за справяне с микотоксини. Микотоксините, особено АФТ, са хетерогенно разпределени в рамките на партидата, като най-високи концентрации обикновено присъстват в повредени или обезцветени зърна. Това хетерогенно разпределение подчертава важноста на правилните процедури за вземане на проби. Последните изследвания се насочват към технологии за директно откриване на микотоксини. Сортирането, при което чрез флуоресценция се отделят заразени от незаразени зърна предлага подобрени възможности за анализ. Такава комерсиално достъпна система за сортиране е способна да обработва 15 тона царевича на час, постигайки намаление на АФТ с 85 – 90% във валидационни опити. Използвани са и сортиращи устройства, базирани на лазерно индуцирана флуоресценция, за откриване на АФТ в реално време в царевича [1].

Управлението на замърсяването с микотоксини обхваща критичните условия за съхранение след прибиране на реколтата, особено повишена температура и висока относителна влажност, тъй като те пряко влияят върху растежа на гъбичките и производството на вторични метаболити. Неадекватните практики за съхранение продължават да допринасят за загубите след прибиране на реколтата в много развиващи се региони, като загубите на реколта са 20 – 50%. Доказано е [1], че ефективното съхранение, което включва контролирана температура на въздуха (< 20°C), относителна влажност (< 80%) и правилна вентилация, потиска развитието на гъби и ограничава синтеза на микотоксини.

Хърватските учени [1] посочват, че по време на преработката на зърнени култури, микотоксините често се редуцират, но може и да се концентрират във вторични продукти, често използвани като фураж, в зависимост от приложения метод на преработка. Не всички части на зърното са еднакво податливи на гъбично замърсяване: външните части, като перикарпът⁶ и зародишът, са по-податливи на замърсяване от ендосперма⁷ и следователно обикновено съдържат по-високи концентрации на микотоксини. Например, смилането на зърно преразпределя микотоксините във фракции (трици, фуражно брашно), което подчертава необходимостта от целенасочени стратегии за намаляване на микотоксините на различни етапи от обработката.

Комбинацията от време и температура са сред ключовите фактори в промишлената обработка, които влияят върху концентрацията на микотоксини в крайния продукт. Повечето микотоксини са термично стабилни при конвенционални температурни режими до 100°C, докато по-високите температури, прилагани при пържене, печене, препичане или екструдирание, могат да доведат до намаляване на микотоксините. Например, AFM1 остава устойчив на често използвани термични обработки в млечната промишленост, като пастьоризация и ултрависока температура. От друга страна, печенето на кафе на зърна показва намаление на съдържанието на ОТА с до 97%, като продуктите от термичното разграждане са по-малко токсични от изходното съединение. Подобни ефекти са наблюдавани и при АГТ, с намаления от 50 – 70% при фъстъци и пекани, и от 40 – 80% при царевича, в зависимост от началната концентрация на микотоксини и вида, и температурата на процеса. Температури от 160°C и по-високи, в комбинация с глюкоза, показват най-голямо разграждане на FUM. Екструдирането с глюкоза по-ефективно намалява концентрациите на FB1 в царевичен грис (75 – 85%), отколкото екструдирането само по себе си (10 – 28%), като се наблюдава и намалена токсичност [1].

3.2. Химичен контрол

Хърватските учени [1] разделят химичните агенти, използвани за обеззаразяване на микотоксини, на няколко категории – алкални съединения (амоняк, натриев хидроксид, калциев хидроксид), киселини (оцетна киселина, фосфорна киселина, мравчена киселина, пропионова киселина, сорбинова киселина, натриев хипохлорит), редуциращи агенти (натриев бисулфит, захари), окислителни (озон, водороден пероксид) и хлориращи агенти. Въпреки че химичните обработки могат да бъдат ефективни при обеззаразяване на микотоксини, има определени ограничения по отношение на тяхната безопасност и е възможно влошаване на състоянието на третирания продукт. Към настоящия момент, Регламент (ЕС) 2023/915 забранява химичното детоксикиране на храни за консумация от човека. Ефективността на

⁶ Перикарп е слой, който се развива от стената на яйчника около семето на растението, след като то е оплодено, и образува кожата и месестата част на плода. <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/pericarp>

⁷ Ендосперм – растителна тъкан в семето на голосеменните и на повечето покритосеменни растения, която съдържа хранителни вещества, използвани от зародиша при покълването му.

химичните методи варира както по отношение на микотоксина, така и по отношение на вида на матрицата. Например, методът с амоняк е доказал своята ефективност при обеззаразяване на AFB1 във фуражи и храни. Калциевият хидроксид има потенциал за деконтаминиране на Т-2 и диацетоксицирпенол във фуражи. Третирането на зърнени култури и фуражи с натриев бисулфит и метабисулфит доказано намалява замърсяването с DON и води до образуване на по-малко токсичен DON сулфонат. Царевица, третирана с 10% водороден пероксид при 80°C за 16 часа, показва 84% намаление на съдържанието на ZEN.

Като по-безопасен вариант за контрол на микотоксините сред химичните методи, учените [1] привличат вниманието върху **естествените алтернативи като хитозан или озонови обработки**. Естественият полизахарид хитозан има определени антимикробни характеристики и е изследван за контрол на видовете *Fusarium* (*F. proliferatum*, *F. verticillioides* и *F. graminearum*) в царевица и пшеница. Доказано е, че нискомолекулен хитозан е в състояние да намали производството на DON и FUM при най-ниската приложена доза от 0,5 mg/kg. Проучват се кафяви морски водорасли *Ascophyllum nodosum* в комбинация с хитозан за третиране при брашнеста мана, причинена от *Fusarium graminearum* и резултатите показват намаляване на замърсяването с DON в пшенични зърна. За стерилизация и контрол на микотоксини се е утвърдил озонът като мощно, безостатъчно третиране често прилагано при съхранение на храни. Озонирането води до значително намаляване на общия брой (CFU/g) на бактерии, гъбички и дрожди в пшенични зърна.

3.3. Биологичен контрол

Учените [1] разглеждат биологичната детоксикация като по-екологична и удобна алтернатива на физичните и химичните подходи. Тя обхваща методи за детоксикация на микотоксини с помощта на биологични агенти, микроорганизми и техните ензими чрез процеси на биосорбция и биоразграждане. Установено е, че млечнокиселите бактерии, често използвани в производството на ферментирани храни, се свързват с АФТ (AFB1 и AFM1). По време на процесите на производство на хляб, *Lactobacillus rhamnosus* се свързва в значителна степен с AFB1 от пшенично брашно. Различни пробиотични препарати, съдържащи бактерии и дрожди намаляват количествата AFB1 по време на ферментация на фуражни смеси. Освен свързването с микотоксини, някои микроорганизми (бактерии, гъбички и дрожди), също имат способността да детоксифицират микотоксините в по-малко токсични продукти чрез процеси на ацетилиране, гликозилиране, хидролиза, деаминиране или декарбоксилиране.

Различни свързващи микотоксини вещества се прилагат за намаляване бионаличността на токсините във фуражи. Това са неорганични материали като бентонит, зеолит и активен въглен, както и растителни влакна. Те ограничават адсорбцията на токсини в стомашно-чревния тракт и насърчават тяхното отделяне [1].

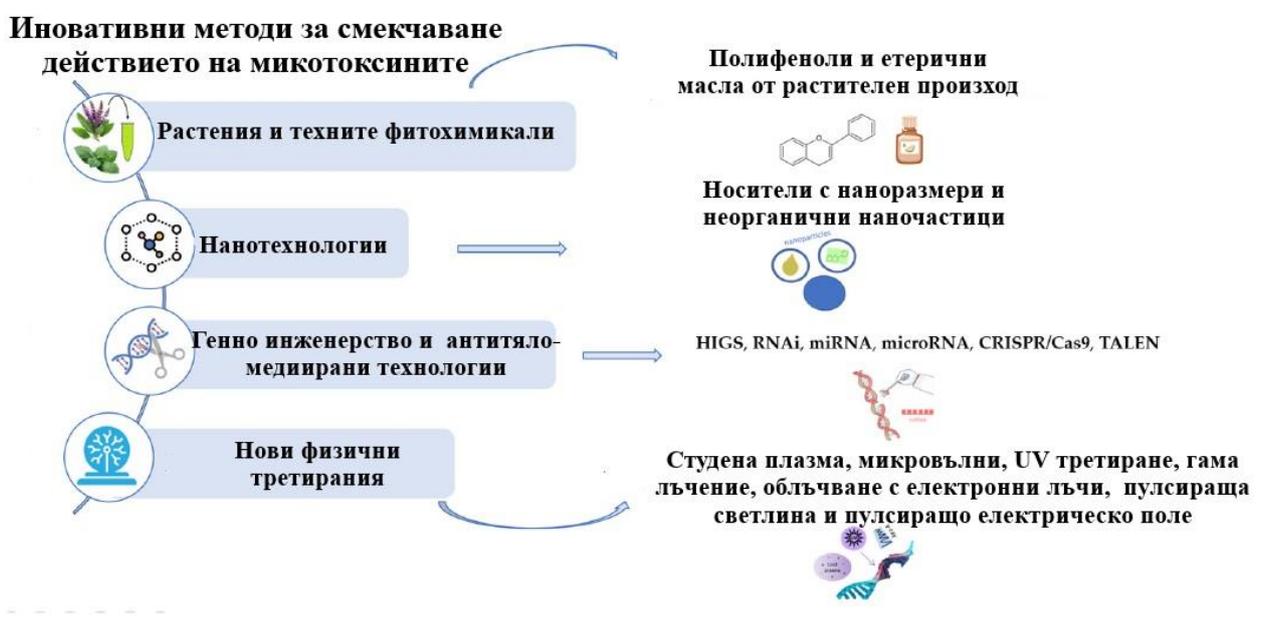
Доказано е [1], че ензими, като оксидаза, пероксидаза, лактаза, редуктаза, естераза, карбоксилестераза трансминаза или лактоза хидролаза, са способни да разграждат микотоксините както *in vivo*, така и *in vitro*. Приложението на ензими се счита за безопасно и лесно, осигуряващо хомогенност и възпроизводимост, в сравнение с приложението на микроорганизми.

Хърватските учени [1] считат, че въпреки широката гама от физични, химични и биологични методи, достъпни за намаляване на микотоксините, ефективното неутрализиране на тези съединения остава значително предизвикателство. Високата стабилност на много микотоксини, техните многообразни реакции в различни хранителни и фуражни матрици и опасенията относно токсичността на продуктите от тяхното разграждане, усложняват

усилията за постигане на пълна безопасност. Тези фактори подчертават **продължаващата необходимост от непрекъснати изследвания на иновативни стратегии, проправящи пътя за по-ефективен и устойчив контрол на микотоксините.**

3.4. Иновативни подходи за смекчаване на микотоксините

В допълнение към конвенционалните методи за контрол на микотоксини, учените [1] разглеждат разнообразие от иновативни подходи, които привличат все по-голямо внимание, поради потенциала им за ефективно намаляване на замърсяването с микотоксини, без токсични остатъци или компрометирано качество на крайните продукти. Тези нови и обещаващи стратегии, които все още са в процес на разработка, включват използването на фитохимикали, нанотехнологии, генно инженерство и антитяло-медирирани технологии, както и нововъзникващи нетермични обработки (Фигура 3)



Фигура 3. Схематичен преглед на настоящите иновативни методи за намаляване на микотоксините, източник [1].

3.4.1. Растителни продукти и техните фитохимикали

Растенията са отличен източник на специализирани метаболити (фитохимикали), които допринасят за защита срещу различни стресови фактори от околната среда. Това са полифенолни съединения като флавоноиди и фенолни киселини, терпеноиди, фитостероли, алкалоиди и етерични масла. Полифенолите имат разнообразни биологични активности, включително антивирусни, антимикробни, антиоксидантни и противовъзпалителни ефекти, поради което може да участват в процеса на контролиране на микотоксините по хранителната верига. Многобройни проучвания [1] изследват приложението на специфични растителни екстракти и полифенолни съединения, демонстрирайки тяхната ефикасност за намаляване на растежа на гъбите и синтеза на микотоксини. Водни екстракти от брашнест градински чай (*Salvia farinacea*) и нийм (*Azadirachta indica*), заедно с полифенолни съединения, потискат развитието на няколко вида *Aspergillus* върху различни месни продукти и по този начин значително се намалява образуването на АФТ и ОТА. Етеричното масло от куркума (*Curcuma longa* L.) показва силна противогъбична активност срещу *A. flavus* в царевича. Въпреки

обещаващия си потенциал за смекчаване на микотоксините, прилагането на натурални етерични масла се свързва с няколко предизвикателства – променлива ефикасност, сензорно въздействие, регулаторни пропуски, опасения за безопасността и практически ограничения. Нови открития показват, че капсулирането значително подобрява действието на някои етерични масла. Например, етеричното масло от майорана (*Origanum majorana* L.), капсулирано в хитозанова наноемулсия, се съобщава като нов консервант за съхранявани храни, ефективно потискащ растежа на гъби, производството на AFB1 и липидната пероксидация, без да променя сензорните свойства на храните и същевременно има благоприятен профил на безопасност. Въпреки това, **по-широкото практическо приложение на фитохимикали по хранителната верига остава ограничено, поради ниската им химическа стабилност, ограничена бионаличност, както и липсата на стандартизирани протоколи за тяхното формулиране и употреба.**

3.4.2. Нанотехнологии

Според авторите [1], обещаващ подход в контрола на микотоксините, базиран на нанотехнологии, включва разработването на нано-системи за доставяне и целенасочено приложение на естествени антимикотоксигенни агенти. Нанофунгицидните формулировки обикновено капсулират етерични масла и биоактивни съединения, получени от растения, включително флавоноиди, алкалоиди и други фитохимикали, в наноразмерни носители, за да се подобри тяхната стабилност, разтворимост и контролирано освобождаване, като в крайна сметка се повиши ефикасността им срещу микотоксигенни гъби и други патогени. Полимерни нанофунгициди са предложени за употреба в селското стопанство с двойна функция. Прилагането на наночастици от хитозан, натоварени с ресвератрол⁸, постига двоен ефект: противогъбичната активност на ресвератрола намалява гъбичната пролиферация и последващия синтез на микотоксини, докато хитозанът допринася за обеззаразяването на микотоксини чрез високия си адсорбционен капацитет.

Последните проучвания разглеждат използването на неорганични наночастици като активни агенти с директни противогъбични и антимикотоксигенни свойства. Механизмите им на действие за смекчаване на рисковете, свързани с микотоксините, са свързани със способността им да модулират оксидативния стрес, да предизвикват възпалителни реакции или да взаимодействат с нуклеинови киселини, като по този начин допринасят за унищожаване на микроорганизми както в растения, така и при животни.

Приложението на нанотехнологиите в микотоксикологията е все още в начална фаза. Съществува известна степен на несигурност относно ефективността на нанотехнологии за елиминиране на микотоксини от селскостопански продукти. На лице са и някои съществени пропуски в знанията относно противогъбичните механизми на действие на наноматериалите. Проблем представлява определянето на точната доза наночастици при противогъбични приложения поради потенциалните токсикологични и екотоксикологични въздействия. Необходимо е и подробна оценка на безопасността на наночастиците, повече проучвания, които да установят последиците от въздействието им и да обхванат всички техни фармакологични свойства и токсикологични аспекти.

⁸ Ресвератролът е мощен природен антиоксидант (полифенол), открит в червеното грозде, боровинките, фъстъците и други растения, които предпазва клетките от увреждане и се свързва с дълголетието, сърдечно-съдовото здраве и борбата със стареенето, като действа срещу свободните радикали и възпаленията.

3.4.3. Генно инженерство и антитяло-медирана технология

В съвременното се разработват множество биотехнологични подходи, които чрез усъвършенстваните методи на генното инженерство се опитват да създадат генномодифицирани растения, устойчиви на болести, в това число и на микотоксини. Стремелът на учените е замърсяването с микотоксини както преди, така и след прибиране на реколтата да бъде значително намалено. Една такава техника е напр. генното заглушаване, индуцирано от гостоприемника (HIGS). Това е усъвършенствана стратегия за защита на културите, базирана на РНК интерференция (RNAi), която използва генетично модифицирани растения, които произвеждат двуверижна РНК (dsRNA). Тази dsRNA е насочена да заглушава специфични гени на атакуващите вредители или патогени (гъбички, вируси, насекоми), като ефективно потиска растежа и патогенността им. Стратегията HIGS позволява на растението гостоприемник да заглуши гъбичните гени, без да експресира чужди протеини.

По подобен начин, подходът RNAi демонстрира успех в заглушаването на гъбични гени, необходими за биосинтеза на микотоксини. Например, трансгенни растения фъстъци с RNAi, насочена към пет гъбични гена за биосинтез на AFT, показват 100% намаление на AFB1 и AFB2 при инфекция с афлатоксигенен *Aspergillus flavus*. По същия начин, заглушаването на 2 гена – Vc-Dcl1 и Vc-Dcl2 на *Botrytis cinerea* значително намалява гъбичната му вирулентност, подчертавайки потенциала за изграждане на широкоспектърна резистентност в културите.

Множество други трансгенни техники и техники за генно редактиране се разработват за повишаване на резистентността на различни култури към гъби, произвеждащи микотоксини.

Изследвана е ролята на микроРНК в резистентността към болести по растенията. Доказано е, че свръхекспресията на гена *Osa-miR7696* в трансгенни оризови растения повишава резистентността срещу *Magnaporthe oryzae*. Освен това, свръхекспресията на противогъбичния ген на ечемика HvNEP-1 намалява тежестта и прогресирането на болестта брашнеста мана след инокулация с *Fusarium graminearum* и *F. culmorum*, а също намалява и натрупването на DON в зърното.

Инструменти за редактиране на геноми като TALEN и CRISPR/Cas9 допълнително позволяват прецизна модификация на растителните геноми за подобряване на характеристиките на резистентност. Сред тях, CRISPR/Cas9 е особено предпочитан при подобряване на културите поради високата специфичност, ефективност и икономическа ефикасност. Освен това, генетично модифицираната царевица, експресираща антиинсектицидния ген *cry1A(b)* от *Bacillus thuringiensis*, показва намалено замърсяване с микотоксини на *Fusarium*, предимно FUM.

Нов допълващ подход в генното инженерство е антитяло-медираната технология. Генетичното инженерство на антитела извършва манипулиране на ДНК, кодираща антитела, за създаване на рекомбинантни молекули с подобрена специфичност, стабилност и терапевтична функционалност. Различни техники позволяват производството на персонализирани, високоафинитетни антитела в клетки на бозайници, бактерии или дрожди. Този подход може да се използва за повишаване на резистентността на култури към гъби, произвеждащи микотоксини, чрез използване на рекомбинантни антитела⁹, проявяващи висока специфичност към гъбични антигени. Тази технология е изследвана за контрол на заболявания, свързани с *Fusarium*, и замърсяване с микотоксини в зърнени култури. Например, синтезира се рекомбинантно антитяло специфично за *Fusarium*, като се използват пилешки

⁹ Рекомбинантните антитела са изкуствено създадени протеини, произведени чрез генно инженерство, а не чрез имунни животни.

мускулни клетки и противогъбичен пептид от *Aspergillus giganteus*. Тези рекомбинантни антитела се прилагат в пшеница, вследствие на което се постига ефективна защита срещу *Fusarium*.

Освен това, система от антитяло и магнитни наночастици е изследвана като ефективен инструмент за пречистване за отстраняване на AFB1 и ZEN от замърсени фуражни проби, предлагайки обещаваща алтернатива на конвенционалните методи за пречистване.

Въпреки тези постижения, приемането на генетично модифицирани култури остава спорно, особено в рамките на ЕС, поради регулаторни ограничения и продължаваща обществена загриженост [1].

Много от тези методи на генното инженерство, които не използват трансгени при създаването на модифицирания организъм, т.н. нови геномни техники, много скоро може да предложат различни разработки на европейския пазар, тъй като Съветът на ЕС и Парламентът през декември 2025 г. се споразумяха по Регламент на Европейския парламент и на Съвета относно растенията, получени чрез някои нови геномни техники, и храните и фуражите, произведени от тях. Предстои предварителното споразумение да бъде одобрено от Съвета и Парламента, след което то може да бъде окончателно прието.¹⁰

3.4.4. Нови физични обработки

Студената плазма¹¹ е все по-разпознаваема като обещаващ нетермичен физичен метод за повишаване на безопасността на храните и фуражите, благодарение на способността ѝ да постига деконтаминиране, без да предизвиква значителни промени в качеството на продукта или да води до огромни разходи. Обикновено се генерира чрез прилагане на електрически ток през неутрален газ, което води до дисоциация на газообразни молекули и образуване на силно реактивни кислородни и азотни видове. Тези реактивни видове са отговорни за деконтаминацията чрез взаимодействие с микробните клетки и микотоксините, като по този начин нарушават тяхната структура и функционалност. Ефективността на обработката със студена плазма зависи от молекулярната структура на целевия микотоксин, както и от параметрите на обработка [1].

Въпреки че настоящите данни [1] показват, че студената атмосферна плазма има минимално въздействие върху състава на храната, са необходими допълнителни изследвания, за да се характеризират напълно продуктите от разграждане на микотоксини, да се оцени техният ефект върху качеството на храната и да се оптимизират протоколите за приложение на различни хранителни и фуражни матрици.

В последно време се изследва потенциала на **микровълновата и UV обработка** за намаляване на микотоксини, тъй като те предлагат няколко предимства, включително ниски разходи, лесно внедряване и екологичност. Много хранителни индустрии вече използват тези технологии за други цели, което прави адаптирането им за контрол на микотоксините практически и обещаващо. Установено е, че фактори като време и мощност на обработката, хомогенност на пробите, значително влияят върху ефективността на намаляването на микотоксините [1].

Други видове облъчване също демонстрират потенциал за контролиране както на гъби, така и на микотоксини в различни хранителни и фуражни матрици – **гама-лъчите**.

¹⁰ <https://www.consilium.europa.eu/bg/press/press-releases/2025/12/04/new-genomic-techniques-council-and-parliament-strike-deal-to-boost-the-competitiveness-and-sustainability-of-our-food-systems/>

¹¹ Плазмата се определя като частично или напълно йонизиран газ, състоящ се от смес от заредени частици, свободни радикали, електрони и неутрални частици.

Ефективността на гама-облъчването зависи от фактори като вида на матрицата, гъбния щам и съединението, дозата на облъчване и съдържанието на влага. Гама-облъчването има своите ограничения. Високите дози могат да повлияят негативно на качеството на храната и може да компрометира нейната годност за консумация. Прилагането на система за управление на качеството и строг контрол на радиационната доза са от съществено значение по време на обработката на храната, тъй като гама-лъчите са силно радиоактивни, което определено представлява риск [1].

Облъчването с **електронен лъч**, произведено от електронен ускорител с определена енергия и интензитет, има механизми на действие, сравними с гама-облъчването.

Импулсната светлина е призната като ефективна техника, както за инактивиране на микроорганизми, така и за разграждане на микотоксини, използвайки комбинация от фототермични, фотохимични и фотофизични ефекти. Въпреки че показва значителни предимства, импулсното светлинно облъчване има определени ограничения по отношение на ефективността, особено когато се използва върху тъмни течности или неравни повърхности. Освен това, липсата на ясни разпоредби относно оптималния диапазон на потока представлява предизвикателство за по-широкото му приложение в хранително-вкусовата промишленост [1].

Импулсното електрическо поле е нов вид нетермична технология, която използва кратки импулси (от нано- до милисекунди) с различна сила на електрическото поле (0,1 – 80 kV/cm) за третиране на храна. Целта е унищожаване на микроорганизми, намаляване нивата на микотоксини и удължаване срока на годност. Освен положителни ефекти, технологията на импулсно електрическо поле поставя няколко предизвикателства, свързани с пълното инактивиране на патогени при по-ниски интензитети и високи разходи за оборудване и експлоатация. Поради това, са необходими допълнителни изследвания, за да се даде възможност за пълното ѝ индустриално приложение [1].

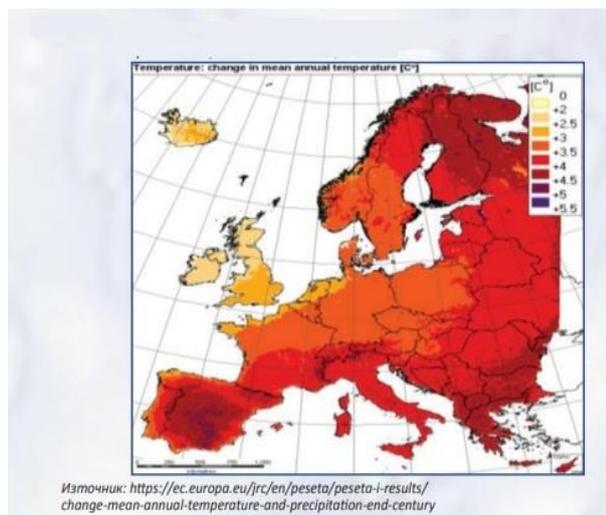
Според учените [1], последните постижения в технологиите за намаляване на микотоксини показват обещаващ потенциал чрез използване на разнообразни и иновативни механизми. Въпреки това, по-нататъшни изследвания, валидиране и оптимизация ще бъдат ключови за бъдещото им внедряване.

4. Заключение

Повсеместното разпространение на микотоксини подчертава факта, че те са постоянно предизвикателство за безопасността по хранителната верига в световен мащаб. Като се има предвид, че тяхната токсичност, последиците за здравето и икономическото им въздействие са добре документирани, необходимостта от ефективни стратегии за смекчаване на ефектите от микотоксините е критична и неотложна. Въпреки че конвенционалните методи за контрол предлагат частични решения, те често са съпроводени с ограничения, свързани с ефикасността, безопасността и въздействието върху качеството на продуктите. През последните години някои иновативни подходи привличат все по-голямо внимание поради потенциала им за ефективно предотвратяване и намаляване на замърсяването с микотоксини, без да оставят токсични остатъци и с минимално неблагоприятно въздействие върху хранителните и сензорните свойства. Въпреки че са обещаващи, за да се реализират напълно ползите от тези методи, са необходими допълнителни проучвания, както и нови регулаторни рамки и сътрудничество между заинтересованите страни, за да се гарантира безопасността на храните и фуражите за потребителите по целия свят [1].

5. Значение за България

Българско проучване [2] от 2019 г. прогнозира повишаване на средногодишната температура с 4 – 5°C в Южна и Югоизточна Европа (Португалия, Испания, Южна Франция, Италия, Словения, Гърция, Малта, Кипър, **България** и Южна Румъния), както и намаляване наличието на вода, особено през лятото (Фигура 4). Това ще доведе до: намаляване на селскостопанските добиви с 10 – 30% в много региони, суша, горещи вълни, деградация на почвата и екосистемата, условия, подобни на пустинни. Сушата и високите температури ще увеличат нивата на афлатоксините в културите.



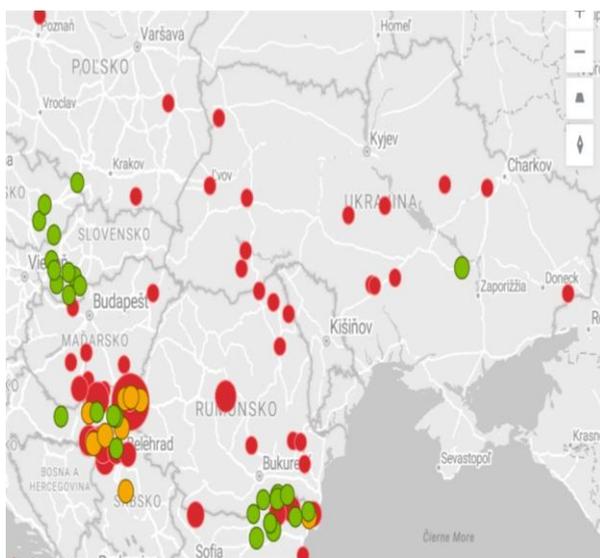
Фигура 4. Изменение на средногодишната температура в Европа до края на настоящия век. Източник: [2]

С промените в климата се очаква да нарасне количеството на микотоксините в селскостопанските култури и в други хранителни продукти. Субтропическите региони ще станат тропически, със съответните промени в профила на микотоксините. Учените [2] твърдят, че през следващите години, в резултат на глобалното затопляне, микроскопичните гъбички с по-висок температурен оптимум за растеж и образуване на микотоксини (род *Aspergillus*) ще доминират в региони, които понастоящем имат по-хладен климат, или ще бъдат по-слабо представени в региони с горещ климат, тъй като температурите стават твърде високи и надвишават техния температурен оптимум. От друга страна, новите горещи и сухи условия в

някои региони ще доведат до по-добри условия на съхранение, тъй като ще поддържат реколтите сухи и с това ще ги предпазват от гъбния растеж и образуването на микотоксини [2].

Български учени [3] правят анализ на замърсяването с афлатоксини и фумонизини на някои суровини за фуражи в България. Сред изследваните проби от царевича, 20% са замърсени с афлатоксини в диапазона 2,73 – 5,74 µg kg⁻¹, при 20% от пробите от слънчоглед замърсяването е в диапазона 8,23 – 14,49 µg kg⁻¹, а замърсяването с афлатоксини на пробите от боб е 40% с концентрация 3 – 15,99 µg kg⁻¹. Замърсяване с фумонизини е регистрирано в 60% от пробите от царевича, в диапазон 1,06 – 4,67 mg kg⁻¹, в половината от изследваните проби слънчоглед стойностите са в диапазон 1,06 – 2,07 mg kg⁻¹, а в пробите боб не се открива замърсяване. Резултатите от това проучване показват, че в изследваните суровини за фураж царевича и слънчоглед има наличие и на двата микотоксина, докато в пробите боб няма фумонизини. Замърсените проби са с произход главно от Северозападен и Североизточен регион, както и от Югозападен и Южен централен регион. **Установените стойности не са високи, но резултатите потвърждават необходимостта от постоянен контрол на фуражните суровини за предпазване от замърсяване с микотоксини. и по този начин да намалят риска от микотоксикози [3].**

По предварителни данни, анализът на Alltech¹² на реколтата за 2025 г. [4] вече разкрива тревожна картина по отношение на глобалните фуражни съставки, като ранните резултати показват **повишена заплаха от микотоксини в няколко ключови региона**. Данните от анализа на микотоксините от Европа, Северна Америка и Канада показват нарастващо разпространение на множество групи микотоксини, обусловено от нестабилното време, стресови фактори с ефект върху реколтата и регионален натиск от болести. **В над 400 анализирани европейски проби**, се наблюдават **умерени до високи нива на риск** от микотоксини в царевично зърно (Фигура 5.), пшеница, ечемик и фуражи.



Фигура 5. Нива на афлатоксин В1 в Европа, в анализирани проби от царевично зърно за 2025 г. Регулаторната граница на ЕС е 20 ppb, а установената средна стойност е над 17 ppb.

Над 45% от пробите от царевично зърно са дали положителни резултати за афлатоксин В1, със средно 23 ppb, като някои проби – включително една от Румъния – **достигат до 733 ppb, което е значително над границите за безопасност на фуражите в ЕС**. Пробите от пшеница и ечемик продължават да показват широко разпространено мултимикотоксиново замърсяване, със **средно близо шест микотоксина на проба, доминирани от фумонизини и трихотецени тип В**. Пробите от фуражи показват замърсяване в 88% от случаите, като микотоксините *Penicillium* се очертават като **значителен риск за производителите на млечни продукти**. В сравнение с 2024 г., европейският набор от данни показва **значително увеличение на общото разнообразие и честота на поява на микотоксини**. Миналогодишният доклад регистрира широко разпространено замърсяване с трихотецени тип В в проби от ечемик, като този

модел се засилва през 2025 г., като **натискът от афлатоксини се завръща силно в Южна и Източна Европа** [4].

Въпреки че регионалните профили варират, общата тенденция показва, че **натискът на микотоксините се засилва в световен мащаб**. Картината от предварителните данни за 2025 г. е ясна:

- **Микотоксините, получени от Fusarium, особено DON, ZEA и T2-HT2, остават доминиращи на всички континенти.**
- **Като основна заплаха се очертава активизиране на афлатоксините в Южна Европа.**
- **Екстремните метеорологични условия, от валежи и влажност до огнища на заболявания в края на сезона, са основен двигател на разпространението на токсини в царевичата, зърнените култури и фуражите.**

¹² Alltech е световен лидер в областта на храненето на животните, растителната наука и решенията за устойчиво земеделие. <https://www.alltech.com/en>

Производителите във всички региони се насърчават да засилят стратегиите за тестване и управление през 2026 г. Очаква се пълният доклад за анализа на реколтата за 2025 г. да бъде публикуван скоро, в който експерти ще анализират пълния глобален набор от данни и ще предоставят препоръки за управление [3].

С цел реална превенция от наличие на микотоксини във фуражи и храни е необходимо да се използват модели, които могат да прогнозираят влиянието на климатичните промени върху замърсяването на реколтите с микотоксини в България. Мониторинговите програми в региони, в които се очаква високо контаминиране на реколтата с микотоксини, трябва да включват по-продължителни периоди и да са базирани на добре планирани стратегии за вземане на проби и ясни аналитични методи. Това предполага насочване на средства и ресурси към регионите с по-висок риск. Прогнозните модели могат да се използват от фермерите за взимане на правилни решения, като избор на култура или използване на фунгициди. Резултатите от прилагането на такива модели ще подпомогнат риск мениджърите в публичния и частния сектор при планирането на приоритети в селското стопанство и изследователските нужди. Бъдещите научните изследвания трябва да се насочат към хармонизиране на процедурите за мониторинг на микотоксини, оценка на данни за географското разпространение на микотоксините, разработване на модели и оценка на влиянието на факторите от околната среда върху тези съединения.

Източници:

[1] Kovač Tomas, M.; Jurčević Šangut, I. New Insights into Mycotoxin Contamination, Detection, and Mitigation in Food and Feed Systems. *Toxins* 2025, 17, 515. <https://doi.org/10.3390/toxins17100515>

[2] Доц. Д-р Тери Врабчева, д.м., Климатичните промени в Европа и разпространението на микотоксините, издава НЦОЗА, 2019, https://ncpha.government.bg/uploads/pages/3001/KLIMATTOKSINI-TV_SAIT.pdf

[3] Sertova, N. (2020). Contamination with Aflatoxins and Fumonisin of some raw feed materials in Bulgaria. *Zhivotnovadni Nauki*, 57(5), 52-57 (Bg). <https://agriacad.eu/ojs/index.php/bjah/article/view/196/192>

[4] Alltech 2025 European Harvest Analysis, Evie Johns, November 18, 2025, Producers in all regions are encouraged to intensify testing and management strategies through the remainder of the season and into 2026.



Други информации в областта на замърсители по хранителната верига, остатъци от ветеринарни лекарствени продукти, здраве на животните и хуманно отношение към тях, фуражи и фуражни добавки могат да бъдат намерени на интернет страницата на ЦОФХВ: – <https://corhv.government.bg/>.

Изготвил:

д-р Виктория Монева, главен експерт, дирекция ОРХВ, ЦОФХВ, дата: 02.02.2026 г.