

# Kell-e kutatnunk a mikotoxinokat? Az NKFIH 2018-1.2.1-NKP- 2018-00002 számú konzorciumi, multidiszciplináris aflatoxin-projekt tapasztalatai és eredményei

Pócsi István<sup>®</sup>

Debreceni Egyetem, Természettudományi és Technológiai Kar, Biotechnológiai Intézet,  
Molekuláris Biotechnológiai és Mikrobiológiai Tanszék, Debrecen, Magyarország  
E-mail: pocsi.istvan@science.unideb.hu, ipocsi@gmail.com

Beérkezett: 2025. április 28.; elfogadva: 2025. május 19.

## Összefoglalás

Bár az elmúlt évtizedek intenzív és eredményes kutatásai révén igen sokat tudunk a mikotoxinokat termelő penészgombák és az általuk termelt toxikus szekunder metabolitok előfordulásáról és veszélyességéről, az utóbbi években a szakemberek, a döntéshozók és a közvélemény részéről egyaránt fokozódott az igény, hogy meg tudjunk felelni az éghajlatváltozás által támasztott jelenlegi kihívásoknak ezen a kritikusan fontos területen. Ezzel összefüggésben Németh Tamás akadémikus, továbbá Győri Zoltán és Ambrus Árpád professzorok kezdeményezésének köszönhetően jelentős előrelépést tettünk a korszerű kísérleti megközelítések és módszerek bevezetése terén a széles spektrumú, többszintű és magas színvonalú mikotoxin-kutatásokban. Ennek a projektnek a sikere minden részt vevő kutató számára megkönnyíti a csatlakozást a nemzetközi közösség azon erőfeszítéseihöz, hogy hatékonyan tudják kezelni a mikotoxin problémakört.

**Kulcsszavak:** aflatoxinok, nyers tej, élelmiszerlánc, takarmányok, betakarítás előtti modellezés

## Should we conduct mycotoxin research? Experiences and results of the NKFIH 2018-1.2.1-NKP-2018-00002 consortial, multidisciplinary aflatoxin project

István Pócsi

University of Debrecen, Faculty of Science and Technology, Institute of Biotechnology,  
Department of Molecular Biotechnology and Microbiology, Debrecen, Hungary

## Summary

Although, owing to the intensive and successful research over the past decades, we know a lot about mycotoxin-producing molds as well as the occurrence and danger of the toxic secondary metabolites produced by them there is an increasing demand from experts, decision-makers and the public in recent years to meet the current challenges posed by climate change in this critically important area. In this context, owing to the initiative of Academician Tamás Németh and Professors Zoltán Győri and Árpád Ambrus at the University of Debrecen, we have reached significant progress in introducing modern experimental approaches and methods in broad-spectrum, multi-level and high-quality mycotoxin research. Furthermore, the success of this joint, consortial project will facilitate the integration of all participating researchers into the efforts of the international community to effectively address the mycotoxin problem worldwide. And I believe this is the greatest, long-term success of the project.

The main activities and results can be grouped as follows: (i) Measuring current AFM1 exposure of the Hungarian consumers. (ii) Monitoring the health of humans and farm animals during aflatoxin exposure (literature-based approach and recommendations). (iii) AFB1 determination in fermented forage. (iv) Mapping the microbial community of fermented and non-fermented feedstuff. (v) Control of aflatoxins in the feed and food chain. (vi) Pre-harvest modelling and mitigation of aflatoxins in maize. (vii) Characterization of *Aspergillus flavus* isolates from Hungary. (viii) Setting up a genetic modification platform for *Aspergillus flavus*. (ix) Editing the Frontiers in Microbiology Research Topics titled *Aspergillus*-derived mycotoxins in the feed and food chain I and II.

Summing it up, further mycotoxin research is absolutely necessary, and through the newly established mycotoxin research platform, our goal is not only to continuously monitor the mycotoxin situation in Hungary, but also to develop more efficient analytical and mycotoxin control technologies based on our new basic and applied research results.

**Keywords:** aflatoxins, raw milk, food chain, forages, preharvest modelling

## Bevezetés

A mikotoxin-kutatás iránti érdeklődésemet a Reuters több, mint egy évtizeddel ezelőtti váratlan sajtóközleménye keltette fel, amely szerint a 2012-es termés egy része aflatoxinokkal szennyezett volt, és a Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hatóság minden szükséges lépést megtett annak érdekében, hogy ezek a mikotoxinok ne kerüljenek fogyasztásra szánt tejtermékekbe.<sup>1</sup> 2012 nyara forró és száraz volt. A kialakuló aszály elősegítette az aflatoxint termelő gombák elterjedését a haszonnövényeken, és például Szerbiában rendkívül nagy gazdasági veszteségeket okozott. Bár nagyon megnyugtató, hogy jelenleg a fő kukoricatermelő európai országok – köztük Románia, Franciaország, Magyarország és Északkelet-Olaszország – a kis aflatoxin-előfordulási valószínűségű zónában vannak, még egy viszonylag alacsony, +2 °C-os melegedés is a közepes valószínűségű zónába helyezheti át az egész régiót (Battilani et al. 2016). +5 °C-os klímaváltozási forgatókönyv esetén pedig még nagyobb európai terület lenne kitéve az aflatoxinoknak (Battilani et al. 2016). Az *Aspergillus* nemzetségbe tartozó aflatoxinogén penészgombák Európában szüntelenül terjednek észak felé, így akár új egészségügyi kockázatot is jelenthetnek több európai ország, köztük a mérsékelt éghajlati övezetben elhelyezkedő Magyarország lakosságára (Battilani et al. 2016; Loi et al. 2023).

Az aflatoxinok káros furanokumarinok, amelyeket egyes *Aspergillus* fajok, köztük az *A. flavus*, *A. parasiticus*, *A. nomius* és az *A. pseudotamarii* termelnek (Ráduly et al. 2020). Bár még nem tudjuk megfelelően megmagyarázni az *Aspergillus*ok aflatoxin-termelésének ökológiai okait és jelentőségét, de hatásuk a gazdanövényekre, valamint a talaj mikro- és makrobiotáira kiemelkedő fontosságú (Pfliegler et al. 2020). A környezeti tényezők közül a vízakaktivitás, a hőmérséklet és a különböző oxidatívstressz-állapotok egyértelműen befolyásolják ezeknek a penészgombáknak a szaporodását és mikotoxin-termelését (Pfliegler et al. 2020; Loi et al. 2023).

Az aflatoxinokat az IARC (Nemzetközi Rákkutatási Ügynökség) az 1. csoportba tartozó rákkeltő anyagok közé sorolja. Nagyon stabil, meglehetősen nehezen lebontható kémiai szerkezettel jellemezhetők (Ráduly et al. 2020; Loi et al. 2023). Az akut aflatoxikózis akár halált is okozhat az emberekben, míg a krónikus expozíciók májrákhoz, immunszuppresszióhoz és a gyermekek esetében fejlődési problémákhoz vezethetnek (Ráduly et al. 2020). Fontos, hogy az aflatoxinok és származékaik akár a magzatok méhen belüli fejlődését is befolyásolhatják, és a fiatal korcsoportok jellemzően érzékenyebbek az aflatoxin-expozícióra, mint a felnőttek (Ráduly et al. 2020).

A háziállatok által elfogyasztott aflatoxinok fajspecifikus módon metabolizálódnak, és biológiailag átalakulnak, ami primer aflatoxikózist eredményez, különféle káros egészségügyi hatásokkal és sokféle, változatos tinnel (Peles et al. 2019). A biotranszformációs és méregtelenítési reakciók jellemzően a májban történnek, és az aflatoxin B1-ből (AFB1) a máj-monooxygenázok által képzett toxikus és szintén rákkeltő származék, az AFM1 a tejbe kerülhet (Peles et al. 2019). Az AFB1 átvitele („carry-over”) a takarmányból a tehéntejbe 1-2 százalék között van, de a tejtermeléstől függően akár 6 százalék is lehet, így az AFM1 sajnos a tejtermékek széles spektrumában megjelenhet (Ráduly et al. 2020; Zentai et al. 2023). Az állati eredetű élelmiszer-alapanyagokba átvitt aflatoxinok és származékaik másodlagos aflatoxikózisokhoz vezethetnek a fogyasztóknál (Peles et al. 2019; Ráduly et al. 2020).

Mivel a klímaváltozás következtében a közeljövőben Magyarországon várhatóan súlyosbodni fog az aflatoxin-expozíció, Németh Tamás akadémikus, továbbá Győri Zoltán és Ambrus Árpád professzorok (Debreceni Egyetem) már 2018-ban multidiszciplináris Nemzeti Kiválósági Program projektet kezdeményeztek az aflatoxin-kutatásra. Váratlanul felkértek engem a projekt szakmai vezetőjének, ami nagy öröm és megtiszteltetés volt számomra. A projektjavaslatot a Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatallal közösen állítottuk össze és nyújtottuk be, és a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal ezt végül elfogadta.

<sup>1</sup> <https://www.reuters.com/article/hungary-maize-idUSL5E8NA-CY620121210>

2018 szeptemberében kezdődött az NKFIH 2018-1.2.1-NKP-2018-00002 „A magyar fogyasztók rövid és hosszú távú aflatoxin-terhelésének meghatározása a tejtermékláncban és a kockázatkezelő intézkedések megvalósítása” című projekt megvalósítása (Győri-Pócsi 2019; Pócsi et al. 2020a). A projektben a kockázatértékelés, élelmiszer-biztonság, állattenyésztés, tejtermelés, analitika, kukoricatermesztés, metagenomika, mikrobiológia, mikrobiális biotechnológia, mikrobiális genomika és a genetika területén dolgozó szakemberek példátlanul széles köre vett részt.

## Az NKFIH 2018-1.2.1-NKP-2018-00002 projekt főbb eredményei

### *A magyar fogyasztók jelenlegi AFMI-expozíciója*

A Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal magyar nemzeti monitoringprogramja és az NKP kutatási projekt keretében összesen 2608 tehéntej AFMI-koncentráció adatot gyűjtöttünk össze (Kerekes 2021; Kerekes et al. 2021; Farkas et al. 2022a). Ebből 1985 tejminta – szennyezettség detektálása esetén takarmányminták is – kilenc tejtermelő telepről származott a Debreceni Egyetem gyűjtésében, amely lehetőségért ezúton is köszönetemet fejezem ki a közreműködő mezőgazdasági vállalkozásoknak. Alapos laboratóriumok közötti standardizálást és validálást követően a nyers tej aflatoxin M1-tartalmát ELISA és HPLC módszerekkel mértük meg. A magyar fogyasztók krónikus expozíciójának becslése és kockázatának jellemzése probabilitásikus módszerrel történt (Farkas et al. 2022a). A számított veszélyességi index, az expozíciós határ és a hepatocelluláris karcinóma előfordulásának értékei alapján a következő következtetések vonhatók le (Kerekes 2021; Farkas et al. 2022a). (i) A sok tejet és tejterméket fogyasztó kisgyermek bizonyos szintű egészségügyi kockázatnak vannak kitéve. (ii) Az idősebb korcsoportok nem szembesülnek egészségügyi kockázattal. (iii) Bár azonnali ellenintézkedések megtétele nem szükséges, a takarmány- és élelmiszerlánc folyamatos ellenőrzése javasolt.

### *Az emberek és a haszonállatok egészségének nyomon követése aflatoxin-kitettség esetén*

Bár a projektben nem vizsgáltuk közvetlenül az aflatoxinok emberre és háziállatokra gyakorolt hatását, igyekeztünk felhívni az ezen a területen dolgozó kutatók figyelmét arra, hogy a mikotoxinok veseműködésre gyakorolt hatásának rendszeres szűrése elkerülhetetlennek tűnik a populációkban aflatoxin-expozíció esetén. Az aflatoxinok károsíthatják a proximális tubulusokat, illetve általában a vesét, ezért a  $\beta_2$ -mikroglobulin ( $\beta_2$ -MG), az *N*-acetyl- $\beta$ -D-glükózaminidáz (NAG), az akut vesekárosodás molekula-1 (KIM-1) és a neutrofil zselatinázzal

asszociált lipocalin (NGAL) vizelet-biomarkerek javasolhatók mind az emberek, mind az állatok kiterjedt szűrővizsgálataihoz (Ráduly et al. 2021, 2023).

### *AFBI-meghatározás erjesztett takarmányban*

A teljes takarmány- és élelmiszerlánc folyamatos ellenőrzése az aflatoxin-szennyeződés szempontjából elengedhetetlen előfeltétele annak, hogy a hatékony ellenintézkedéseket időben megtegyék. Nem meglepő, hogy az innovatív aflatoxin-analitikai projektek világszerte virágoznak – a könnyen használható gyorsesztektől, például az ELISA módszerektől és a laterális áramlási eszközöktől a legfejlettebb csatolt (HPLC-MS) technikákig vizsgálják a lehetséges analitikai eljárásokat (Peles et al. 2019; Miklós et al. 2020).

A kutatási projekt keretében sikerült optimalizálnunk (pH-beállítás, minta-előkészítés, oldószerarány) és validálnunk egy ELISA módszert az AFBI-koncentrációk mérésére erjesztett takarmányokban (kukoricaszilázs és rozsszéna), illetve fejőstehén-takarmánykoncentrátumban jó pontossággal, visszanyeréssel és megismételhetőséggel (Horváth et al. 2022).

### *Erjesztett és nem fermentált takarmányok mikrobiális közössége*

„Long-read bacterial metabarcoding” metódus alkalmazását követően sikerült felmérnünk a baktériumközösségeket erjesztett (kukoricaszilázs és széna) és nem erjesztett (pl. darált kukorica, darált repce, takarmánykoncentrátum) szarvasmarha-takarmányokban (Murvai et al. 2024). Az erjesztett takarmányokban az *Aerococcaeae*, *Bacillaceae*, *Brucellaceae*, *Lactobacillaceae*, *Staphylococcaeae* és *Thermoactinomycetaceae* családokba tartozó prokarióta fajok domináltak, míg a nem erjesztett takarmánymintákban a *Cyanobacteriaceae*, *Enterobacteriaceae*, *Erwiniaceae*, *Gomontiellaceae*, *Oxalobacteraceae*, *Rhodobiaceae*, *Rickettsiaceae* és *Staphylococcaeae* családokba tartozó baktériumfajok voltak bőségesen jelen. Összesen tizennégy élesztőfajt, leggyakrabban *Diutina rugosát*, *Pichia fermentans*t, *Pichia kudriavzevii*t és *Wickerhamomyces anomalus*t azonosítottunk. *Saccharomyces cerevisiae*-izolátumok csak állati takarmánykeverékekben jelentek meg, az erjesztett takarmányokban teljesen hiányoztak. A *S. cerevisiae*-izolátumok nagy genetikai uni-formitást mutattak (Murvai et al. 2024).

Egy külön vizsgálatban 22 erjesztett takarmány (14 kukorica, 4 lucerna, 2 rozs és 2 tritikálé) egyidejű toxikológiai és mikrobiológiai értékelését végeztük el (Adácsi et al. 2022a). Érdekes módon az *Aspergillus* (aflatoxin, ochratoxin A) és a *Fusarium* (deoxinivalenol, zearalenon) mikotoxinok bizonyos tendenciákat követve megjelentek egyes erjesztett takarmányokban. Például a deoxinivalenol főként a kukoricaszilázsban volt jelen, míg az ochratoxin A-t lucerna szilázs- és szénamintákban

mutattuk ki. Az aflatoxinok megjelenése szórványos volt, egyértelmű tendenciák nélkül (Adácsi et al. 2022a). Az erjesztett takarmánymintákban a felhasznált alapanyag-tól függően a *Lactiplantibacillus* és a *Pediococcus* fajok domináltak. A bakteriális izolátumok érzékenyek voltak az ochratoxin A-ra, némelyikük az AFB1-re, és jellemzően rezisztensek voltak a vizsgált *Fusarium* mikotoxinokkal szemben (Adácsi et al. 2022a).

### Az aflatoxinok ellenőrzése a takarmány- és élelmiszerláncban

Rengeteg betakarítás előtti és utáni módszer áll rendelkezésre az aflatoxinogén penészgombák és ezek aflatoxin-termelésének ellenőrzésére, továbbá az aflatoxin eltávolítása a toxinnal szennyezett gabonafélékből szintén a folyamatban lévő kutatások kiemelt területe. Az integrált betakarítás előtti és utáni eljárások a legígéretesebb stratégiák, hogy ezeket a káros mikotoxinokat világszerte szigorú kontroll alatt tartásuk (Loi et al. 2023). A javasolt beavatkozások folyamatos értékelése szükséges ahhoz, hogy a gazdálkodók, gyártók és más érdekelt felek döntést tudjanak hozni a legmegfelelőbb és leghatékonyabb aflatoxin-kontroll technológiákról (Farkas et al. 2022b). A publikált tudományos cikkek legutóbbi szisztematikus áttekintése alapján (Farkas et al. 2022b) a tejtermelési lánc leghatékonyabb beavatkozási csoportjai a következők: (i) kis nedvességtartalmú termelés tartósítószerrel (a mezőgazdasági termékek gyors szárítása, illóolajok alkalmazása), (ii) savasságot szabályozó anyagok (szerves savak az aflatoxinok lebontásának elősegítésére), (iii) adszorbensek (aflatoxin-kötő takarmány-adalékanyagok) és (iv) mikrobiológiai adalékanyagok (laktobacillusok, élesztőgombák, mikrobiális enzimek) alkalmazása.

Mára a megelőzési, fertőtlenítési és méregtelenítési technikák széles skáláját fejlesztették ki az aflatoxin csökkentésére a takarmány- és élelmiszerláncban (Peles et al. 2021; Sipos et al. 2021). A jelenlegi innovatív megközelítések közé tartozik többek között az ultraibolya besugárzás, a mágneses nanorészecskék, a plazmakezelés és a nanoenzimek alkalmazása, de a jelenleg rendelkezésre álló fertőtlenítési technikák hiányosságainak és korlátainak leküzdéséhez mindenképpen további kiterjedt kutatási erőfeszítésekre van szükség (Loi et al. 2023).

A pályázatban részletesen vizsgáltuk a dezoxinivalenol, az AFB1 és a zearalenon eliminációjának hatékonyságát és mechanizmusát egyes fermentált takarmányokból izolált Gram-pozitív, endospóráképző baktériumok által (Adácsi et al. 2022b). Érdekes, hogy miközben a tisztított baktérium-sejtfalak és a teichoinsav-frakciók hatékonyak voltak a zearalenon megkötésében, a dezoxinivalenol- és az AFB1-kötő képességük jellemzően csekély volt. Az egyetlen kivétel a *Bacillus thuringiensis* AMK10/1 törzs S-réteg-frakciója volt, amely 64 százalékos határfokkal eliminálta az AFB1-et (Adácsi et al. 2022b).

### A kukoricában előforduló aflatoxinok betakarítás előtti modellezése és mérséklése

Az aflatoxin prediktív modellek kiemelkedő fontosságúak az aflatoxinogén gombák terjedésének és aflatoxin-termelésének megelőzésében vagy legalábbis minimalizálásában. Mindazonáltal a modellek folyamatos finomítása elkerülhetetlen, mert figyelembe kell venniük a különböző klímaváltozási forgatókönyveket és azok következményeit is (Dövényi-Nagy et al. 2020; Loi et al. 2023). A meglévő modellek előrejelző képességének javításához több terepi kísérletre és egy különböző földrajzi régiók és évszakok adatait tartalmazó referenciadatbázis létrehozására van szükség. A betakarítás előtti aflatoxin-szennyezés csökkentésének jelenlegi tendenciái közé tartozik a rezisztenciatenyésztés, a biológiai védekezési módszerek és a helyes mezőgazdasági gyakorlat (Dövényi-Nagy et al. 2020).

A Debreceni Egyetemen 2020 és 2022 között három egymást követő évben végzett komplex terepkísérletben különböző környezeti paraméterek hatását vizsgáltuk az *A. flavus* kukorica- és aflatoxin-termelésére természetes és mesterséges fertőzési körülmények között. Fontos megfigyelés, hogy a penészszámot szignifikánsan befolyásolta a hőmérséklet és a légköri aszály, míg az aflatoxin-termelést a rendkívül magas napi maximum-hőmérséklet ( $T_{\max} \geq 35 \text{ }^\circ\text{C}$ ) határozta meg. Érdemes megjegyezni, hogy az öntözés növelte a penészszámot, ugyanakkor ezzel párhuzamosan csökkentette az aflatoxin-termelést (Molnár et al. 2023).

### Magyarországi *Aspergillus flavus*-izolátumok jellemezése

Mivel az emelkedő hőmérséklet és az egyre gyakoribb szélsőséges időjárási anomáliák a Kárpát-medence gomba-mikroflórájára is hatással lesznek, egyre nagyobb szükség van a feljövőben lévő aflatoxinogén *Aspergillus* fajok folyamatos monitorozására, beleértve genotípusaik és mikotoxin-termelő képességüket. Munkánk során négy, Magyarországon gyűjtött *A. flavus*-izolátum összehasonlító genomikai és filogenomikai elemzését, valamint toxikus szekunder metabolit-profilozását végeztük el. Az izolátumok nagyon változatos genomikai jellemzőket mutattak, és szekunder metabolit-profiljaik is jelentősen eltértek. Három izolátum egyáltalán nem termelt aflatoxinokat, amit az aflatoxin-bioszintézis géneinek különböző, nagy hatású mutációival lehetett magyarázni (Pfliegler és Pusztahelyi 2023).

### *Aspergillus flavus* genetikai módosító platform létrehozása

Az aflatoxin-bioszintézis komplex szabályozó hálózatának megfejtése elősegítheti hatékonyabb aflatoxin-szabályozási technológiák kifejlesztését. Az aflatoxin-bioszin-

tézist és/vagy a környezeti stressz elleni védelmet szabályozó, kulcsfontosságú elemek feltárása új támadáspontokat kínálhat például új, RNS-interferencián alapuló, a gazdaszervezet által indukált aflatoxin-kontroll technológiák kifejlesztéséhez (Loi et al. 2023). Sikeresen adaptáltuk az *A. flavus* genetikai módosítását lehetővé tevő molekuláris genetikai módszereket, és megkezdődött az aflatoxin-bioszintézist és/vagy az oxidatív stressz elleni védekező rendszert szabályozó, bZIP-típusú transzkripciós faktorok funkcionális jellemzése.

### *Aspergillus-eredetű mikotoxinok a takarmány- és élelmiszerláncban*

Nagy örömmre szolgált, hogy társszerkesztője lehettem a *Frontiers in Microbiology* folyóirat „*Aspergillus-eredetű mikotoxinok a takarmány- és élelmiszerláncban*” (*Aspergillus-Derived Mycotoxins in the Feed and Food Chain*) című két kötetének (társszerkesztők: Pócsi István, Federica Giacometti, Ambrus Árpád és Antonio F. Logrieco), amelyek összesen huszonnyolc kutatási és áttekinthető cikket vonzottak a világszerte jelenleg folyó mikotoxin-kutatások számos területéről (Pócsi et al. 2020b, 2023). Reméljük, hogy ez az egyedülálló tudományos cikkgyűjtemény átfogó és hiteles információkkal szolgál majd a szakértők, az oktatók, a hallgatók és a nagyközönség számára e nagyon fontos terület jelenlegi és jövőbeli tendenciáiról (Pócsi et al. 2020b, 2023).

### Következtetés

Véleményem szerint itthon feltétlenül szükség van további mikotoxin-kutatásokra. És nemcsak a hazai mikotoxin-helyzet folyamatos nyomon követése, valamint a már meglévő, mikotoxin-kontaminációt csökkentő módszerek adaptálása kell, hogy a célunk legyen, hanem az újonnan létrehozott mikotoxin-kutatási platform segítségével már elért és a jövőben elérni kívánt új, saját alap- és alkalmazott kutatási eredményeink felhasználásával az eddigieknél hatékonyabb analitikai és mikotoxin-kontroll technológiák kidolgozására is törekednünk kell.

### Utószó

Nagyrészt az NKP-projekt sikerének köszönhetően az alábbi hazai pályázatokat nyertük el, és konzorciumi partnerként részt vehetünk az alábbi nemzetközi projektekben.

- 2019-2.1.13-TÉT\_IN-2020-00056 Biotechnológiai kutatások *Fusarium* mikotoxinoktól mentes gabonafélék és élelmiszerek előállítása céljából. 2021–2024. Szakmai vezető: prof. dr. Pócsi István (indiai témavezető: dr. K. Madhavan Nampoothiri, National Institute for Interdisciplinary Science and Technology [NIIST], Thiruvananthapuram, Kerala).

- NKFIH OTKA K 142801 BZIP típusú transzkripciós faktorok funkcionális vizsgálata *Aspergillus flavus*ban – genetikai és omikai alapú megközelítés. 2022–2026. Szakmai vezető: prof. dr. Pócsi István.
- HORIZON-CL6-2024-FARM2FORK-01-4 MYMATCH MYcotoxin MAnagement platform to face climate change impact on food safety and human health. 2024–2028. A konzorcium vezetője: prof. dr. Paola Battilani (Department of Sustainable Crop Production, Università Cattolica del Sacro Cuore, Piacenza, Olaszország). Magyarországi szakmai vezető: prof. dr. Pócsi István, NÉBIH.

### Köszönetnyilvánítás

*Minden résztvevőnek szeretném megköszönni értékes hozzájárulását a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap (NKFIH) által támogatott, a 2018-1.2.1-NKP támogatási program keretében megvalósuló NKFIH 2018 1.2.1 NKP 2018 00002 projekt kidolgozásához. Ezúton is köszönöm a projekt megvalósításában való eredményes közreműködését a Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatalban (Miklós Gabriella, Nagy Attila, Pócz Mariann), az Állatorvostudományi Egyetemen (Farkas Zsuzsa, Józwiak Ákos) és a Debreceni Egyetemen (Ambrus Árpád, Dobos Attila, Leiter Éva, Peles Ferenc, Pfliegler Valter, Pusztahelyi Tünde, Ráduly Zsolt, Sipos Péter) dolgozó kollégáinknak.*

### Irodalomjegyzék

- Adácsi, C., Kovács, Sz., Pócsi, I., Gyóri, Z., Dombrádi, Zs. & Pusztahelyi, T. (2022a) Microbiological and toxicological evaluation of fermented forages. *Agriculture*, Vol. 12. No. 3. Article No. 421. <https://doi.org/10.3390/agriculture12030421>
- Adácsi, C., Kovács, Sz., Pócsi, I. & Pusztahelyi, T. (2022b) Elimination of deoxynivalenol, aflatoxin B1, and zearalenone by Gram-positive microbes (*Firmicutes*). *Toxins*, Vol. 14. No. 9. Article No. 591. <https://doi.org/10.3390/toxins14090591>
- Battilani, P., Toscano, P., Van der Fels-Klerx, H. J., Moretti, A., Camardo Leggieri, M., Brera, C. ... & Robinson, T. (2016) Aflatoxin B1 contamination in maize in Europe increases due to climate change. *Scientific Reports*, Vol. 6. No. 1. <https://doi.org/10.1038/srep24328>
- Dövényi-Nagy, T., Rácz, Cs., Molnár, K., Bakó, K., Szláma, Sz., Józwiak, J. ... & Dobos, A. Cs. (2020) Pre-harvest modelling and mitigation of aflatoxins in maize in a changing climatic environment – A review. *Toxins*, Vol. 12. No. 12. Article No. 768. <https://doi.org/10.3390/toxins12120768>
- Farkas, Zs., Kerekes, K., Ambrus, Á., Süth, M., Peles, F., Pusztahelyi, T. ... & Józwiak, Á. B. (2022a) Probabilistic modeling and risk characterization of the chronic aflatoxin M1 exposure of Hungarian consumers. *Frontiers in Microbiology*, Vol. 13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1000688>
- Farkas, Zs., Országh, E., Engelhardt, T., Csorba, Sz., Kerekes, K., Zentai, A. ... Józwiak, Á. (2022b) A systematic review of the efficacy of interventions to control aflatoxins in dairy production chain – Feed production and animal feeding interventions. *Toxins*, Vol. 14. No. 2. <https://doi.org/10.3390/toxins14020115>
- Gyóri Z. & Pócsi I. (2019) Új kutatások a tejtermékpálya élelmiszerbiztonságának növelése érdekében. *Tejgazdasági Szemle*, Vol. 6. No.1. pp. 8–9.

- Horváth, E., Pusztahelyi, T., Adácsi, C., Tanyi, E. & Pócsi, I. (2022) Optimization and validation of ELISA for aflatoxin B1 detection in fermented forages and feeds. *Scientifica*, Article No. 6059880. <https://doi.org/10.1155/2022/6059880>
- Kerekes, K. (2021) Deterministic and probabilistic modeling of aflatoxin M1 exposure of Hungarian consumers based on contamination of milk and dairy products. PhD thesis. Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Gödöllő. <https://phd.mater.unimite.hu/88>; <https://doi.org/10.54598/000930>
- Kerekes, K., Csorba, Sz. & Ambrus, Á. (2021) Chronic aflatoxin M1 exposure of Hungarian consumers. *Élelmiszervizsgáló Közlemények*, Vol. 67. No. 4. pp. 3402–3420.
- Loi, M., Logrieco, A. F., Pusztahelyi, T., Leiter, É., Hornok, L. & Pócsi, I. (2023) Advanced mycotoxin control and decontamination techniques in view of an increased aflatoxin risk in Europe due to climate change. *Frontiers in Microbiology*, Vol. 13. Article No. 1085891. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1085891>
- Miklós, G., Angeli, Cs., Ambrus, Á., Nagy, A., Kardos, V., Zentai, A. ... & Bartók, T. (2020) Detection of aflatoxins in different matrices and food-chain positions. *Frontiers in Microbiology*, Vol. 11. Article No. 1916. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01916>
- Molnár, K., Rácz, Cs., Dövényi-Nagy, T., Bakó, K., Pusztahelyi, T., Kovács, Sz. ... & Dobos, A. (2023) The effect of environmental factors on mould counts and AFB1 toxin production by *Aspergillus flavus* in maize. *Toxins*, Vol. 15. No. 3. Article No. 227. <https://doi.org/10.3390/toxins15030227>
- Murvai, K. P., Rácz, H. V., Horváth, E., Németh, B., Imre, A., Pereira, K. N. O. ... & Pfliegler, W. P. (2024) The bacterial and yeast microbiota in livestock forages in Hungary. *BMC Microbiology*, Vol. 24. No. 1. Article No. 340. <https://doi.org/10.1186/s12866-024-03499-8>
- Peles, F., Sipos, P., Győri, Z., Pfliegler, W. P., Giacometti, F. ... & Pócsi, I. (2019) Adverse effects, transformation and channeling of aflatoxins into food raw materials in livestock. *Frontiers in Microbiology*, Vol. 10. Article No. 2861. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02861>
- Peles, F., Sipos, P., Kovács, Sz., Győri, Z., Pócsi, I. & Pusztahelyi, T. (2021) Biological control and mitigation of aflatoxin contamination in commodities. *Toxins*, Vol. 13. No. 2. <https://doi.org/10.3390/toxins13020104>
- Pfliegler, V. P., Pócsi, I., Győri, Z. & Pusztahelyi, T. (2020) The *Aspergillus* and their mycotoxins: Interactions with plants and the soil biota. *Frontiers in Microbiology*, Vol. 10. Article No. 2921. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02921>
- Pfliegler, V. P. & Pusztahelyi, T. (2023) – personal communication
- Pócsi I., Győri Z. & Béri B. (2020a) Új kutatások a tejtermékpálya élelmiszer-biztonságának növelése érdekében II. *Tejgazdasági Szemle*, Vol. 7. No. 5. pp. 21–22.
- Pócsi, I., Giacometti, F., Ambrus, Á. & Logrieco, A. F. (2020b) Editorial: *Aspergillus*-derived mycotoxins in the feed and food chain. *Frontiers in Microbiology*, Vol. 11. Article No. 606108. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.606108>
- Pócsi, I., Giacometti, F., Ambrus, Á. & Logrieco, A. F. (2023) Editorial: *Aspergillus*-derived mycotoxins in the feed and food chain. Volume II. *Frontiers in Microbiology*, Vol. 14. Article No. 1211341. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1211341>
- Ráduly, Zs., Szabó, L., Madar, A., Pócsi, I. & Csernoch, L. (2020) Toxicological and medical aspects of *Aspergillus*-derived mycotoxins entering the feed and food chain. *Frontiers in Microbiology*, Vol. 10. Article No. 2908. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02908>
- Ráduly, Zs., Price, R. G., Dockrell, M. E. C., Csernoch, L. & Pócsi, I. (2021) Urinary biomarkers of mycotoxin induced nephrotoxicity – Current status and expected future trends. *Toxins*, Vol. 13. No. 12. <https://doi.org/10.3390/toxins13120848>
- Ráduly, Zs., Szabó, A., Mézes, M., Balatoni, I., Price, R. G., Dockrell, M. ... & Csernoch, L. (2023) New perspectives in application of kidney biomarkers in mycotoxin induced nephrotoxicity. *Frontiers in Microbiology*, Vol. 14. Article No. 1085818. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1085818>
- Sipos, P., Peles, F., Brassó, D. L., Béri, B., Pusztahelyi, T., Pócsi, I. & Győri, Z. (2021) Physical and chemical methods for reduction of aflatoxin content of feed and food. *Toxins*, Vol. 13. No. 3. <https://doi.org/10.3390/toxins13030204>
- Zentai, A., Józwiak, Á., Süth, M. & Farkas, Zs. (2023) Carry-over of aflatoxin B1 from feed to cow milk – A review. *Toxins*, Vol. 15. No. 3. <https://doi.org/10.3390/toxins15030195>