

A tej és a tejtermékek mikotoxin-szennyezettsége Európában – Áttekintés

Recalde-Soliz, Veronica¹, Brendzsák Barbara², Győri Zoltán³, Pusztahelyi Tünde^{2*}

¹Debreceni Egyetem, Táplálkozás- és Élelmiszertudományi Doktori Iskola, Debrecen, Magyarország

²Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Agrárműszerközpont, Debrecen, Magyarország

³Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Táplálkozástudományi Intézet, Debrecen, Magyarország

*Levelező szerző, e-mail: pusztahelyi@agr.unideb.hu

Beérkezett: 2025. április 24.; elfogadva: 2025. július 7.

Összefoglalás

Ez az áttekintés a tej és a tejtermékek mikotoxin-szennyezettségével kapcsolatos európai publikációkat vizsgálja, a 2010 és 2025 között közzétett tanulmányokra fókuszálva. A keresési kritériumok között szerepelt a teljes szövegű cikk elérhetősége, az eredeti kutatási tanulmány, a vizsgált termék típusának egyértelmű meghatározása, az angol nyelv és az európai országokra történő összpontosítás. Összehasonlítottuk a Google Scholar, a PubMed, a Science Direct és a Web of Science adatbázisok találatait. A kritériumoknak megfelelő cikkek aránya országonként eltérő volt. A bibliometria elemzés kiemelte Olaszország vezető szerepét az aflatoxin M1 (AFM1) kutatásában, Törökország és Spanyolország közreműködésével. Az aflatoxin M1 mellett elemeztük a *Fusarium* mikotoxinok, az ochratoxin A és a feltörekvő mikotoxinok kutatását is. A jövőbeli kutatásoknak foglalkozniuk kell az élelmiszerekben egyszerre jelen lévő mikotoxinok hatásaival.

Kulcsszavak: bibliometria elemzés, tej, tejtermékek, mikotoxinok

Mycotoxin contamination of milk and dairy products in Europe – Overview

Veronica Recalde-Soliz¹, Barbara Brendzsák², Zoltán Győri³, Tünde Pusztahelyi²

¹University of Debrecen, Doctoral School of Nutrition and Food Science, Debrecen, Hungary

²University of Debrecen, Faculty of Agricultural and Food Sciences and Environmental Management, Central Laboratory of Agricultural and Food Products, Debrecen, Hungary

³University of Debrecen, Faculty of Agricultural and Food Sciences and Environmental Management, Institute of Nutrition Sciences, Debrecen, Hungary

Summary

This review examined European publications on mycotoxin contamination of milk and dairy products, focusing on studies published between 2010 and 2025. The search criteria included the availability of a full-text article, original research studies, a clear definition of the type of product under study, writing in English, and a focus on European countries. We compared the results of Google Scholar, PubMed, Science Direct, and Web of Science databases. The proportion of articles in the PubMed database that met the above criteria varied by country, e.g., in Italy (61%), Spain (46%), Turkey (60%), and Portugal (43%). Larger and more research-intensive countries show balanced and high levels of engagement across all platforms. In contrast, smaller or less research-driven countries have shown lower and more inconsistent appearance patterns. Italy stands out significantly, concentrating the highest search score on Web of Science, which accounts for nearly 60% of the database. This indicates that the Italian research community prefers peer-reviewed, indexed publications. Similarly, France also showed a balanced, prominent presence on all four platforms, with a high focus on PubMed and Google Scholar. Dairy products dominate the research, especially in PubMed (46.53%), indicating widespread attention. Cheese and butter products also have a remarkable literature, especially in the Web of Science (~24%). The bibliometric analysis highlighted Italy's leading role in the research of

aflatoxin M1 (AFM1), with the participation of Turkey and Spain. In addition to aflatoxin M1, we also analysed the research of *Fusarium* mycotoxins, ochratoxin A, and emerging mycotoxins. An examination of publications on feed contamination highlighted that each sample was contaminated with at least two mycotoxins, including fumonisins, zearalenone, and ochratoxin A. Future research should address the effects of multiple mycotoxins in foods.

Keywords: bibliometric analysis, milk, dairy products, mycotoxins

Bevezetés

A mikotoxinok olyan gombák által termelt toxikus másodlagos metabolitok, mint a *Penicillium*, az *Aspergillus*, a *Fusarium*, a *Claviceps* és az *Alternaria*. Klinikailag eltérő hatásuk alapján osztályozzák őket; megkülönböztetik például a hepatotoxinokat, a nefrotoxinokat, a neurotoxinokat és az immuntoxinokat. Sejtbiológiai szempontból teratogénként, mutagénként, rákkeltő anyagként és allergénként ismerik őket, kiemelve káros hatásuk széles skáláját. A legfontosabb, aggodalomra okot adó mikotoxinok közé tartoznak az aflatoxinok, a trichotecének, az ochratoxinok, a fumonizinek, a patulin, a citrinin és az anyarozs-alkaloidok. Ezek a mikotoxinok szennyezhetik a növényeket mind a szántóföldön, mind betakarítás után. Ezenkívül az állatok metabolizálhatják vagy kiválaszthatják ezeket a toxinokat, aminek nyomán olyan élelmiszerekben jelenhetnek meg, mint a tej és a hús, ez pedig befolyásolhatja az emberi egészséget (Bellio et al. 2016; Izzo et al. 2022).

A mikotoxinok szabályozása elengedhetetlen mind a humán fogyasztók, mind az állatállomány védelme érdekében. Különösen a tejelő tehenek vannak gyakran kitéve mikotoxinoknak a szennyezett takarmány által. A takarmányminőség és az állatállomány mikotoxin-expozíciója közötti kapcsolat azonban továbbra is kevésbé kutatott terület (Rocchetti et al. 2021b).

A tej az emberi étrend elengedhetetlen része, termelése az elmúlt évtizedekben világszerte nőtt. Különböző tényezők befolyásolják a tej metabolitjait, beleértve az állatok egészségét, az évszakot és az etetési rendszereket. Komoly aggodalomra ad okot a takarmányok szennyeződése olyan gombák mikotoxinjaival, mint az *Aspergillus*, a *Penicillium*, a *Fusarium*, az *Alternaria* és a *Claviceps*. A kukoricaszilázsban található mikotoxinok károsíthatják az állatok egészségét. Bár a szarvasmarhák bendőflórája egyes toxinokat inaktív, mások biológiailag aktívakká alakítják. A bendő barrierfunkciója kulcsfontosságú a mikotoxinok felszívódásának megakadályozásában; ha károsodik ez a funkció, az növelheti a toxinok felszívódását, és tejszennyeződéshez vezethet (Rocchetti et al. 2021a). A jelentősebb mikotoxinokra létezik szabályozás, a feltörekvő toxinokat ugyanakkor kevésbé vizsgálják, és a takarmány minőségét a szennyeződéssel összekapcsoló kutatások is korlátozottak (Rocchetti et al. 2021b).

Ez az áttekintés a mikotoxin-szennyezés előfordulását, eloszlását és toxikológiai következményeit vizsgálja az európai tejben és tejtermékekben a 2010 és 2025 között közzétett tanulmányokra összpontosítva. Bibliometriai elemzést közöl a kutatási trendek, hozzájárulások, vala-

mint a mikotoxin-szennyeződés, különösen az aflatoxin M1 (AFM1) értékelésére. A cél a környezeti, takarmány- és regionális tényezők szennyezettségi szintre gyakorolt hatásának értékelése.

Anyagok és módszerek

A szakirodalom-elemzés módszere

A 2010 és 2025 között közzétett releváns tanulmányokat szisztematikus szakirodalmi keresés után szűrtük a PubMed, a Science Direct, a Google Scholar és a Web of Science adatbázisokban, a következő kulcsszavak használatával: „mikotoxinok” ÉS „tej” ÉS meghatározott ország, mikotoxintípus ÉS „tej” ÉS „Európa”, tejterméktípus ÉS „mikotoxinok” ÉS „Európa”.

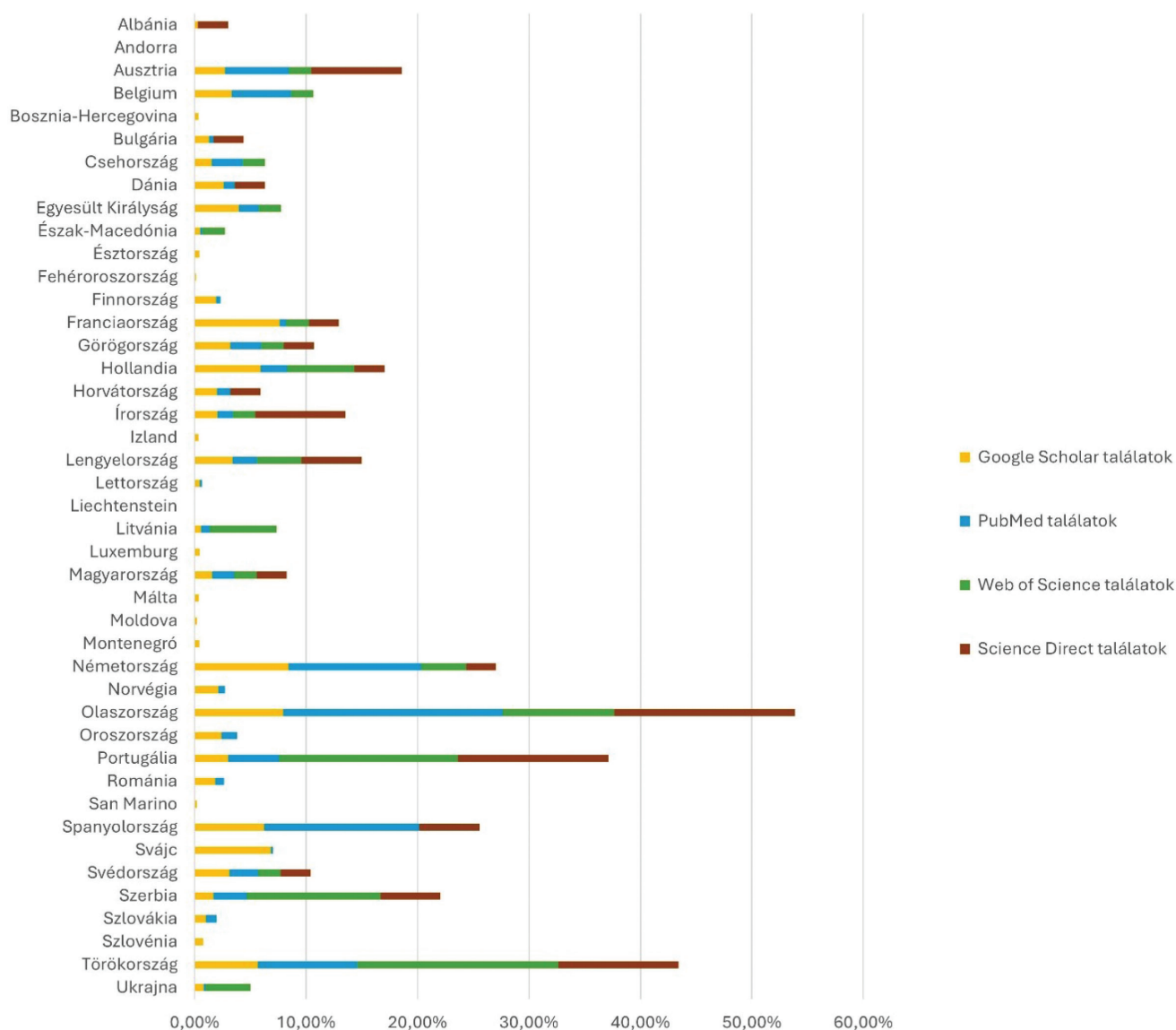
A kezdeti szűrési folyamat után a PubMedet választottuk ki a szakirodalmi áttekintés egyetlen adatbázisának. A korábbi keresésekből gyűjtött adatokat azonban megőriztük a keresési trendek elemzéséhez. A PubMedről 202 publikációt szűrtünk ki, és értékeltük ezeket jogosultság szempontjából. A kezdeti értékelés során 39 cikket zártunk ki címük és kivonatuk alapján a duplikáció vagy irrelevancia miatt, így 163 cikkünk maradt további megfontolásra.

Minden letöltött publikációt kétszer felülvizsgáltunk, hogy előre meghatározott felvételi kritériumok alapján meghatározzuk a végső megfelelőséget. Ezek a kritériumok a következők voltak: (1) a teljes szövegű cikk elérhetősége, (2) eredeti kutatási tanulmány, (3) a vizsgált termék típusának egyértelmű meghatározása. Az Európán kívüli régiókkal kapcsolatos tanulmányokat kizártuk. Az egyértelműség és a fordítási hibák kockázatának csökkentése érdekében csak angol nyelven vagy legalább angol nyelvű kivonattal megjelent cikkeket tartottunk meg. Azokat a publikációkat, amelyek nem feleltek meg ezeknek a kritériumoknak, kizártuk a felülvizsgálatból. A publikációk (133), amelyek megfeleltek valamennyi kritériumnak, végül bekerültek a vizsgálatba.

Eredmények

Az adatbázisok áttekintésének legfontosabb megállapításai a tejtermékekben található mikotoxinok kutatásáról

Olaszország jelentősen kiemelkedik (1. ábra); Olaszország esetében a legmagasabb keresési eredmények a Web of Science-ben koncentrálódnak, amely a teljes tudomá-



1. ábra A keresési találatok százalékos megoszlása az európai országokban 2010 és 2025 között, négy fő kutatási adatbázis szerint szegmentálva: Google Scholar, PubMed, Science Direct és Web of Science
Forrás: saját szerkesztés

nyos adatbázis-használat közel 60 százalékát teszi ki. Ez azt jelzi, hogy az olasz kutatói közösség egyértelműen előnyben részesíti a lektorált, idézetekkel indexelt irodalmat. Hasonlóképpen, Franciaország is kiegyensúlyozott, de kiemelkedő találatot mutat mind a négy platformon, hangsúlyosan a PubMeden és a Google Scholaron, ami a nyílt hozzáférésű és speciális orvosi biológiai szakirodalom melletti elkötelezettségre utal.

Ezzel szemben az olyan országok, mint Luxemburg vagy Hollandia nagyobb mértékben találhatók meg a Google Scholaron, ami a nyílt hozzáférésű források szélesebb körű előnyben részesítését és esetleg az interdiszciplináris kutatások szélesebb körét jelzi. Szlovénia és Svédország változatos megjelenést mutat, bár Svédország inkább hajlik a PubMed és a Science Direct felé, ami valószínűleg tükrözi az ország robusztus orvosi biológiai és tudományos kutatási ágazatát.

A kisebb országok vagy a kevésbé intenzív tudományos kutatási tevékenységgel jellemezhető országok – például Albánia, Liechtenstein és Észtország – sokkal alacsonyabb százalékos arányt mutatnak, és eloszlásuk változatosabb vagy torzabb. Ez bizonyos platformokhoz való korlátozott hozzáférésre vagy kapcsolattartásra utalhat, esetleg infrastrukturális vagy finanszírozási korlátok miatt. Érdekes módon Olaszországhoz hasonlóan Törökország is erősen támaszkodik a Web of Science-re, ami megerősíti a platform széles körű jelentőségét a növekvő kutatási teljesítménnyel rendelkező országokban.

Az ábra összességében nemcsak az akadémiai kutatási preferenciák földrajzi tendenciáit mutatja be, hanem utal a nemzeti kutatási erőfeszítések mélységére és fókuszára is Európa-szerte (1. ábra). A nagyobb és kutatásintenzívebb országok kiegyensúlyozott és magas szintű elkötelezettséget mutatnak minden platformon, míg a kisebb

vagy kevésbé kutatásvezérelt országok esetében alacsonyabb és következtetlenebb használati mintákat látunk.

A szakirodalmi áttekintéshez a PubMedet választottuk, mivel tükrözi a kutatásvezérelt országok, például Franciaország, Olaszország, Portugália és Svédország trendjeit. A platform hozzáférést biztosít a lektorált, magas színvonalú orvosbiológiai és egészségtudományi szakirodalomhoz, hiteles és megbízható forrásokkal. Ezzel szemben a Google Scholar szakdolgozatokat, konferencia-előadásokat és egyéb, nem lektorált anyagokat is tartalmaz, így a PubMed alkalmasabb a fókuszált és szigorú elveken alapuló adatgyűjtésre.

A PubMedben végzett szűrést követően a válogatás szigorú felvételi és kizárási kritériumokon alapult. A kritériumainknak megfelelő publikációk aránya országonként jelentősen eltért: például Olaszország esetében 61 százalék volt, Spanyolországnál 46 százalék, Törökországnál 60 százalék, Portugáliánál 43 százalék, de Németországnál csak 3 százalék. Ezek a számok igazolják a kutatás relevanciájának országonkénti változatosságát, valamint a források gondos kiválasztásának fontosságát a végső felülvizsgálat minőségének és relevanciájának biztosítása érdekében.

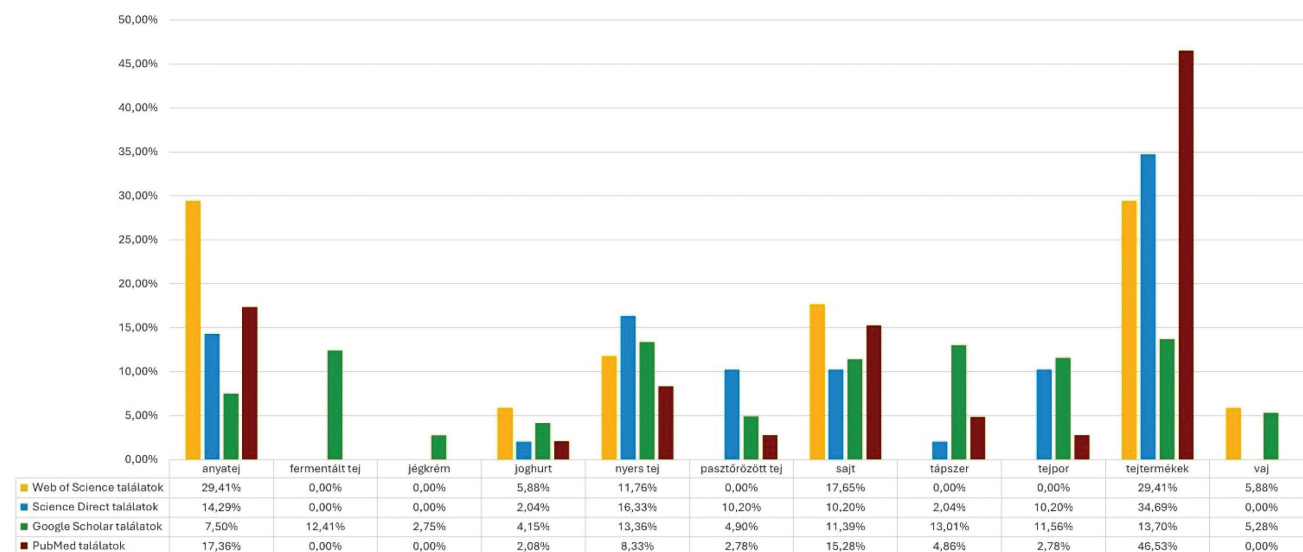
Általánosan a nyers tej és a tejtermékek dominálják a kutatásokat, a PubMedben különösen az utóbbiak (46,53 százalék), ami a széles körű figyelmet mutatja. A sajt és a vaj is kiemelt figyelmet kap, különösen a Web of Science-ben (~24 százalék). Az anyatej és a csecsemőtápszer vizsgálata a csecsemők egészségügyi kockázatai miatt inkább a PubMedben összpontosul. A porított és nyers tej kutatási jelenléte mérsékelt, míg az erjesztett tejet, a fagylaltot és a joghurtot ritkán tanulmányozzák. Ez rávilágít a kutatási hiányosságokra, illetve az élelmiszer-biztonsági kockázatokra ezeken a területeken (2. ábra).

A mikotoxinok dokumentált előfordulása a tejben és a tejtermékekben Európa-szerte (2010–2025) a PubMed adatbázis alapján

Aflatoxinok

Az AFM1 a tejben és a tejtermékekben található elsődleges mikotoxin, amely akkor keletkezik, amikor az állatok aflatoxin B1-gyel (AFB1) szennyezett takarmányt fogyasztanak. Az Európai Unió 50 ng/kg-os maximális AFM1-szintet határozott meg a tejben és a tejtermékekben, valamint szigorúbb határértékeket az anyatej-helyettesítő tápszerek esetében (Izzo et al. 2022b). A problémát az jelenti, hogy az AFM1 stabil a tejben, és a pasztörözés vagy az UHT-kezelés sem csökkenti jelentősen a jelenlétét. Erősen kötődik a kazeinhez, ami magasabb AFM1-koncentrációt eredményez a sajtban, mint a nyers tejben (Santini et al. 2013).

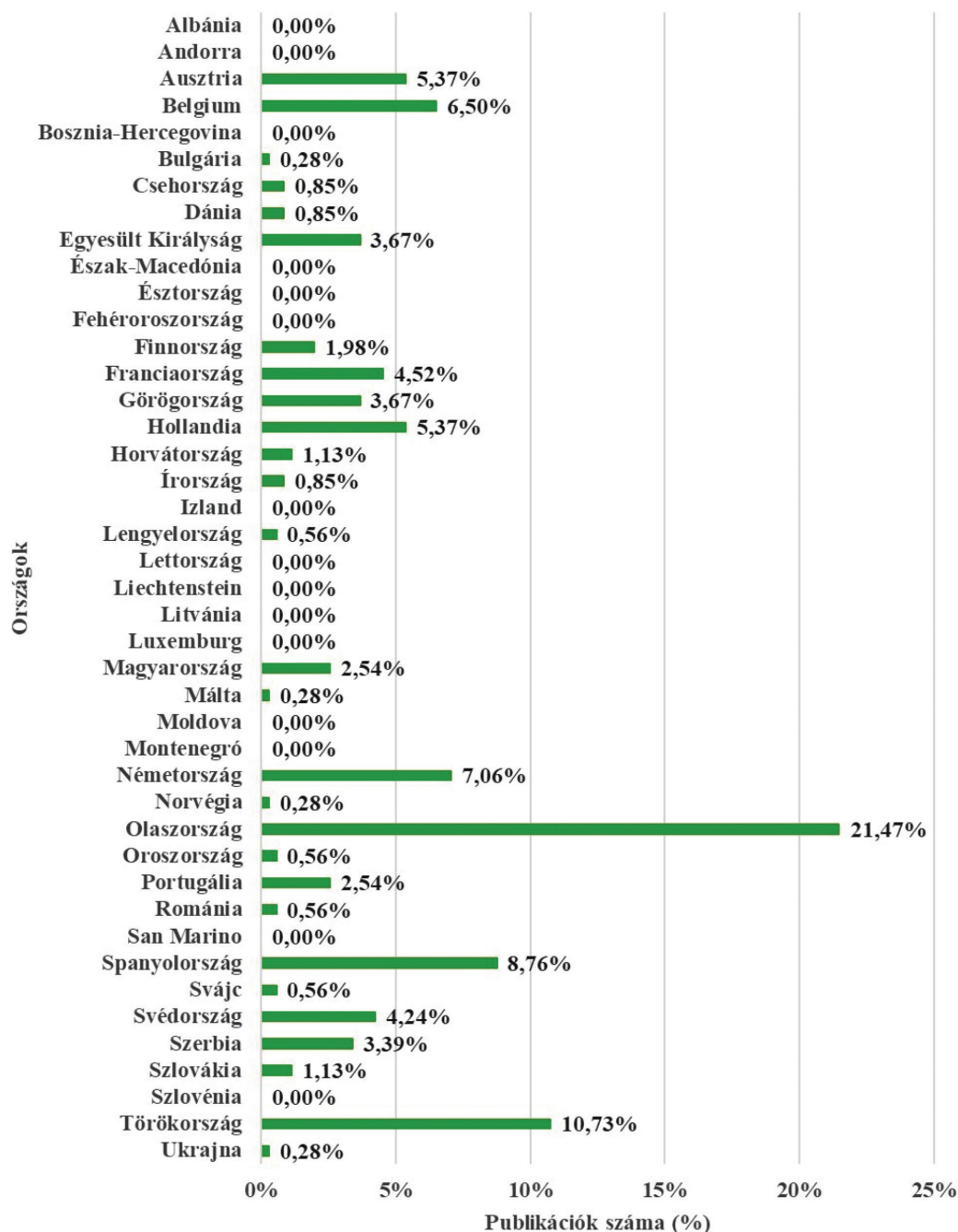
Az aflatoxin M1-gyel kapcsolatos PubMed keresési találatok százalékos megoszlása a különböző európai országokban megmutatja országonként a tejben található mikotoxinra összpontosító tudományos kutatások vagy publikációk mennyiségét, ami a tudatosság, a nyomon követés vagy az aggodalom eltérő szintjére utal (3. ábra). Olaszország jóval megelőzi a többieket: az összes publikáció 21,47 százalékát adja, ami jelzi, milyen nagy hangsúlyt helyeznek az AFM1-re, valószínűleg a magasabb szennyeződési kockázat vagy a proaktív élelmiszer-biztonsági kutatások miatt. Az olaszokat Törökország (10,73 százalék), Spanyolország (8,76 százalék) és Németország (7,06 százalék) követi, ami figyelemre méltó kutatási érdeklődést jelez, amely talán mind a mezőgazdasági gyakorlathoz, mind a tejipar méretéhez kapcsolódik. A mérsékelt kutatási hozzájárulással rendelkező országok közé tartozik Belgium (6,50 százalék), Ausztria és



2. ábra

A tejtermékekben előforduló mikotoxin-találatok százalékos megoszlása Európa-szerte 2010 és 2025 között a Web of Science, a Science Direct, a PubMed és Google Scholar alapján

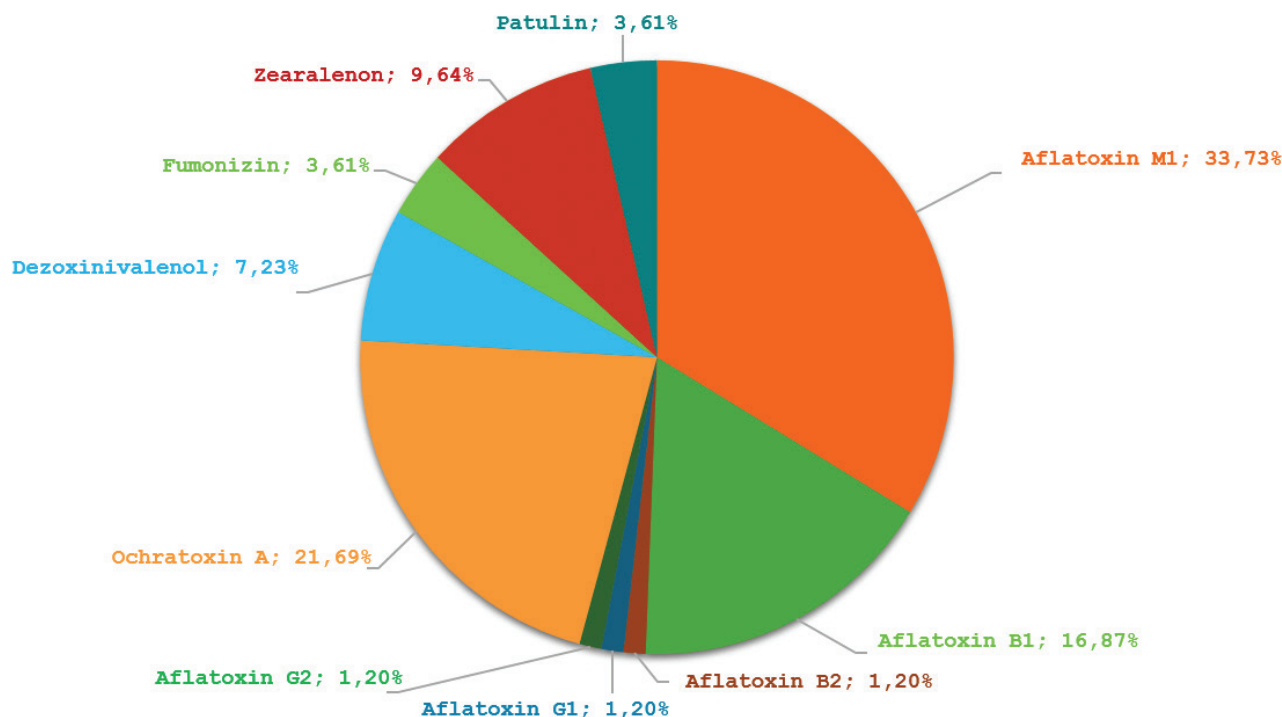
Forrás: saját szerkesztés



3. ábra | Az aflatoxin M1 százalékos eloszlása a PubMed keresési találatok alapján az európai országokban
 Forrás: saját szerkesztés

Montenegró (mindkettő 5,37 százalék), valamint Franciaország (4,52 százalék). Ezek az országok aktívan részt vettek az aflatoxin-kutatásban, valószínűleg a szabályozási keretek vagy a tudományos szerepvállalás miatt. A spektrum alsó végén több ország, például Albánia, Bosznia-Hercegovina és Ukrajna minimális számú publikációval rendelkezik (0,28 százalék) a vizsgált időszakban, ami arra utal, hogy a témával kapcsolatos kutatási eredmények korlátozottak. Ez tükrözheti a ritkább szennyeződést, az alacsonyabb kutatási finanszírozást vagy a tej aflatoxin-ellenőrzésére fordított kisebb figyelmet.

A kutatási találatok alapján feltérképeztük a mikotoxinok kimutatásának eloszlását a nyers tejben az elmúlt tizenöt évben Európa-szerte. Az aflatoxin M1 (33,73 százalék) és az ochratoxin A (OTA) (21,69 százalék) voltak a leggyakrabban kimutatott mikotoxinok, kiemelve az állati takarmányból származó szennyeződést. Ezután az AFB1 következett (16,87 százalék), ami tükrözi a takarmányban való előfordulást. Más aflatoxinok (B2, G1, G2) kisebb számban voltak jelen. A nem aflatoxin mikotoxinok közé tartoznak a zearalenon (ZEN) (9,64 százalék), a dezoxinivalenol (DON) (7,23 százalék) és a patu-



4. ábra | A mikotoxin-találatok százalékos eloszlása a tejben Európa-szerte, 2010–2025
Forrás: saját szerkesztés

lin (3,61 százalék), amely szélesebb körű gombás szennyeződést jelez a takarmányforrásokban (4. ábra).

Az AFM1 az AFB1 lenyelését követő órákban termelődik a tejben, és a takarmányban lévő AFB1 körülbelül 1–6 százaléka AFM1-ként jelenik meg a tejben (Bellio et al. 2016). Az észak-olaszországi származéjról (Altafini et al. 2020), illetve a juhtejről (Cammilleri et al. 2019) szóló tanulmányok megállapították, hogy az AFM1-szennyeződés alacsony és biztonságos határokon belüli volt (50 ng/kg alatt), így nem jelentett egészségügyi kockázatot. Törökországban az UHT tejminták 73,2 százaléka pozitív volt AFM1-re, de csak három haladta meg a határértéket. Az anyatej-helyettesítő mintákban nem találtak szennyeződést, ami minimális egészségügyi kockázatot jelez (Sahindokuyucu Kocasari 2014). A Tarhana chipsen (joghurtot tartalmazó chips) végzett tanulmány a minták 52,5 százalékában talált AFM1-et, de minden minta a határértékek alatt volt, ami arra utal, hogy nem jelentenek egészségügyi kockázatot (Özçam et al. 2014).

Ferrari és szerzőtársai egy nagyobb léptékű tanulmányban megállapították, hogy a 95 882 tejminta 0,7 százaléka meghaladta az EU AFM1-határértékét, és a tanulmány kimutatta a takarmány és a tej nyomon követésének fontosságát a mikotoxin-szennyeződés ellenőrzése érdekében (Ferrari et al. 2023). Messina és szerzőtársai megállapították, hogy Szicíliában mind a 180 elemzett tejminta AFM1-szintje a kimutatási határérték alatt volt (Messina et al. 2024). Szerbiában számos tanulmány rávilágított az aflatoxinok, különösen az AFM1

széles körű előfordulására a tejtermékekben és az állati takarmányokban, amelyek mind az állatok, mind az emberek egészségére hatással vannak (Milićević et al. 2021; Miocinovic et al. 2017; Torović 2015). Portugáliában egy másik tanulmány száz nyerstej-mintát elemzett. A vizsgálat 46 százaléknál mutatott ki AFM1-et, de jóval az uniós határérték alatti szinten, ami arra utal, hogy a fogyasztók összességében alacsony koncentrációknak vannak kitéve (Leite et al. 2023b). Szlovákiában a 68 kereskedelmi és hagyományos szlovák sajtot elemző tanulmány a mikotoxinok és másodlagos metabolitok szempontjából megállapította, hogy bár az AFM1-et nem mutatták ki, más metabolitok jelen voltak, például triptofol (13,4–7930 µg/kg között) és enniatin B (ENN B) (0,06–0,71 µg/kg). Ez a tanulmány az első jelentés a szlovák sajtok mikotoxin-szennyezettségéről, amely hangsúlyozza a nyomon követés szükségességét, mivel ezekre a metabolitokra vonatkozóan nincsenek megállapított maximális megengedett szintek (Izzo et al. 2022a).

Egy tanulmány az AFM1 szintjét vizsgálta 2014–2015-ben Törökországban nyers tejben (5,14–78,69 ng/kg), Ezine sajtban (19,43–158,30 ng/kg) és sajthaltában (50,25–213,50 ng/kg). Bár egyes nyerstej-minták meghaladták az AFM1-határértéket, a tejtermékek átlagos szintje a szabályozási határértékeken belül maradt (Eker et al. 2019; Kara-Ince 2014). Más tanulmányok a tejelőtehen-takarmányban, a tehen- és bivalytejben, valamint a tejtermékekben található aflatoxinokra összpontosítottak. A tehéntakarmány-minták összesen 26,3 százaléka volt aflatoxinnal szennyezett, és a tejminták 21,1

százaléka tartalmazott AFM1-et, amelyek közül néhány meghaladta az EU AFM1-re vonatkozó felső határértékét. Ezenkívül az AFM1-et joghurtban és ayanban (joghurtital) (Sabin *et al.* 2016), továbbá tejporban (Bessaire *et al.* 2019) találták meg, de az adatok itt is az EU határértékein belül maradtak. Olaszországban Bellio és szerzőtársai megállapították, hogy a 2012 és 2014 között vizsgált 1668 tejminta 2,2 százaléka volt pozitív AFM1-re, 0,5 százaléka pedig meghaladta az uniós határértéket (Bellio *et al.* 2016).

Egy az ultramagas hőmérsékleten kezelt (UHT) tejjel és anyatej-helyettesítő tápszerekkel kapcsolatos tanulmány AFM1-szennyeződést talált az UHT tejminták 73,2 százalékában (6,42–71,33 ng/kg). Bár három UHT tejminta meghaladta az 50 ng/kg határértéket, a mért szintek általában nem jelentettek jelentős közegészségügyi kockázatot. Az anyatej-helyettesítő tápszer mintáiban nem mutattak ki AFM1-et, ami alacsonyabb kockázatot jelez a tápszert fogyasztó csecsemők esetében (Sahindokuyucu Kocasari 2014). A félkemény tehéntejsajtban található AFM1-ről szóló tanulmány megállapította, hogy az AFM1 koncentrációja a sajtgyártás során: a sajt AFM1-szintje 1,7–8-szor magasabb, mint a nyers tej (Pecorelli *et al.* 2019). Egy a penésszel érlelt sajton végzett vizsgálat szerint az AFM1-et csak a minták 6 százalékában mutatták ki, két minta pedig meghaladta a hivatalos határértéket (Ertas Onmaz *et al.* 2021). Görögországban összesen 52 csecsemőtejet, 25 feta sajtot és 32 pasztörözött tejmintát választottak ki véletlenszerűen, majd teszteltek indirekt ELISA-módszerrel. Az összes vizsgált minta AFM1-szintje 50 ng/kg alatt volt, koncentrációjuk pedig 0,23 és 17,84 ng/kg között mozgott (Malissiova *et al.* 2022).

Egy dél-olaszországi tanulmány nem talált kimutatható mikotoxinokat a szupermarketek tejmintáiban (Izzo *et al.* 2020). Egy másik, dél-olaszországi tejről szóló tanulmány a pasztörözött minták 72,7 százalékában találta meg az AFM1-et, de egyik minta sem lépte túl az előírt határértékeket (Campone *et al.* 2018). A hagyományos tejben és a biotejben hasonlóan biztonságos határokon belül mutatták ki az AFM1-szintet (Armorini *et al.* 2016).

Egy tanulmány, amely a tejben és tejalapú élelmiszerekben vizsgálta 2017 és 2019 között az AFM1-szennyeződést, 2 és 79 százalék közötti szennyeződési arányt írt le. A legnagyobb szennyezettség a pasztörözött és az UHT tejben volt kimutatható, átlagosan 22,34 ng/kg koncentrációval (Miličević *et al.* 2021). Egy a spanyolországi Katalóniában végzett vizsgálat megállapította, hogy az UHT tejminták 94,4 százaléka tartalmazott AFM1-et, míg a joghurtminták 2,8 százalékában mutatták ki, sajtokban viszont nem volt kimutatható. A joghurtban a legmagasabb AFM1-koncentráció meghaladta az EU 50 ng/kg-os határértékét (Cano-Sancho *et al.* 2010). Egy kétéves kutatás Délkelet-Spanyolországban

vizsgálta az AFM1 szintjét ömlesztett tartályos tejben és Manchego sajt sajtútúróban. A tanulmány megállapította, hogy a legtöbb mintában a tejre vonatkozó uniós határérték alatt volt az AFM1 szintje. Az AFM1-szint azonban négyszer magasabb volt a túróban, mint a silótejben, ami arra utal, hogy az AFM1 tejben történő ellenőrzése kulcsfontosságú a sajtgyártás biztonságának garantálása érdekében (Rubio *et al.* 2011). Egy későbbi tanulmány Spanyolország négy régiójában vizsgálta az aflatoxinok szintjét a tejelő tehenek takarmányában, illetve az AFM1 szintjét a nyers tejben. A kutatás megállapította, hogy a takarmányminták 34,7 százaléka tartalmazott aflatoxint, és 12,4 százalék volt pozitív AFB1-re. Az AFM1-et pedig az ömlesztett tejminták 18,9 százalékában mutatták ki. Három minta meghaladta az AFM1-re vonatkozó uniós határértéket (Rodríguez-Blanco *et al.* 2020). Egy tanulmány a takarmány AFB1-szintjét és a magas hozamú tejelő tehenek tejének AFM1-szintjét vizsgálva megállapította, hogy a takarmányminták 55 százaléka tartalmazott AFB1-et, magasabb koncentrációban az összetett takarmányokban, míg a tejminták 38,3 százaléka tartalmazott AFM1-et. Magasabb AFM1-szintet mutattak ki az összetett takarmányokkal etetett tehenek tejében, és az AFM1-érték magasabb volt tavasszal, mint télen. A takarmány–tej transzfer aránya 3,22 százalék volt, ami egyes esetekben meghaladta az Európai Élelmiszerbiztonsági Hatóság (EFSA) ajánlását (Bervis *et al.* 2021).

2016-ban Koszovó öt régiójának kis tejtermelő gazdaságaiból 192 tejmintát teszteltek AFM1-szennyeződésre. Az elemzés kimutatta, hogy a minták 38 százaléka szennyezett volt, 5,7 százalékuk pedig meghaladta az EU megengedett határértékét. Az AFM1 szintje nem változott jelentősen a nyári és a téli időszak között, de a szennyezettségi arányok régióként eltérőek voltak (7–53 százalék) (Camaj *et al.* 2018).

Fusarium mikotoxinok

A zearalenon (ZEN) mikotoxin gyakran megtalálható a gabonafélékben és az állati termékekben, beleértve a tejet és a tojást is (Meucci *et al.* 2011). Egy olaszországi tanulmány 185 tehéntejalapú anyatej-helyettesítő tápszert vizsgált a ZEN-re és metabolitjaira. A minták 9 százalékában találtak ZEN-t, 26 százalékában α -zearalenolt, 28 százalékban pedig β -zearalenolt mutattak ki (Meucci *et al.* 2011). Egy másik tanulmány a tehenek biológiai folyadékaiban lévő ZEN metabolitokat vizsgálta. A ZEN-szennyezett takarmánnyal történő etetés során a szérumban lévő alfa-zearalenol 92 százalékkal, a tej ZEN-szintje pedig 35 százalékkal emelkedett. Két hét mikotoxinmentes takarmány után a tejben csökkent a ZEN-szint, de továbbra is fennmaradt (Falkauskas *et al.* 2022). Izzo és szerzőtársai feltörekvő mikotoxinokat, például ZEN-t, fusarenon-X-et és enniatinokat találtak az anyatej-helyettesítő tápszerekben. A minták 55,5 százalékában mutattak ki ZEN-t (Izzo *et al.* 2022b).

Ochratoxinok

Az ochratoxint (OTA) a tehéntejminták 93,33 százalékában mutatták ki (Cuciureanu et al. 2021). Meucci és szerzőtársai AFM1-et és OTA-t találtak az anyatej-helyettesítő tápszerek mintáiban (Meucci et al. 2010).

A sajtgyártás a mikotoxin-szennyeződés potenciális forrása, amely közvetlenül és közvetve is előfordulhat a feldolgozás során. Bizonyos sajttípusok – például a Gorgonzola, a Camembert és a Roquefort – készítésekor penészgombákra támaszkodnak az íz és a textúra kialakításában. Ugyanakkor az érés során a nem kívánt penészgombák olyan mikotoxinokkal szennyezhetnek, mint az OTA, a penitrem A, a roquefortin C vagy a szterigmatocisztin. Különös aggodalomra adnak okot az olyan gombafajok, mint az *Aspergillus westerdijkiae* és a *Penicillium nordicum*, mivel képesek OTA-t termelni, amely erősen rákkeltő anyag (Anelli et al. 2024). Az OTA-szennyeződés elsődleges útja a környezeti kereszt-szennyeződés, különösen a szárazon pácolt élelmiszerekben és a sózott sajtokban, ahol a *Penicillium nordicum* a legjellemzőbb OTA-termelő penész (Anelli et al. 2024).

A sajtban a mikotoxinok termelését befolyásoló tényezőket egy olyan tanulmányban tárták fel, amely az *Aspergillus versicolor* és a *Penicillium* fajok növekedését és mikotoxin-termelését vizsgálta különböző hőmérsékleti és vízaktivitási körülmények között. A mikotoxin-termelés 15–25 °C-on és 0,96–0,99 vízaktivitásnál tetőzött, ami általában a sajterlelés során fordul elő. Míg az alacsonyabb vízaktivitás (<0,93) csökkentheti a mikotoxin-termelést, a hosszabb érés továbbra is szennyeződésvesztést jelent (Camardo Leggieri et al. 2016). Decontardi és szerzőtársai *Penicillium crustosum*, *Penicillium solitum* és *Penicillium citrinum* szennyező anyagokat és OTA-t találtak az Észak-Olaszországban elemzett összes vizsgált grana sajtmintában (1–1432 µg/kg) (Decontardi et al. 2017). Bár az OTA-termeléssel kapcsolatos gombafajok jellemzően nem voltak jelen, a tanulmány rávilágított a mikotoxinok potenciális kockázatára a sajtgyártásban. Anelli és szerzőtársai Dél-Olaszországban speciális, hagyományos kézműves, barlangban érlelt sajtok gombapopulációit tanulmányozták; azonosították az *Aspergillus* fajokat, és OTA-szennyeződést találtak a sajtok héjában (Anelli et al. 2018, 2019). Az északnyugat-spanyolországi félkemény sajtok gombafajainak azonosításáról szóló tanulmány különféle *Penicillium* fajok jelenlétét tárta fel (pl. *Penicillium commune*, *P. solitum*, *Penicillium chrysogenum*, *Penicillium expansum*), amelyek mikotoxinokat, például ciklopiazonsavat, OTA-t és patulint termelnek (Ramos-Pereira et al. 2019). A barlangi sajtok további kutatásai az OTA jelenlétét vizsgálták, és következtetlenn szennyeződést tártak fel. Egyes sajtok OTA-t tartalmaztak az ochratoxigén gombák hiánya ellenére – valószínűleg az egyenetlen penészeloszlás vagy a környezeti tényezők, például a hőmérséklet és a páratartalom miatt. Érdekes módon az érési idő nem mindig volt megbízható mutatója az OTA-szintnek, ami arra

utal, hogy a gombák aktivitása és növekedési körülményei jelentősebb szerepet játszanak a szennyeződés mértékében (Anelli et al. 2019).

Coton és szerzőtársai célja a citrinin és az OTA mikotoxinok kioldódásának és felhalmozódásának értékelése volt *Penicillium verrucosum* citrinin- és OTA-termelő törzzsel mesterségesen beoltott francia félkemény Comté sajtban (Coton et al. 2019). A legmagasabb toxinkoncentrációt a sajt felső részén találták, akár 1,6 cm mélységben is kimutatható szinttel. A tanulmány arra a következtetésre jutott, hogy a csak fehérpenész bevonatú sajt felületének levágása elfogadható megoldás. Ennek ellenére, ha kék penész van jelen (gombasporulációra utal), a sajtot el kell távolítani a feltételezett mikotoxin-felhalmozódás miatt. Egy további olaszországi tanulmány nyolcvannégy sajtmintát elemzett OTA-szennyeződés szempontjából, és hét reszelt kemény sajtban talált OTA-t, amelyek szintje 1,3–22,4 µg/kg között mozgott. Ezzel szemben más sajttípusokban nem találtak szennyeződést. A tanulmány azt sugallja, hogy a reszelt kemény sajtok, különösen a tehéntejből készültek, érzékenyebbek az OTA-szennyeződésre a héj gombásodása miatt (Altafini et al. 2021). Delfino és szerzőtársai alacsony OTA-szintet találtak a sajt- és sertéstermékekben, amihez egy folyadékkromatográfia-tandem tömegspektrometriás módszert validáltak (Delfino et al. 2022). A hosszú érésű grana sajtokon, például a Parmigiano Reggionán végzett vizsgálat megállapította, hogy a száz-hét reszelsajt-minta 48,6 százaléka OTA-val, 94,4 százaléka pedig szterigmatocisztinnel (aflatoxin-bioszintézis prekursor) volt szennyezett. A szennyeződés elsősorban a raktárban történő érlelési folyamathoz kapcsolódott, és a környezeti tényezők – például a hőmérséklet, a páratartalom és a légáramlás – játszottak benne döntő szerepet, nem pedig a közvetlenül a nyers tejből származó szennyeződés. Érdekes módon minden OTA-val szennyezett minta szterigmatocisztint is tartalmazott (Pietri et al. 2022).

Feltörekvő mikotoxinok

A penészes Civil peyniri sajtról (juhtejből, tehéntejből, kecsketejből és ezek kombinációjából készült török pácolt sajt) szóló tanulmány 165 *Penicillium roqueforti* törzset azonosított, amelyek közül csak huszonnyolc nem termelt penicillinsavat, *P. roqueforti* toxint vagy roquefortint, rámutatva ezzel a toxintermelés változékonyságára (Cakmakci et al. 2012). Egy másik kutatás szerint ezek a penészgombák olyan mikotoxinokat termeltek, mint a roquefortin C, a penicillinsav vagy a patulin. A toxinszint 0,4–47,0 mg/kg között mozgott, de legfeljebb 70,1 mg/kg volt (Cakmakci et al. 2015).

A *Fusarium* fajok által termelt enniatinok világszerte gyakran megtalálhatók a gabonafélékben, az állati takarmányokban és az élelmiszerekben. Európában az ENNB a legtöbbet tanulmányozott *Fusarium* faj (Izzo et al. 2022b). Egy tanulmány húsz nyers juhtejmintát vizsgált;

a hús mintából tizenhétben mutatták ki az ENNB-t (5,5–12,1 ng/kg) (Piatkowska et al. 2018). A harmincegy nyerstej-mintán alkalmazott multianalitos módszer olyan feltörekvő mikotoxinokat mutatott ki, mint a T-2 toxin, a roquefortin C, az ENN vagy a beauvericin (BEA). A BEA-t huszonnyolc mintában találták meg, és először mutattak ki tehéntejben T-2 és roquefortin C mikotoxinokat (González-Jartín et al. 2021).

Rocchetti és szerzőtársai olyan gazdaságokból származó ömlesztett tejmintákat elemeztek, ahol a kukoricaszilázs volt az elsődleges takarmányforrás (Rocchetti et al. 2021a). Így negyvenhat mikotoxint azonosítottak, amelyek koncentrációja a biztonsági küszöb alatt maradt, vagyis nem utalt azonnali egészségügyi kockázatra. A figyelemre méltó mikotoxinok közé tartozott az α -zearalenol, a mikofenolsav, a tentoxin és az apicidin. Más esetben a tejmintákban az ENNB-t a minták 22,2 százalékában (0,552–0,626 ng/ml), az ENNA1-et pedig 5,5 százalékukban (0,903 ng/ml) mutatták ki (Izzo et al. 2022b). Lengyelországban összesen 103 tejmintát gyűjtöttek (76 nyers tejet és 27 UHT tejet). A nyerstej-minták 41 százaléka ENNB-vel, 20 százalékuk pedig BEA-val volt szennyezett; a legmagasabb BEA-koncentráció 6,17 $\mu\text{g/kg}$ volt. Az UHT tejek esetében a minták 59 százaléka tartalmazott ENNB-t, míg 33 százalékuk BEA-t (0,1–1,93 $\mu\text{g/kg}$) (Pietruszka et al. 2023). Egy tanulmány huszonhárom mikotoxint elemzett portugál tejtermelő gazdaságokból származó nyers szarvasmarhatejben, és megállapította, hogy a feltörekvő mikotoxinok, például a BEA és az ENNB a leggyakrabban kimutathatók. A BEA a minták 100 százalékában jelen volt. Ezzel szemben aflatoxinokat, köztük AFM1-et nem mutattak ki (Leite et al. 2023a).

Rodríguez-Cañás és szerzőtársai UHPLC-MS/MS módszerrel magas feltörekvő mikotoxin (BEA és ENN) előfordulást mutattak ki a sajtmintákban (Rodríguez-Cañás et al. 2023). Nemrégiben egy tanulmány elemezte a mikotoxinok jelenlétét a természetes joghurtokban és a zabjoghurtokban ugyanezzel a technikával. Az elemzés a BEA, az ENN és az alternariol metil-éter magas előfordulását mutatta ki, illetve fumonizineket, OTA-t és HT-2 toxint is kimutattak (Rodríguez-Cañás et al. 2024).

Míg az AFM1-et nem mutatták ki tejtartalmú bébitelekben, a minták 69,41 százalékában egyéb mikotoxinok jelen voltak; a szterigmatocisztin és a HT-2 toxin volt a leggyakoribb (Er Demirhan–Demirhan 2021).

A tejtermékekben található mikotoxinok forrásai

Egy takarmányszennyezéssel kapcsolatos kutatás kiemelte, hogy minden minta legalább két mikotoxinnal szennyezett, beleértve a fumonizineket, a ZEN-t és az OTA-t. A kukoricaliszt mutatta a legnagyobb szennyeződést: tizenhárom mikotoxint azonosítottak, köztük AFB1, DON és FB1 toxinokat (Viegas et al. 2020). A kutatások szerint bizonyos takarmány-alapanyagok,

például a kukorica, a gyapot és a magas nedvességtartalmú kukorica hajlamosabbak az aflatoxinokkal való szennyeződésre (Ferrari et al. 2023; Kos et al. 2024; Rocchetti et al. 2021a). Hasonlóképpen, egy huszonöt portugáliai tejtermelő gazdaság kukorica- és fűszilázsán végzett vizsgálat széles körű gombás szennyeződést tárt fel (*Aspergillus fumigatus*, *Penicillium paneum* és *Aspergillus flavus*), emellett különösen a *Fusarium* fajok által termelt mikotoxinokat (DON, BEA) (González-Jartín et al. 2022). Egy másik tanulmány szerint a kukoricaminták 78 százaléka aflatoxinokkal, főként AFB1-gyel volt szennyezett (Kos et al. 2024). Az AFB1/AFM1 átviteli arány 0,6–6 százalék között mozgott (Bervis et al. 2021; Rodríguez-Blanco et al. 2020). A kukoricaszilázs, a szójababhéj és a gyapotmag jelentős AFB1-források voltak a teljes takarmánykeverékekben (Rodríguez-Blanco et al. 2020).

Az enniatin B (ENNB) minden szárított, oldható anyagot tartalmazó lepárolt gabonatermékben (DDGS) jelen volt. Kockázatértékeléseket végeztek az említett szennyező anyagok húsba és tejbe történő esetleges átvitelének vizsgálatára, a takarmány 15–20 százalékát kitevő melléktermékek teljes felszívódását és magas expozícióját feltételezve (Mortensen et al. 2014). Más tanulmányok szerint a fumonizinek, az ENNB és a BEA a kukoricaszilázsban, a kukoricalisztban és a teljes értékű takarmányban mutatták a legmagasabb értékeket (a minták 100 százaléka pozitív volt). Az elemzett tejtermelő telepeken az AFB2, az ENNB, a tentoxin és a ZEA is jelen voltak (Leite et al. 2024).

Következtetések

Tanulmányunk feltárta, hogy Európa-szerte különböző szintű kutatások folytak a mikotoxinokkal, különösen a tejben található aflatoxin M1-gyel kapcsolatban. Olaszország vezető szerepet tölt be a kutatásokban; az olaszokat olyan országok követik, mint Törökország és Spanyolország, valószínűleg mezőgazdasági gyakorlatuk és tejiparuk miatt. A más európai országokban megfigyelt egyenlőtlenségek rávilágítanak, hogy fokozni kell az aflatoxin M1-gyel kapcsolatos kutatásokat, különösen azokban a régiókban, ahol mérsékelt a tudományos aktivitás.

Az európai országokban végzett vizsgálatok összesített eredményei rávilágítanak a tejtermékek mikotoxin-szennyeződésének folyamatos és sokrétű kockázataira. A legfontosabb hozzájáruló tényezők közé tartoznak az éghajlatváltozás, a környezeti feltételek és a takarmány-gazdálkodási gyakorlatok, amelyek mindegyike befolyásolja a mikotoxinok előfordulását a tejtermelő gazdaságokban. A kisgyermekesek továbbra is a legveszélyeztetettebb demográfiai csoportot képviselik magasabb tejfogyasztásuk és fiziológiai sebezhetőségük miatt.

Míg az AFM1-szennyeződés általában a szabályozási határértékeken belül marad, jelenléte az újonnan megjelenő mikotoxinokkal – például a BEA-val és az ENN-ekkel – együtt rávilágít a kiterjesztett és folyamatos ellen-

őrzés szükségességére. Különös aggodalomra ad okot a reszelt kemény sajtok, főként a tehéntejből készült sajtok szennyezettsége a sajtéjhoz kapcsolódó OTA-szennyeződés megnövekedett kockázata miatt. Ezek az eredmények szigorúbb szabályozást igényelnek a reszelt termékekben való sajtke-reghasználatra és a kockázatkezelés javítására vonatkozóan.

A sajtgyártás során a fokozott környezeti ellenőrzések, a fejlett észlelési technológiák és az éghajlattudatos AFB1 felügyeleti programok elengedhetetlenek a mikotoxin-kockázatok hatékony csökkentéséhez. Az európai tejtermelő gazdaságokban a mikotoxinok ellenőrzésének legjobb gyakorlatai közé tartoznak a szigorú nyomon követés, az innovatív kimutatási technológiák és a hatékony mérséklési stratégiák. Az olyan fejlesztések, mint az ELISA kitek, a bioszenzorok és az LC-MS/MS javítják a kimutatást, míg a takarmány-adalékanyagok, a természetes kiegészítők és a probiotikumok segítenek csökkenteni a szennyeződést. Ezek az integrált megközelítések javítják a tejbiztonságot, biztosítják a szabályozási megfelelést, és védik a közegészséget.

A jövőbeli vizsgálatoknak prioritásként kell kezelniük a módosított vagy metabolizált mikotoxinok biológiai rendszerekre gyakorolt hatásainak megértését, különösen a veszélyeztetett populációkban, például a csecsemőknél és cöliákiában szenvedő egyéneknél. Összességében a szabályozást, az innovációt és az interdiszciplináris kutatást magában foglaló proaktív és integrált megközelítés kritikus fontosságú a tejtermékek biztonságának garantálása és a közegészség védelme érdekében Európa-szerte és azon kívül is.

Köszönetnyilvánítás

A tanulmány a Stipendium Hungaricum ösztöndíj támogatásával valósult meg (V. R. S.).

Irodalomjegyzék

- Altafini, A., Roncada, P., Guerrini, A., Minkoumba Sonfack, G., Fedrizzi, G. & Caprai, E. (2021) Occurrence of Ochratoxin A in Different Types of Cheese Offered for Sale in Italy. *Toxins*, Vol. 13. No. 8. 540. <https://doi.org/10.3390/toxins13080540>
- Altafini, A., Tassinari, M., Guerrini, A. & Roncada, P. (2020) Occurrence of aflatoxin M1 (AFM1) in donkey milk collected in northern Italy. *Veterinary Sciences*, Vol. 7. No. 4. 176. <https://doi.org/10.3390/vetsci7040176>
- Anelli, P., Dall'Asta, C., Cozzi, G., Epifani, F., Carella, D., Scarpetta, D., Brasca, M., Moretti, A. & Susca, A. (2024) Analysis of composition and molecular characterization of mycobiota occurring on surface of cheese ripened in Dossena's mine. *Food Microbiology*, Vol. 123. Paper No. 104587. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2024.104587>
- Anelli, P., Haidukowski, M., Epifani, F., Cimmarusti, M. T., Moretti, A., Logrieco, A. & Susca, A. (2019) Fungal mycobiota and mycotoxin risk for traditional artisan Italian cave cheese. *Food Microbiology*, Vol. 78. pp. 62–72. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2018.09.014>
- Anelli, P., Peterson, S. W., Haidukowski, M., Logrieco, A. F., Moretti, A., Epifani, F. & Susca, A. (2018) *Penicillium graminicasei*, a new species isolated from cave cheese in Apulia, Italy. *International Journal of Food Microbiology*, Vol. 282. pp. 66–70. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.06.006>
- Aran, G. C. & Bayrac, C. (2023) Simultaneous dual-sensing platform based on aptamer-functionalized DNA hydrogels for visual and fluorescence detection of chloramphenicol and aflatoxin M1. *Bioconjugate Chemistry*, Vol. 34. No. 5. pp. 922–933. <https://doi.org/10.1021/acs.bioconjchem.3c00130>
- Armorini, S., Altafini, A., Zaghini, A. & Roncada, P. (2016) Occurrence of aflatoxin M1 in conventional and organic milk offered for sale in Italy. *Mycotoxin Research*, Vol. 32. No. 4. pp. 237–246. <https://doi.org/10.1007/s12550-016-0256-8>
- Bellio, A., Bianchi, D., Gramaglia, M., Loria, A., Nucera, D., Gallina, S., Gili, M. & Decastelli, L. (2016) Aflatoxin M1 in Cow's Milk: Method Validation for Milk Sampled in Northern Italy. *Toxins*, Vol. 8. No. 3. 57. <https://doi.org/10.3390/toxins8030057>
- Bervis, N., Lorán, S., Juan, T., Carramiñana, J. J., Herrera, A., Ariño, A. & Herrera, M. (2021) Field Monitoring of Aflatoxins in Feed and Milk of High-Yielding Dairy Cows under Two Feeding Systems. *Toxins*, Vol. 13. No. 3. 201. <https://doi.org/10.3390/toxins13030201>
- Bessaire, T., Mujahid, C., Mottier, P. & Desmarchelier, A. (2019) Multiple mycotoxins determination in food by LC-MS/MS: An international collaborative study. *Toxins*, Vol. 11. No. 11. 658. <https://doi.org/10.3390/toxins11110658>
- Cakmakci, S., Cetin, B., Gurses, M., Dagdemir, E. & Hayaloglu, A. A. (2012) Morphological, Molecular, and Mycotoxinogenic Identification of Dominant Filamentous Fungi from Moldy Civil Cheese. *Journal of Food Protection*, Vol. 75. No. 11. pp. 2045–2049. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-12-107>
- Cakmakci, S., Gurses, M., Hayaloglu, A. A., Cetin, B., Sekerci, P. & Dagdemir, E. (2015) Mycotoxin production capability of *Penicillium roqueforti* in strains isolated from mould-ripened traditional Turkish civil cheese. *Food Additives & Contaminants: Part A*, Vol. 32. No. 2. pp. 245–249. <https://doi.org/10.1080/19440049.2014.997808>
- Camaj, A., Meyer, K., Berisha, B., Arbnesi, T. & Haziri, A. (2018) Aflatoxin M1 contamination of raw cow's milk in five regions of Kosovo during 2016. *Mycotoxin Research*, Vol. 34. No. 3. pp. 205–209. <https://doi.org/10.1007/s12550-018-0315-4>
- Camardo Leggieri, M., Decontardi, S., Bertuzzi, T., Pietri, A. & Battilani, P. (2016) Modeling Growth and Toxin Production of Toxinogenic Fungi Signaled in Cheese under Different Temperature and Water Activity Regimes. *Toxins*, Vol. 9. No. 1. 4. <https://doi.org/10.3390/toxins9010004>
- Cammilleri, G., Graci, S., Collura, R., Buscemi, M. D., Vella, A., Macaluso, A., Giaccone, V., Giangrosso, G., Cicero, A., Lo Dico, G. M., Pulvirenti, A., Cicero, N. & Ferrantelli, V. (2019) Aflatoxin M1 in cow, sheep, and donkey milk produced in Sicily, Southern Italy. *Mycotoxin Research*, Vol. 35. No. 1. pp. 47–53. <https://doi.org/10.1007/s12550-018-0329-y>
- Campono, L., Piccinelli, A. L., Celano, R., Pagano, I., Di Sanzo, R., Carabetta, S., Russo, M. & Rastrelli, L. (2018) Occurrence of aflatoxin M1 in milk samples from Italy analysed by online-SPE UH-PLC-MS/MS. *Natural Product Research*, Vol. 32. No. 15. pp. 1803–1808. <https://doi.org/10.1080/14786419.2017.1402327>
- Cano-Sancho, G., Marin, S., Ramos, A. J., Peris-Vicente, J. & Sanchis, V. (2010) Occurrence of aflatoxin M1 and exposure assessment in Catalonia (Spain). *Revista Iberoamericana de Micología*, Vol. 27. No. 3. pp. 130–135. <https://doi.org/10.1016/j.riam.2010.05.003>
- Coton, M., Auffret, A., Poirier, E., Debaets, S., Coton, E., & Dantigny, P. (2019) Production and migration of ochratoxin A and citrinin in Comté cheese by an isolate of *Penicillium verrucosum* selected among *Penicillium* spp. *Mycotoxin producers in YES medium*. *Food Microbiology*, 82, 551–559. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2019.03.026>

- Cuciureanu, M., Tuchiluş, C., Vartolomei, A., Tamba, B. I. & Filip, L. (2021) An Immunoenzymatic Method for the Determination of Ochratoxin A in Biological Liquids (Colostrum and Cow's Milk). *Toxins*, Vol. 13. No. 10. 673. <https://doi.org/10.3390/toxins13100673>
- Decontardi, S., Mauro, A., Lima, N. & Battilani, P. (2017) Survey of *Penicillia* associated with Italian grana cheese. *International Journal of Food Microbiology*, Vol. 246. pp. 25–31. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2017.01.019>
- Delfino, D., Lucchetti, D., Mauti, T., Mancuso, M., Di Giustino, P., Triolone, D., Vaccari, S., Bonanni, R. C., Neri, B. & Russo, K. (2022) Investigation of ochratoxin A in commercial cheeses and pork meat products by liquid chromatography–tandem mass spectrometry. *Journal of Food Science*, Vol. 87. No. 10. pp. 4465–4475. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16326>
- Eker, F.Y., Muratoglu, K. & Eser, A.G. (2019) Detection of aflatoxin M1 in milk and milk products in Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191, pp.1–8. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7668-9>
- Er Demirhan, B. & Demirhan, B. (2021) The Investigation of Mycotoxins and Enterobacteriaceae of Cereal-Based Baby Foods Marketed in Turkey. *Foods*, Vol. 10. No. 12. 3040. <https://doi.org/10.3390/foods10123040>
- Ertas Onmaz, N., Gungor, C., Al, S., Dishan, A., Hizlisoy, H., Yildirim, Y., Kasap Tekinsen, F., Disli, H. B., Barel, M. & Karadal, F. (2021) Mycotoxigenic and phylogenetic perspective to the yeasts and filamentous moulds in mould-matured Turkish cheese. *International Journal of Food Microbiology*, Vol. 357. 109385. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109385>
- Falkauskas, R., Bakutis, B., Jovaišienė, J., Vaičiulienė, G., Gerulis, G., Kerzienė, S., Jacevičienė, I., Jacevičius, E. & Baliukonienė, V. (2022) Zearalenone and its Metabolites in Blood Serum, Urine, and Milk of Dairy Cows. *Animals*, Vol. 12. No. 13. 1651. <https://doi.org/10.3390/ani12131651>
- Ferrari, L., Rizzi, N., Grandi, E., Clerici, E., Tirloni, E., Stella, S., Bernardi, C. E. M. & Pinotti, L. (2023) Compliance between Food and Feed Safety: Eight-Year Survey (2013–2021) of Aflatoxin M1 in Raw Milk and Aflatoxin B1 in Feed in Northern Italy. *Toxins*, Vol. 15. No. 3. 168. <https://doi.org/10.3390/toxins15030168>
- González-Jartín, J. M., Ferreira, V., Rodríguez-Cañas, I., Alfonso, A., Sainz, M. J., Aguín, O., Vieytes, M. R., Gomes, A., Ramos, I. & Botana, L. M. (2022) Occurrence of mycotoxins and mycotoxigenic fungi in silage from the north of Portugal at feed-out. *International Journal of Food Microbiology*, Vol. 365. 109556. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109556>
- González-Sálamo, J., Socas-Rodríguez, B., Hernández-Borges, J. & Rodríguez-Delgado, M. Á. (2017) Core-shell poly(dopamine) magnetic nanoparticles for the extraction of estrogenic mycotoxins from milk and yogurt prior to LC–MS analysis. *Food Chemistry*, Vol. 215. pp. 362–368. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.154>
- Izzo, L., Mikušová, P., Lombardi, S., Sulyok, M. & Ritieni, A. (2022a) Analysis of Mycotoxin and Secondary Metabolites in Commercial and Traditional Slovak Cheese Samples. *Toxins*, Vol. 14. No. 2. 134. <https://doi.org/10.3390/toxins14020134>
- Izzo, L., Narváez, A., Castaldo, L., Gaspari, A., Rodríguez-Carrasco, Y., Grosso, M. & Ritieni, A. (2022b) Multiclass and multi-residue screening of mycotoxins, pharmacologically active substances, and pesticides in infant milk formulas through ultra-high-performance liquid chromatography coupled with high-resolution mass spectrometry analysis. *Journal of Dairy Science*, Vol. 105. No. 4. pp. 2948–2962. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21123>
- Izzo, L., Rodríguez-Carrasco, Y., Tolosa, J., Graziani, G., Gaspari, A. & Ritieni, A. (2020) Target analysis and retrospective screening of mycotoxins and pharmacologically active substances in milk using an ultra-high-performance liquid chromatography/high-resolution mass spectrometry approach. *Journal of Dairy Science*, Vol. 103. No. 2. pp. 1250–1260. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17277>
- Kara, R. & Ince, S. (2014) Aflatoxin M1 in buffalo and cow milk in Afyonkarahisar, Turkey. *Food Additives & Contaminants: Part B*, Vol. 7. No. 1. pp. 7–10. <https://doi.org/10.1080/19393210.2013.825646>
- Kos, J., Radić, B., Radović, R., Šarić, B., Jovanov, P. & Šarić, L. (2024) Aflatoxins in maize, milk and dairy products from Serbia. *Food Additives & Contaminants: Part B, Surveillance*, Vol. 17. No. 4. pp. 296–307. <https://doi.org/10.1080/19393210.2024.2335656>
- Leite, M., Freitas, A., Barbosa, J. & Ramos, F. (2023a) Mycotoxins in Raw Bovine Milk: UHPLC-QTrap-MS/MS Method as a Biosafety Control Tool. *Toxins*, Vol. 15. No. 3. 173. <https://doi.org/10.3390/toxins15030173>
- Leite, M., Freitas, A., Barbosa, J. & Ramos, F. (2023b) Regulated and emerging mycotoxins in bulk raw milk: What is the human risk? *Toxins*, Vol. 15. No. 10. 605. <https://doi.org/10.3390/toxins15100605>
- Leite, M., Freitas, A., Barbosa, J. & Ramos, F. (2024) Mycotoxins in Portuguese Agricultural Maize Fields and Dairy Farms. *Toxins*, Vol. 16. No. 8. 335. <https://doi.org/10.3390/toxins16080335>
- Malissiova, E., Soultani, G., Tsokana, K., Alexandraki, M. & Manouras, A. (2022) Exposure assessment on aflatoxin M1 from milk and dairy products-relation to public health. *Clinical Nutrition ESPEN*, Vol. 47. pp. 189–193. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2021.12.017>
- Messina, L., Licata, P., Bruno, F., Litrenta, F., Costa, G. L., Ferrantelli, V., Peycheva, K., Panayotova, V., Fazio, F., Bruschetta, G., Tabbì, M. & Nava, V. (2024) Occurrence and health risk assessment of mineral composition and aflatoxin M1 in cow milk samples from different areas of Sicily, Italy. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, Vol. 85. 127478. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2024.127478>
- Meucci, V., Razzuoli, E., Soldani, G. & Massart, F. (2010) Mycotoxin detection in infant formula milks in Italy. *Food Additives & Contaminants: Part A*, Vol. 27. No. 1. pp. 64–71. <https://doi.org/10.1080/02652030903207201>
- Meucci, V., Soldani, G., Razzuoli, E., Saggese, G. & Massart, F. (2011) Mycoestrogen Pollution of Italian Infant Food. *The Journal of Pediatrics*, Vol. 159. No. 2. pp. 278–283.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2011.01.028>
- Miličević, D. R., Milešević, J., Gurinović, M., Janković, S., Đinović-Stojanović, J., Zeković, M. & Glibetić, M. (2021) Dietary Exposure and Risk Assessment of Aflatoxin M1 for Children Aged 1 to 9 Years Old in Serbia. *Nutrients*, Vol. 13. No. 12. 4450. <https://doi.org/10.3390/nut13124450>
- Miocinovic, J., Keskic, T., Miloradovic, Z., Kos, A., Tomasevic, I. & Pudja, P. (2017) The Aflatoxin M1 crisis in the Serbian dairy sector: The year after. *Food Additives & Contaminants: Part B, Surveillance*, Vol. 10. No. 1. pp. 1–4. <https://doi.org/10.1080/19393210.2016.1210243>
- Mortensen, A., Granby, K., Eriksen, F. D., Cederberg, T. L., Friis-Wandall, S., Simonsen, Y., Broesbøl-Jensen, B. & Bonnichsen, R. (2014) Levels and risk assessment of chemical contaminants in by-products for animal feed in Denmark. *Journal of Environmental Science and Health. Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, Vol. 49. No. 11. pp. 797–810. <https://doi.org/10.1080/03601234.2014.938546>
- Özçam, M., Obuz, E. & Tosun, H. (2014) Aflatoxin M1 in Tarhana chips. *Food Additives & Contaminants: Part B*, Vol. 7. No. 3. pp. 182–185. <https://doi.org/10.1080/19393210.2013.874373>
- Pecorelli, I., Branciar, R., Roila, R., Bibi, R., Ranucci, D., Onofri, A. & Valiani, A. (2019) Evaluation of Aflatoxin M1 Enrichment Factor in Semihard Cow's Milk Cheese and Correlation with Cheese Yield. *Journal of Food Protection*, Vol. 82. No. 7. pp. 1176–1182. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-19-023>
- Piątkowska, M., Sulyok, M., Pietruszka, K. & Panasiuk, Ł. (2018) Pilot Study for the Presence of Fungal Metabolites in Sheep Milk

- from First Spring Milking. *Journal of Veterinary Research*, Vol. 62. No. 2. pp. 167–172. <https://doi.org/10.2478/jvetres-2018-0026>
- Pietri, A., Leni, G., Mulazzi, A. & Bertuzzi, T. (2022) Ochratoxin A and Sterigmatocystin in Long-Ripened Grana Cheese: Occurrence, Wheel Rind Contamination and Effectiveness of Cleaning Techniques on Grated Products. *Toxins*, Vol. 14. No. 5. 306. <https://doi.org/10.3390/toxins14050306>
- Pietruszka, K., Panasiuk, Ł. & Jedziniak, P. (2023) Survey of the enniatins and beauvericin in raw and UHT cow's milk in Poland. *Journal of Veterinary Research*, Vol. 67. No. 2. pp. 259–266. <https://doi.org/10.2478/jvetres-2023-0021>
- Ramos-Pereira, J., Mareze, J., Patrino, E., Santos, J. A. & López-Díaz, T.-M. (2019) Polyphasic identification of *Penicillium* spp. isolated from Spanish semi-hard ripened cheeses. *Food Microbiology*, Vol. 84. Paper No. 103253. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2019.103253>
- Rocchetti, G., Ghilardelli, F., Bonini, P., Lucini, L., Masoero, F. & Gallo, A. (2021a) Changes of Milk Metabolomic Profiles Resulting from a Mycotoxins-Contaminated Corn Silage Intake by Dairy Cows. *Metabolites*, Vol. 11. No. 8. 475. <https://doi.org/10.3390/metabo11080475>
- Rocchetti, G., Ghilardelli, F., Masoero, F. & Gallo, A. (2021b) Screening of Regulated and Emerging Mycotoxins in Bulk Milk Samples by High-Resolution Mass Spectrometry. *Foods*, Vol. 10. No. 9. 2025. <https://doi.org/10.3390/foods10092025>
- Rodríguez-Blanco, M., Ramos, A. J., Prim, M., Sanchis, V. & Marín, S. (2020) Usefulness of the analytical control of aflatoxins in feed-stuffs for dairy cows for the prevention of Aflatoxin M1 in milk. *Mycotoxin Research*, Vol. 36. No. 1. pp. 11–22. <https://doi.org/10.1007/s12550-019-00362-y>
- Rodríguez-Cañás, I., González-Jartín, J. M., Alvarino, R., Alfonso, A., Vieytes, M. R. & Botana, L. M. (2023) Detection of mycotoxins in cheese using an optimized analytical method based on a QuE-ChERS extraction and UHPLC-MS/MS quantification. *Food Chemistry*, Vol. 408. 135182. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135182>
- Rodríguez-Cañás, I., González-Jartín, J. M., Alvarino, R., Alfonso, A., Vieytes, M. R. & Botana, L. M. (2024) Identification of mycotoxins in yogurt samples using an optimized QuEChERS extraction and UHPLC-MS/MS detection. *Mycotoxin Research*, Vol. 40. No. 4. pp. 569–579. <https://doi.org/10.1007/s12550-024-00547-0>
- Rubio, R., Licón, C. C., Berruga, M. I., Molina, M. P. & Molina, A. (2011) Short communication: Occurrence of Aflatoxin M1 in the Manchego cheese supply chain. *Journal of Dairy Science*, Vol. 94. No. 6. pp. 2775–2778. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-4017>
- Sahin, H. Z., Celik, M., Kotay, S., & Kabak, B. (2016) Aflatoxins in dairy cow feed, raw milk and milk products from Turkey. *Food Additives & Contaminants: Part B*, 9(2), 152–158. <https://doi.org/10.1080/19393210.2016.1152599>
- Sahindokuyucu Kocari, F. (2014) Occurrence of Aflatoxin M1 in UHT milk and infant formula samples consumed in Burdur, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 186. pp. 6363–6368. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-3860-0>
- Santini, A., Raiola, A., Ferrantelli, V., Giangrosso, G., Macaluso, A., Bognanno, M., Galvano, F. & Ritieni, A. (2013) Aflatoxin M1 in raw, UHT milk and dairy products in Sicily (Italy). *Food Additives and Contaminants: Part B*, Vol. 6. No. 3. pp. 181–186. <https://doi.org/10.1080/19393210.2013.780186>
- Torović, L. (2015) Aflatoxin M1 in processed milk and infant formulae and corresponding exposure of adult population in Serbia in 2013–2014. *Food Additives & Contaminants: Part B, Surveillance*, Vol. 8. No. 4. pp. 235–244. <https://doi.org/10.1080/19393210.2015.1063094>
- Viegas, S., Assunção, R., Twarużek, M., Kosicki, R., Grajewski, J. & Viegas, C. (2020) Mycotoxins feed contamination in a dairy farm – Potential implications for milk contamination and workers' exposure in a One Health approach. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Vol. 100. No. 3. pp. 1118–1123. <https://doi.org/10.1002/isfa.10120>