

PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR
BIOLÓGIAI INTÉZET

**MIKOTOXINOK ELŐFORDULÁSÁNAK VIZSGÁLATA MAGYARORSZÁGI
KUKORICAMINTÁKBAN**

TDK dolgozat



Témavezető: Dr. Czéh Árpád
tudományos főmunkatárs, tanszékvezető
Dr. Szemethy László Róbert
egyetemi tanár, tanszékvezető

Készítette: Laczkó Anna Orsolya

PÉCS, 2024

Lezárás dátuma: 2024. 10. 03.

Tartalomjegyzék	
I.	Rövidítések jegyzéke4
II.	Absztrakt.....5
III.	Bevezetés és célkitűzés.....6
IV.	Irodalmi áttekintés7
IV. 1.	A klímaváltozás és a mikotoxinok.....7
IV. 2.	A mikotoxinok csoportosítása8
IV. 3.	A mikotoxinokat termelő penészgombák csoportosítása.....9
IV. 3. 1.	Szántóföldi penészek 11
IV. 3. 2.	Raktári penészek 11
IV. 3. 3.	A <i>Fusarium</i> -fajok fontosabb toxinjai 11
IV. 3. 4.	Deoxinivalenol (DON) 11
IV. 3. 5.	T-2 toxin (T-2) 13
IV. 3. 6.	Zearalenon (ZEA) 14
IV. 3. 7.	Fumonizinek..... 16
IV. 4.	<i>Aspergillus</i> -, és <i>Penicillium</i> -fajok fontosabb toxinjai 19
IV. 4. 1.	Aflatoxin..... 19
IV. 4. 2.	Ochratoxinok..... 21
IV. 5.	Határértékek, ajánlati értékek..... 23
IV. 6.	Multimikotoxin hatás 24
V.	Anyagok és módszerek 26
V. 1.	Mintavételezés, mintaelőkészítés 26
V. 1. 1.	Minták 26
V. 1. 2.	Mintavétel..... 26
V. 1. 3.	Mintaelőkészítés..... 26
V. 1. 4.	Mérési módszer..... 27
V. 1. 5.	Statisztikai értékelés..... 28
V. 1. 6.	Adatfeldolgozás módszere 31
VI.	Eredmények 32
VI. 1.	A minták mikotoxin fertőzöttségének megállapítása 32
VI. 2.	A mikotoxinok egymáshoz viszonyított mozgásának vizsgálata 34
VI. 3.	A mikotoxinok előfordulási arányának leírása..... 34
VI. 4.	Az eredmények mikotoxinok szerinti bontásban történő értékelése..... 35
VI. 5.	A mintavételi helyek térképen történő elhelyezése 42
VI. 6.	Az egyes minták veszélyességének értékelése 44
VII.	Eredmények megvitatása 45

VII. 1.	A mérési módszer értékelése	45
VII. 2.	A minták fertőzöttségének magyarázata	45
VII. 3.	A mikotoxinok egymáshoz viszonyított mozgásának magyarázata	46
VII. 4.	A mikotoxinok előfordulási arányának magyarázata.....	46
VII. 5.	Az eredményeket mikotoxinok szerinti bontásban történő értékelése és a mintavételi helyek közötti különbségek magyarázata	47
VII. 6.	Az egyes minták veszélyességének magyarázata.....	48
VIII.	Következtetés	49
IX.	Köszönetnyilvánítás.....	50
X.	Irodalomjegyzék.....	51
X. 1.	Bibliográfikus hivatkozások.....	51
X. 2.	Internetes hivatkozások.....	58
X. 3.	Egyéb hivatkozások	58
XI.	Mellékletek	60

I. Rövidítések jegyzéke

AcDON: acetyl-deoxynivalenol

AFB1: Aflatoxin B1

AFB2: Aflatoxin B2

AFG1: Aflatoxin G1

AFG2: Aflatoxin G2

AFM1: Aflatoxin M1

AFM2: Aflatoxin M2

ALARA: as low as reasonably achievable

DON: deoxynivalenol

FB1: Fumonizin B1

FB2: Fumonizin B2

FB3: Fumonizin B3

LOQ: Limit of quantification

OTA: Ochratoxin-A

ZEA: Zearalenon

II. Absztrakt

A klímaváltozás miatt a penészgombák terjedésére lehet számítani a Kárpát-medencében és egész Európában. Jelen tudásunk szerint a penészgombák több, mint 300 különböző hatású mikotoxint termelnek, amelyek kutatása az élőkre gyakorolt súlyos és káros hatásai miatt rendkívül nagy jelentőséggel bír. Dolgozatom készítése során magyarországi kukoricamintákból határoztam meg a legfontosabb mikotoxinok – úgy, mint aflatoxinok (AFB1, AFB2), ochratoxin-A, deoxinivalenol, T2-toxin, zearalenon, fumonizin B1+B2+B3 – koncentrációját analitikai módszerrel és elemeztem ezen koncentrációértékek határértékekhez való viszonyát. A mérések kivitelezése MycoFossTM módszerrel történt, amely képes az érdeklődésünk tárgyát képező hat mikotoxin egyidejű vizsgálatára. A vizsgált mintákban legalább három mikotoxin jelent meg egyidejűleg, a minták döntő többsége viszont mind a hat mikotoxint tartalmazta. A kapott eredményekből megállapíthattuk, hogy legnagyobb arányban az ochratoxin-A, valamint a fumonizin B1+B2+B3 fordult elő az élelmezési határértéket meghaladó mennyiségben. Ezen eredmények fényében a multimikotoxinok együttes hatásának veszélyéről beszélhetünk, mivel a klímaváltozás olyan penészgombafajok szaporodását teszi lehetővé, amelyek eddig nem, vagy csak kisebb mértékben voltak jellemzőek hazánkra. A mikotoxin szennyezés így egyre nagyobb méreteket ölt, ezért a jelenség jövőbeli vizsgálata egyre fontosabbá válik. Mindezek miatt olyan vizsgálati módszerek fejlesztése és alkalmazása válik szükségessé, amelyek képesek a multimikotoxin hatás detektálására és monitorozására.

III. Bevezetés és célkitűzés

A nagyarányú erdőirtás, a fosszilis tüzelőanyagok elégetése és az egyéb emberi tevékenység okozta klímaváltozásra már évtizedekkel ezelőtt felfigyeltek. A klímaváltozás miatt a penészgombák terjedésére lehet számítani a Kárpát-medencében és egész Európában. Ez a változás következményekkel jár az élelmiszerbiztonságra nézve: az időjárási viszonyok mellett megváltozik a penészgombák által termelt mikotoxinok előfordulási gyakorisága is, nagyobb mértékben szennyezhetik az ételmezési-, illetve takarmányozási célra szánt alapanyagokat (Paterson & Lima, 2010). A penészgombák növekedésük során az elsődleges anyagcseretermékek mellett másodlagos anyagcseretermékeként termelhetnek hasznos (pl.: antibiotikumok), illetve káros vegyületeket is (Kormos, 2003). Ezeket a káros vegyületeket nevezzük mikotoxinoknak. A mikotoxinok a természetben keletkező, legerősebb mérgező hatású vegyületekként tarthatók számon. A téma jelentőségét igazolja, hogy a mikotoxinok komoly gazdasági károkat okoznak a növénytermesztésben, illetve az állattenyésztésben egyaránt, mivel károsítják mind a növényi, mind az állati szervezeteket és általuk az emberi szervezetet is. Káros hatásuk révén csökken a termés mennyisége, annak minőségében is romlás következik be. A mikotoxinok által fertőzött takarmány problémákat okoz a haszonállatok fejlődésében, szaporodásában, valamint az állatok egészségi állapotára is negatív hatást gyakorol. Emberi fogyasztás esetén súlyos akut mérgezéseket, valamint egészségkárosodást eredményezhetnek. Káros hatásaik miatt rendkívül nagy figyelmet kell tulajdonítanunk nekik. Az elmúlt évtizedekben az élelmiszerbiztonság szerencsére egyre hangsúlyosabbá vált, megerősítése továbbra is fontos szerepet kap a nemzeti és nemzetközi intézkedések során. Ezt tükrözi, hogy az Európai Unió, valamint hazánk is kiemelt figyelmet fordít a mikotoxinok szigorú szabályozására, valamint előfordulásuk monitorozására (Szeitzné, 2007, 2009).

Dolgozatom készítése során célom volt:

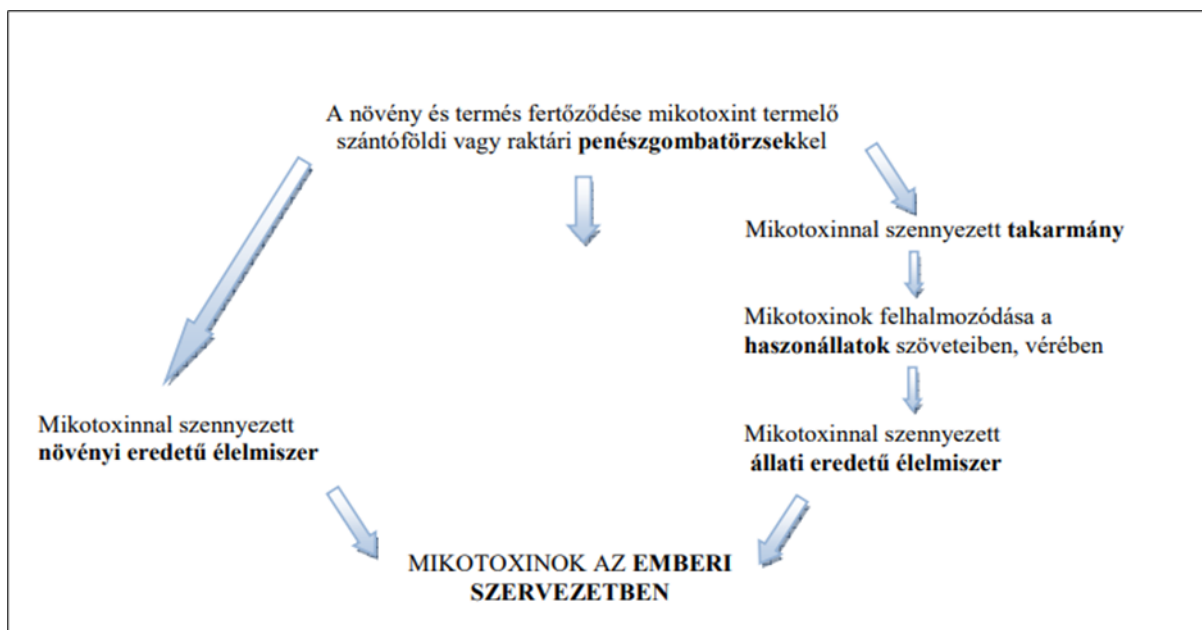
- a fontosabb mikotoxinok hatásainak bemutatása,
- az ország különböző területeiről származó kukoricaminták mikotoxinkoncentrációjának megállapítása,
- a mikotoxinok országon belüli megjelenésének vizsgálata és térképezése,
- az esetleges multimikotoxin hatás felderítése.

IV. Irodalmi áttekintés

IV. 1. A klímaváltozás és a mikotoxinok

A klímaváltozás miatt a penészgombák terjedésére lehet számítani a Kárpát-medencében és egész Európában. Egyes penészgombák másodlagos anyagcseretermékként antibiotikumokat, míg mások mérgeanyagokat termelnek, melyeket mikotoxinoknak nevezünk. A nagyarányú erdőirtás, a fosszilis tüzelőanyagok elégetése és az egyéb emberi tevékenység okozta klímaváltozásra már évtizedekkel ezelőtt felfigyeltek (Paterson & Lima, 2010). A klíma kulcsfontosságú tényező a gombák kolonizációja és a mikotoxintermelés szempontjából (Magan & Medina, 2016), ugyanis a klímaváltozással összefüggésbe hozható változások (aszály, heves esőzések, hőmérsékletemelkedés) a penészgombák növekedésének és mikotoxintermelésének szabályozó tényezői (Valencia-Quintana et al., 2020). A mikotoxinok rendkívül érzékenyek a környezeti tényezők változásaira (Milani, 2013), a velük való szennyeződés szállítás, illetve tárolás közben is bekövetkezhet a zárt környezetben uralkodó körülményeknek köszönhetően (Valencia-Quintana et al., 2020). Ha a földfelszín felmelegedése tovább folytatódik és egyéb éghajlati tényezők változásával is társul, a döntéshozóknak, a gazdáknak, illetve az élelmiszeriparnak is változtatnia kell a mikotoxin kockázatkezeléssel kapcsolatos programján mind rövid-, mind pedig hosszútávon (Paterson & Lima, 2010; Wu et al., 2011).

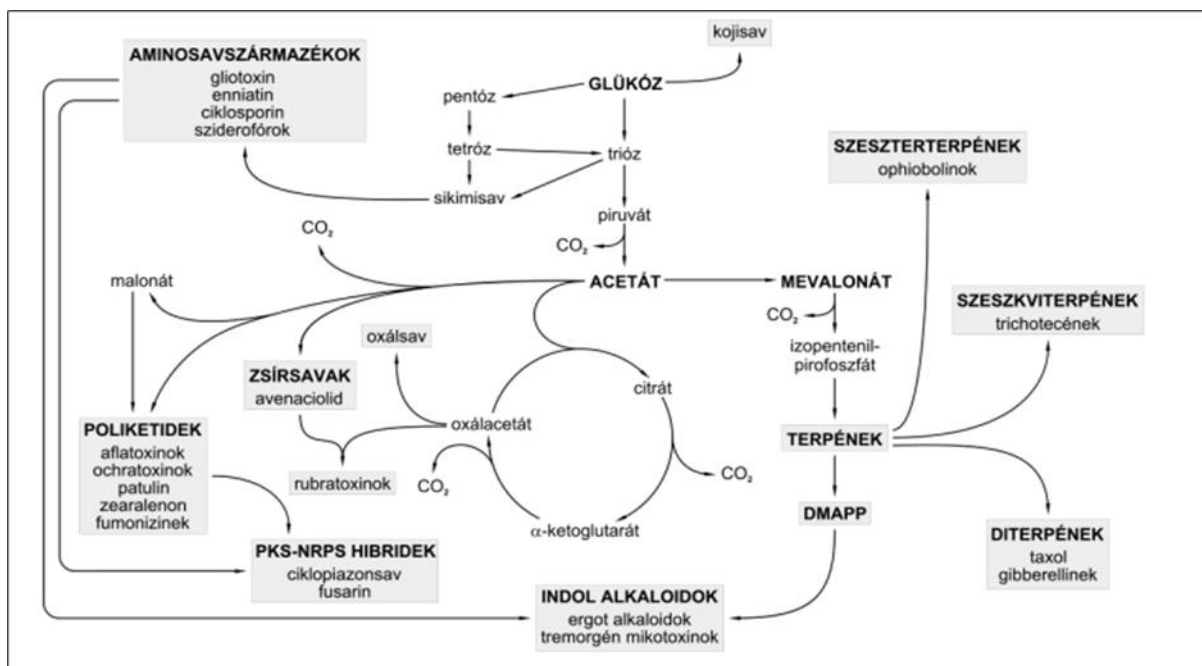
A mikotoxinok káros hatást fejtenek ki mind az emberi, mind az állati szervezetre, befolyásolják a növekedést, felborítják a hormonháztartást, vese-, és májkárosító, illetve rákkeltő hatással rendelkeznek (Internet 1). A szervezetbe különböző úton juthatnak be: bőrön keresztül, belégzéssel, leggyakrabban azonban táplálkozás során vesszük fel őket. A táplálékkal való bejutás esetén megkülönböztethetjük a közvetlen és a közvetett felvételt (Varga et al., 2014). Közvetlen felvétel során a toxinnal szennyezett növényi élelmiszer elfogyasztása révén, közvetett felvétel esetén pedig az állati termékekben felhalmozódó toxinok elfogyasztásával jut be szervezetünkbe az adott mikotoxin (1. ábra). A sikeres bejutás után a toxinok túlnyomó része áthalad az emésztőrendszeren és kiürül. A toxinok felszívódása a vékonybélben történik, ezután a toxin bizonyos mennyiségben a májon és az epén keresztül ismét a bélcsőbe jut, kisebb része pedig a vérkeringésbe kerül, majd tejjel és vizelettel távozik a szervezetből (Kovács, 2001).



1.ábra: A mikotoxinok lehetséges útja az emberi szervezetig (Kovács, F. (2001). Penészgombák–mikotoxinok. In *Penészgombák - mikotoxinok a táplálékláncban* (pp. 13-20). MTA Agrártudományok Osztálya.)

IV. 2. A mikotoxinok csoportosítása

Bioszintézisüket tekintve a mikotoxinok számos csoporthoz tartozhatnak (2. ábra). Fontos megemlíteni, hogy szintézisük mindig az elsődleges anyagcsereutakból (glükolízis, Szent-Györgyi-Krebs ciklus) ágazik ki. A két legfontosabb csoportot a mevalonát útvonalon keresztül képződő szeszkviterpének (pl.: trichotecének), illetve a malonát és az acetát kondenzációjából képződő poliketidek (pl.: aflatoxinok, ochratoxinok, zearalenon, fumonizinek) jelentik (Kormos, 2003).



2.ábra: Mikotoxinok bioszintézisútjainak kapcsolata az elsődleges anyagcsereutakkal (Varga, J., Szigeti, Gy., Baranyi, N., Szekeres, A., & Kocsu, S. (2014). Mikotoxinok és másodlagos metabolitok osztályozása. *Mikotoxinok, mikotoxinogén gombák, micetizmusok* (pp. 8-10). https://eta.bibl.u-szeged.hu/726/1/mikotoxin_jegyzet_2014_abraval.pdf)

Keletkezés alapján is van lehetőségünk csoportosítani a mikotoxinokat. Ekkor két szakaszt különíthetünk el: a betakarítás előtti (preharvest), illetve a betakarítás utáni (postharvest) szakaszt. A preharvest szakasz során a növény és a gomba között kialakuló kölcsönhatás okozza a mikotoxinok keletkezését, míg a postharvest szakasz esetén a toxin képződésében a környezeti tényezők a meghatározóak (Varga et al., 2014).

IV. 3. A mikotoxinokat termelő penészgombák csoportosítása

Hazánkban a leggyakoribb mikotoxinokat termelő penészgombák a fonalas gombák közé tartoznak. A penészgombákat – a fent említettek alapján - toxinjaik termelődési helye szerint két fő csoportba sorolhatjuk: a szántóföldi penészek esetén a növény már a szántóföldön szennyeződik a toxinnal, míg a raktári penészek toxinjai raktározás közben termelődnek. A szántóföldi penészek legfontosabb képviselői a *Fusarium*-fajok, míg a raktári penészek közé az *Aspergillus*- és a *Penicillium*-fajok tartoznak (1. táblázat). A *Fusarium*-fajok legfontosabb toxinjai: a deoxinivalenol, a fumonizinek, a T-2 toxin és a zearalenon. Az *Aspergillus*- és a *Penicillium*-fajok mikotoxinjai az aflatoxin és az ochratoxin-A (Kormos, 2003).

1. táblázat: A leggyakoribb mikotoxinokat termelő penészgombák és az általuk termelt mikotoxinok (Mézses, M. (2009). Mikotoxikózisok. In *Takarmánytoxikológia* (pp. 99). Egyetemi jegyzet. Gödöllő. <http://takt.mkk.szie.hu/tananyagok.htm>)

Penészgomba nemzetség	Penészgomba fajok	Mikotoxin(ok)
<i>Aspergillus</i>	<i>A. flavus</i> <i>A. niger</i> <i>A. parasiticus</i>	aflatoxin B1, B2, G1, G2
	<i>A. niger</i> <i>A. ochraceus</i>	ochratoxin-A
<i>Fusarium</i>	<i>F. verticilloides</i> <i>F. moniliforme</i> <i>F. proliferatum</i>	fumonizin B1, B2, B3
	<i>F. graminearum</i> <i>F. avenaceum</i> <i>F. culmorum</i> <i>F. poae</i> <i>F. equiseti</i> <i>F. acuminatum</i> <i>F. sambucinum</i> <i>F. sporotrichoides</i>	trichothecén vázasok: T-2 toxin, HT-2 toxin, nivalenol, deoxinivalenol
	<i>F. graminearum</i> <i>F. culmorum</i> <i>F. sporotrichoides</i>	zearalenon
<i>Penicillium</i>	<i>P. verrucosum</i> <i>P. viridicatum</i>	ochratoxin-A

Ez a csoportosítási lehetőség azonban nem alkalmazható minden esetben, mivel bizonyos fajok szántóföldi és raktári penészként egyaránt ismeretesek. Ilyenek lehetnek a *Fusarium*, illetve az *Aspergillus* nemzetség tagjai. A *Fusarium*-fajok, bár szántóföldi penészekként tartják őket számon, képesek raktározás során is kifejtetni fertőző hatásukat. Az *Aspergillus flavus* elsősorban raktári penészként elterjedt, azonban forró, száraz nyarak esetén a szántóföldeken lévő kukoricát megfertőzi, így a termésben már aratáskor megtalálható a gomba által termelt aflatoxin (Búza et al., 2008). A penészgombák csoportosítására további lehetőségeink is vannak: nedvességigény alapján lehetnek higrofil (kimondottan nedvességigényes), mezofil (közepesen nedvességigényes), illetve xerofil (kis mértékben

nedvességigényes) fajok. Szaporodóképesség szerint három csoportba sorolhatók: lehetnek efemer gombák, melyek hamar elvesztik szaporodási képességüket a tárolás során. A mezobionta fajok szaporodóképessége megmarad megfelelő nedvességtartalom esetén, míg a perzisztens fajok képesek hosszú ideig is megőrizni a szaporodóképességet (Varga et al., 2014).

IV. 3. 1. Szántóföldi penészek

A szántóföldi penészfajok már a szántóföldön károsítják a növényeket. Kifejlődésük magas nedvességtartalmat (20-30%) és vízaktivitást igényel. A raktárakba a fertőzött szemterméssel kerülnek be. Legismertebb képviselői a *Fusarium*-fajok (Búza et al., 2008).

IV. 3. 2. Raktári penészek

A raktári penészfajok a termés tárolása közben termelődnek, feltehetőleg a nem megfelelő körülmények miatt. Vízigényük a szántóföldi penészekénél alacsonyabb. Képviselőik a *Penicillium*-, és az *Aspergillus*-fajok. Az *Aspergillusok* alacsony nedvességtartalom esetén (14%), míg a *Penicilliumok* magas páratartalomban fertőznek (16%) (Búza et al., 2008).

IV. 3. 3. A *Fusarium*-fajok fontosabb toxinjai

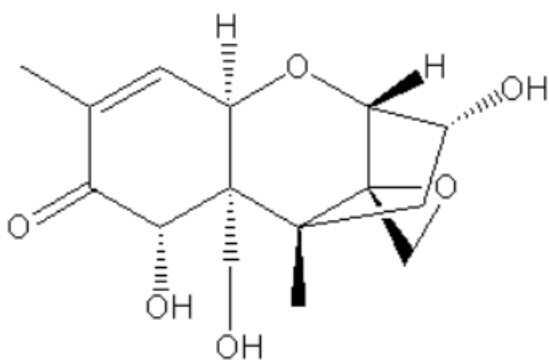
Trichotecén-vázis vegyületek

A trichotecén vázas vegyületek közé tartozó mikotoxinokat *Fusarium*-fajok - legfőképpen *Fusarium graminearum*, *Fusarium culmorum*, *Fusarium sporotrichoides* és *Fusarium poae* – termelik. A trichotecének kémiai szerkezetük alapján négy csoportra oszthatók: ezek az A-, a B-, a C-, és a D-típusú trichotecének. Az A-típusú trichotecének elsődleges termelője a *F. sporotrichoides*. A *F. poae* csak esetlegesen termel toxint. Az ide tartozó vegyületek a nyolcadik szénatomon ketocsoportot nem tartalmaznak. A B-típusúak esetében a *F. culmorum* és a *F. graminearum* a meghatározó toxintermelők, a csoport tagjai rendelkeznek a nyolcadik szénatomon lévő ketocsoporttal. A C-, és D- típusba tartozó trichotecéneket az A-, és B-típussal ellentétben nem *Fusarium*-fajok termelik (Perkowski et al., 1997; Kimura et al., 2007).

IV. 3. 4. Deoxinivalenol (DON)

Fusarium-fajok- leginkább *F. graminearum* és *F. culmorum*- által termelt mikotoxin (Sohár,2007). Az említett gombák növekedéséhez az optimális hőmérséklet 25 Celsius körül alakul, míg a toxintermeléshez 20-30 Celsius szükséges (Han et al., 2018; Kotowicz et al.,

2014). A DON B-típusú trichotecén. Kémiai szerkezetét tekintve tetraciklikus szeszkviterpén, jellemző rá a 12,13-epoxid gyűrű (3. ábra). 220 nm hullámhosszon UV-abszorpciót mutat (Eppley, 1975; Wu et al., 2013). Nagy jelentőségű, mivel a kisszemű gabonafélékben (búza, árpa, rozs, zab) gyakran megtalálható. A kukoricát is károsítja. Búzában a szemek üszkösödése, kukoricában a kalász rothadása figyelhető meg a szennyeződés hatására. Vízoldható, igen stabil vegyület. Nagy hőtűrő képessége miatt a gyártási és főzési folyamatoknak is ellenáll, fermentáció során sem bomlik le teljesen (Sohár, 2007).

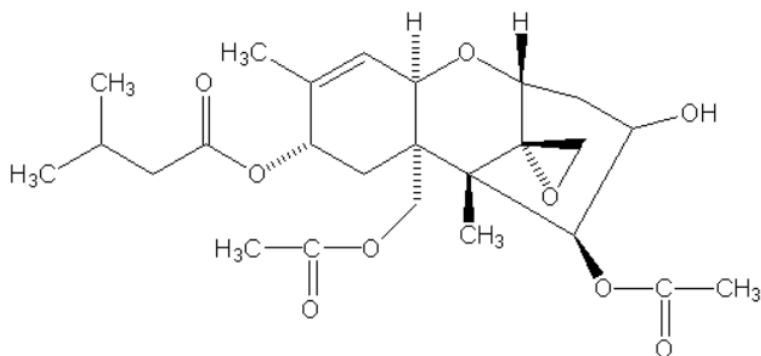


3. ábra: A DON kémiai szerkezete (Singh, S., Banerjee, S., Chattopadhyay, P., Borthakur, S. K., & Veer, V. (2015). Deoxynivalenol induces cytotoxicity and genotoxicity in animal primary cell culture. *Toxicology Mechanisms and Methods*, 25(3), 184–191. <https://doi.org/10.3109/15376516.2015.1006743>)

Élőlényekre gyakorolt toxikus hatásai különfélék lehetnek. Nagymértékű elfogyasztása haszonállatok esetében csökkent táplálékfelvételt, valamint hányást okozhat. Az utódok növekedésére is hátrányosan hat. Növelheti az állatok fertőzésekkel szembeni fogékonyságát (Szeitzné, 2009). A DON-ra a sertések a legérzékenyebbek, kifejtett hatása a bevitt toxin koncentrációjának függvénye (Pestka & Smolinski, 2005). A vékonybél hámsejtjeit károsítva a tápanyagok felszívódásának csökkenését és az immunrendszer elégtelen működését okozza (Ghareeb et al., 2014). Az ártányok jobban tolerálják, mint a nőtények. A baromfifélék a sertéseknél kisebb mértékben érzékenyek a toxinra. Ez annak köszönhető, hogy bélrendszerükben DON-transzformáló baktériumok találhatók. Feladatuk a DON deepoxi-4-deoxinivalenollá alakítása. A keletkező termék a DON-nál kevésbé toxikus (Yu et al., 2010). Szarvasmarháknál is megfigyelhető jelenség a DON de-epoxidálása, mely a bendőfolyadékban lévő mikroorganizmusoknak köszönhető. A kérődzők bendőjében található mikrobióta ugyanis inaktiválja vagy adszorbeálja a toxinmolekulákat, ezzel a mechanizmussal védve a gazdaállatot (Pomothy et al., 2020).

IV. 3. 5. T-2 toxin (T-2)

A T-2 toxin az A-típusú trichotecének csoportjába tartozik, elsődleges termelője a *F. sporotrichoides* (Perkowski et al., 1997; Kimura et al., 2007). A toxin bioszintéziséhez 10-15 Celsius az optimális hőmérséklet, a T-2-t termelő gomba növekedése azonban magasabb hőmérsékleti tartományban történik (25-30 Celsius) (Nazari et al., 2014). Kémiai szerkezetét tekintve tetraciklikus szeszkviterpén 12,13- epoxitrichotecén gyűrűvel (4. ábra), ez a gyűrű szolgáltatja toxicitásának kémiai alapját (Eppley, 1975; Wu et al., 2013).



4. ábra: A T-2 kémiai szerkezete (Al-Fakih, A. A. (2014). Overview on the fungal metabolites involved in mycopathy. *Open Journal of Medical Microbiology*, 04(01), 38–63.
<https://doi.org/10.4236/ojmm.2014.41006>

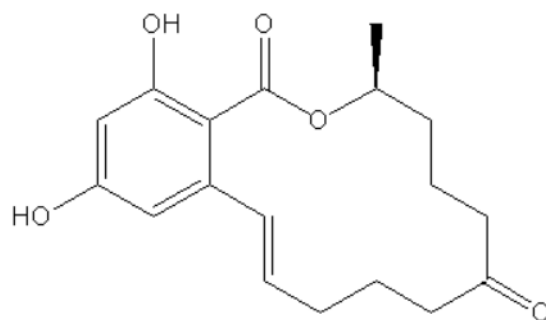
Abban az esetben, ha a gabona hosszabb ideig marad a szántóföldön vagy nedves lesz, a T-2 jelentős mennyiségben termelődhet (Sohár, 2007). A gabona a tárolási folyamatok során is szennyeződhet. A toxin leggyakrabban az árpában, zabban, illetve búzában fordul elő. Rendkívül stabil, ellenáll a kezeléseknek, melyeket a takarmány-, és élelmiszerelőállítás folyamatok esetén alkalmaznak, ennek következményeként az állati takarmányokban és emberi fogyasztásra szánt élelmiszerekben egyaránt fellelhető (Somoskői et al., 2012).

Sertésekre, illetve baromfifélékre jelenti a legnagyobb veszélyt. Sertések esetén a szennyezett takarmány etetésekor a takarmányfelvétel és a felvett takarmány hasznosulása egyaránt csökken alacsony toxinszint esetén is. Az efféle takarmány fogyasztása hosszútávon a kocák vemhesülési arányának csökkenését és a születendő malacok gyengeségét okozza. Magasabb toxinértékek esetén az orr, orrkörnyék a fülek tája és az előbőr gyulladása, a száj és a nyelv nyálkahártyájának gyulladása következik be (Internet 2). Baromfifélékre jellemző tünet, hogy romlik az állatok testtömeggyarapodása és fekélyképződés figyelhető meg a száj nyálkahártyáján. Gyomorfekély, bélgyulladás, valamint az immunrendszer károsodása is bekövetkezhet a toxin hatására (Kubena et al.,

1997). Nesic és munkatársai 2011-ben végzett vizsgálataik során elváltozásokat tapasztaltak a száj-, és vékonybél nyálkahártyáján, valamint a Fabricius-féle tömlőből lymphocyták ürülését figyelték meg csirkékben. Speers és munkatársai (1977), illetve Tobias és munkatársai (1992) végeztek kísérleteket, melyek eredményeként azt találták, hogy szennyezett takarmányt fogyasztó állatok esetén a tojástermelés csökkent, a tojások keltethetősége romlott. Sertésekhez hasonlóan a toxin a baromfifélék esetében is csökkenti a takarmányfelvételt és a fehérjeszintézist, ami káros hatással van mind a hús-, mind pedig a tojástermelésre (Zomborszky, 2002). Szarvasmarhákon végzett vizsgálatok bizonyították, hogy a T-2-t a bendőben élő mikrobák képesek átalakítani fermentációs folyamatok révén, ezzel részben csökkentve toxikus hatásukat, azonban, ha a toxin magas koncentrációban fordul elő, a bendőben található mikrobák csak részben képesek a detoxifikálására, így a toxin fel tud szívódni a vékonybélből, ezáltal különböző károsodásokat okoz az állat létfontosságú szerveiben (idegrendszer, izomszövet, máj, vese). A T-2 egy másik trichotecénváz toxinnal, a DON-nal együttesen is előfordulhat. Fő hatásuknak tekinthető a fehérjeszintézis gátlása, illetve az immunválasz csökkenése, melynek következtében megnő a szervezet fogékonysága bizonyos fertőzésekkel szemben. Étvágycsökkenést is okozhatnak, ami a termelés csökkenéséhez vezet (Internet 6).

IV. 3. 6. Zearalenon (ZEA)

A zearalenon *Fusarium*-fajok - úgy, mint *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. equiseti*, *F. semitectum* és *F. cerealis* - által termelt mikotoxin (Logrieco et al., 2002). A gombák szaporodásának a 22-26 Celsius körüli hőmérséklet kedvez, míg a toxintermelés hőmérsékleti optimuma 6-12 Celsius között alakul. A toxin kémiai szerkezetét tekintve rezorcilsav lakton (5. ábra).



5. ábra: A zearalenon kémiai szerkezete (Nguegwouo, E., Tchuenchieu, A., Mouafo, H. T., Fokou, E., Medoua Nama, G., & Etoa, F. X. (2018). An Overview of some Major Mycotoxins in Food and their Detection Methods. *Nutrition and Food Toxicology*, 3(1), 564-576.

https://www.researchgate.net/publication/325934127_An_Overview_of_some_Major_Mycotoxins_in_Food_and_their_Detection_Methods

Elnevezése arra utal, hogy gyakran található meg kukoricában (*Zea mays*). Leggyakrabban gabonafélékben (búza, árpa, zab), rizsben és kukoricában fordul elő. Rendkívül stabil vegyület, a tárolási, illetve ételkészítési folyamatok során alkalmazott magas hőmérséklet hatására sem bomlik (Sohár, 2007).

Az ösztorgén nemi hormonokkal (pl. ösztradiollal) mutat szerkezeti hasonlóságot, ezért a női nemi hormonokéhoz hasonló hatással rendelkezik és képes a méh ösztrogénreceptoraihoz kötődni. A 17β -ösztradiollal versenyez az ösztrogénreceptor kötőhelyeiért, gátolva a szteroid hormonok szintézisét, ezáltal felborítva a nemi hormonok egyensúlyát (Kanora & Maes 2009; Sohár, 2007; Szabó et al., 2017). Ösztrogén jellegű hatását 1965-ben Christensen és munkatársai írták le elsőként. Kísérleteiket patkányokon végezték. 1971-ben Mirocha és Christensen szarvasmarhákon végzett vizsgálatokat hasonló céllal. Mindkét esetben a méh megnagyobbodását tapasztalták.

A mérgezésre a legérzékenyebbek a sertések, közülük is a még nem ellett fiatal nőtények. Az esetükben jelentkező ösztrogén-szindróma tipikus tünetei az ödéma és a vulva vérbősége, emlőmirigy-, és méhmegnagyobbodás, illetve a petefészekben megjelenő ciszták. Bizonyos esetekben hüvely és végbélelőesés is tapasztalható. (Binder et al., 2017). A kocákat érintő leggyakoribb tünetek az anósztrusz, a vetélés, az embrióelhalás és a halva születések megnövekedett száma, valamint a malacok lábszétcsúszása és vörös, gyulladt pérával születése. A megszületett utódok testtömege változatos lehet, mivel a ZEA ronthatja a véráramlást a méhben (Internet 3). Kanoknál legjellemzőbb tünetként a tesztoszteronszint, a libidó és a spermaminőség csökkenése tapasztalható (Kanora & Maes, 2009). A baromfifélék a sertéseknél kevésbé érzékenyek a toxinra, azonban magas koncentrációban történő elfogyasztása a kloáka megnagyobbodását, a másodlagos nemi jelegek fokozott

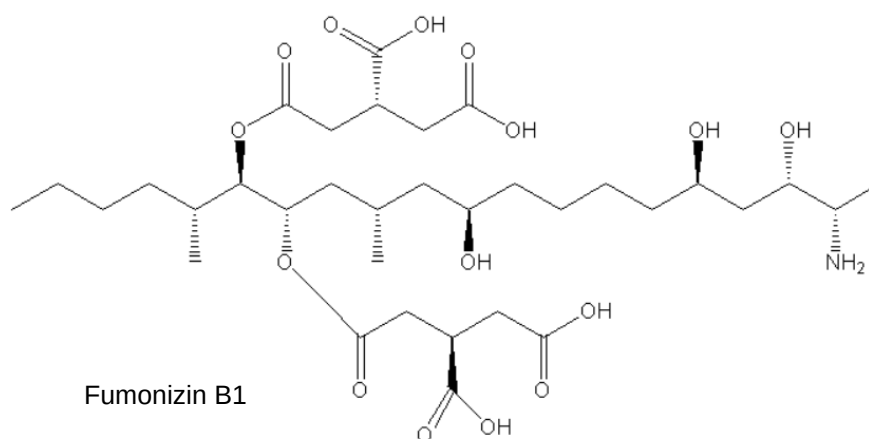
előrehaladását, továbbá az életképtelen csírák arányának növekedését okozza. A ZEA negatív hatással van a tojások termékenységre és keltethetőségére. Szennyezett takarmány fogyasztásakor gyakori volt az embrióelhalásos esetek száma, mely a tojáshéj vastagságának csökkenésével párosult (Anonymus, 2012; Internet 4). Szarvasmarhákkal etetett toxintartalmú táplálék hatására nagyobb mennyiség esetén először tünetmentes, majd pedig súlyos tünetekkel járó toxikózis alakulhat ki. Kérdő állatként a szarvasmarha bizonyos mértékben védett a ZEA hatásaival szemben, mivel a bendőben lejátszódó fermentációs folyamatok segítik az állatot a toxinnal szembeni védekezésben, de nem nyújtanak teljes védelmet nagyobb mennyiségű mikotoxin bendőbe kerülése esetén (Internet 6). A ZEA transzformációja során megfigyelhető, hogy a bendő protozoák α - és β -zearalenonná alakítják át. A képződő metabolitok toxicitása eltér a kiindulási anyagétól: az α -zearalenon toxikusabb, míg a β -zearalenon kevésbé toxikus (Internet 5). Szarvasmarháknál a toxin hatásaként méhfertőzések, hüvelygyulladás, terméketlenség, vetelés, tögyváladékozás, illetve a fogamzási arány csökkenése is megfigyelhető. Az utóbbi tünetet a bikáknál tapasztalható herefejlődési zavarok, illetve az alacsony spermatermelés okozza (Anonymus, 2021).

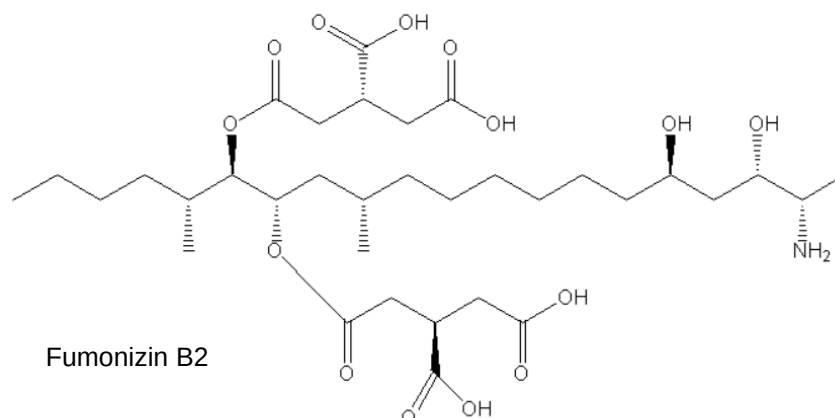
IV. 3. 7. Fumonizinek

A fumonizinek természetben történő előfordulását az USA-ban fedezték fel először, majd egy év elteltével Dél-afrikai kutatók izolálták egy Transkei tartományból származó kukoricamintából (Sydenham et al., 1990). Magyarországon a kukorica fertőzöttségével kapcsolatos kutatásokat Fazekas és munkatársai kezdték el 1995-ben és megállapították, hogy hazánk is az érintettebb területek közé tartozik (Fazekas, 1995 idézi Kovács, 2003). Napjainkban a fumonizinek kutatásában kiemelkedő szerepe van Bartók Tibornak és munkatársainak, akik számos új fumonizin analógot azonosítottak (Bartók et al., 2006). A fumonizineket *Fusarium*-fajok termelik, elsősorban *F. moniliforme*, *F. proliferatum* és *F. verticillioides*. A *F. proliferatum* növekedésének optimális hőmérséklete 30 Celsius, a fumonizinek termelődésének a 15-25 Celsius közötti hőmérséklet-tartomány kedvez (Samapundo et al., 2005). Annak ellenére, hogy a fumonizint termelő gombák szinte bárhol megtalálhatóak, a fumonizinek földrajzi elterjedése változó: alacsonyabb tengerszint feletti magasságon és földrajzi szélességnél nagyobb mértékben figyelhető meg fumonizinnel való szennyezettség, mint a magasabb tengerszint feletti magasság és földrajzi szélesség esetén. Ennek oka az lehet, hogy az alacsonyabban fekvő területeken magasabb a hőmérséklet, ami kedvez a fumonizineket termelő gombák szaporodásának (Bush et al., 2004; Miller, 2001).

A Dél-afrikai kutatók vizsgálataik során a kémiai szerkezetre is fényt derítettek (Sydenham et al., 1990). A fumonizinek poláros jellegű vegyületek, alapjuk egy hosszú szénlánc, amely hidroxil-, és metilcsoportokat tartalmaz. A szénlánc 2-es szénatomján amin-, és acetilaminocsoport található, míg a 14-es és 15-ös szénatomhoz kapcsolódó hidroxilcsoporthoz észterkötéssel két propán-1,2,3-trikarboxilsav molekula csatlakozik (Tóth, 2000) (6. ábra). A fumonizinek a növényeket még a betakarítást megelőzően fertőzik meg, tárolás során általában már nem szaporodnak. Leggyakrabban a kukorica szemtermésében, a belőle készült ételekben (kukoricapehely, extrudált kukorica, pattogatott kukorica, főtt csemegekukorica) és italokban, illetve kukoricaőrleményekben (dara, liszt) fordulnak elő (Szeitzné, 2009).

Több képviselőjük ismert, ezek közül egészségügyi szempontból a fumonizin B1 (FB1) bír rendkívül nagy jelentőséggel, mivel ez fordul elő legmagasabb arányban. A fumonizinek toxicitásának sorrendje: FB1~FB2>FB3 (Wilson, 2012). Mivel a FB1 szerkezete a szfingozinhoz hasonló, ezért gátolja a ceramid-szintetáz enzimet ezzel beavatkozva a szfingolipid bioszintézisbe, továbbá megváltoztatja a foszfolipidek és a telítetlen zsírsavak metabolizmusát (Ali et al., 2021; Kulcsár et al., 2021). A szfingolipid-metabolizmus gátlásával a fumonizinek sejtkárosodást és apoptotikus sejthalált okozhatnak a biológiai membránok károsítása révén. Ráadásul a szfingolipidek mennyiségének csökkenése miatt romlik a sejtmembrán barrier funkciója és nő az endotél sejtek permeabilitása (Fazekas et al., 1998 idézi Tóth, 2000).





6. ábra: A fumonizin B1 és B2 kémiai szerkezete (Nguegwouo, E., Tchuenchieu, A., Mouafo, H. T., Fokou, E., Medoua Nama, G., & Etoa, F. X. (2018). An Overview of some Major Mycotoxins in Food and their Detection Methods. *Nutrition and Food Toxicology*, 3(1), 564-576.

https://www.researchgate.net/publication/325934127_An_Overview_of_some_Major_Mycotoxins_in_Food_and_their_Detection_Methods

A legnagyobb kártétel a sertések körében mutatható ki. Ezen állatcsoport esetén elmondható, hogy a toxin célszerve a máj, illetve a tüdő, ezért legfőképpen tüdőödéma, keringési, valamint hepatikus tünetek, továbbá gyomorfekély, nyelőcsőgyulladás és a szív hipertrófiája figyelhető meg náluk (Ali et al., 2022). Vemhes állatokkal az ellést megelőző 10 napban FB1 tartalmú takarmányt etetve az újszülött malacokban már méhen belül kialakul a tüdőödéma, melyet Kovács és munkatársai vizsgáltak (2003). A kutatók vizsgálatai kiterjedtek az emberi fogyasztásra kerülő szervekre is. Megállapították, hogy a FB1 legnagyobb mennyiségben a májban és a vesében akkumulálódott, míg a zsír-, és izomszövet csak elhanyagolható mennyiségben tartalmazta a toxint. Az elvégzett vizsgálatok alapján megállapítható volt, hogy a toxin már kis koncentrációban is kiváltotta a tüdőödémát, hosszú ideig tartó kitettség esetén pedig visszafordíthatatlan tüdőfibrózist okozott (Kovács et al., 2016). A baromfifélék közül a házityúk és a pulyka rezisztensek, a kacsá azonban érzékeny a fumonizin fertőzésre. Naposcsibék és pulykapipék esetén a szennyezett takarmány elfogyasztása növekedésben való elmaradást, a testtömeggyarapodás csökkenését és májkárosodást okozhat (Zomborszky, 2002). A kérődző állatok ellenállóak bizonyultak a fertőzéssel szemben, mivel a bendőjükben élő baktériumok képesek a toxinokat hatástalanítani, ezáltal csökkentve károsító hatásukat. Azonban, ha a takarmány jelentős fertőzésnek van kitéve, a bendő mikroflórája nem képes teljesen lebontani a jelenlévő toxinokat, így azok elérik a vékonybelet, ahonnan felszívódnak (Internet 6).

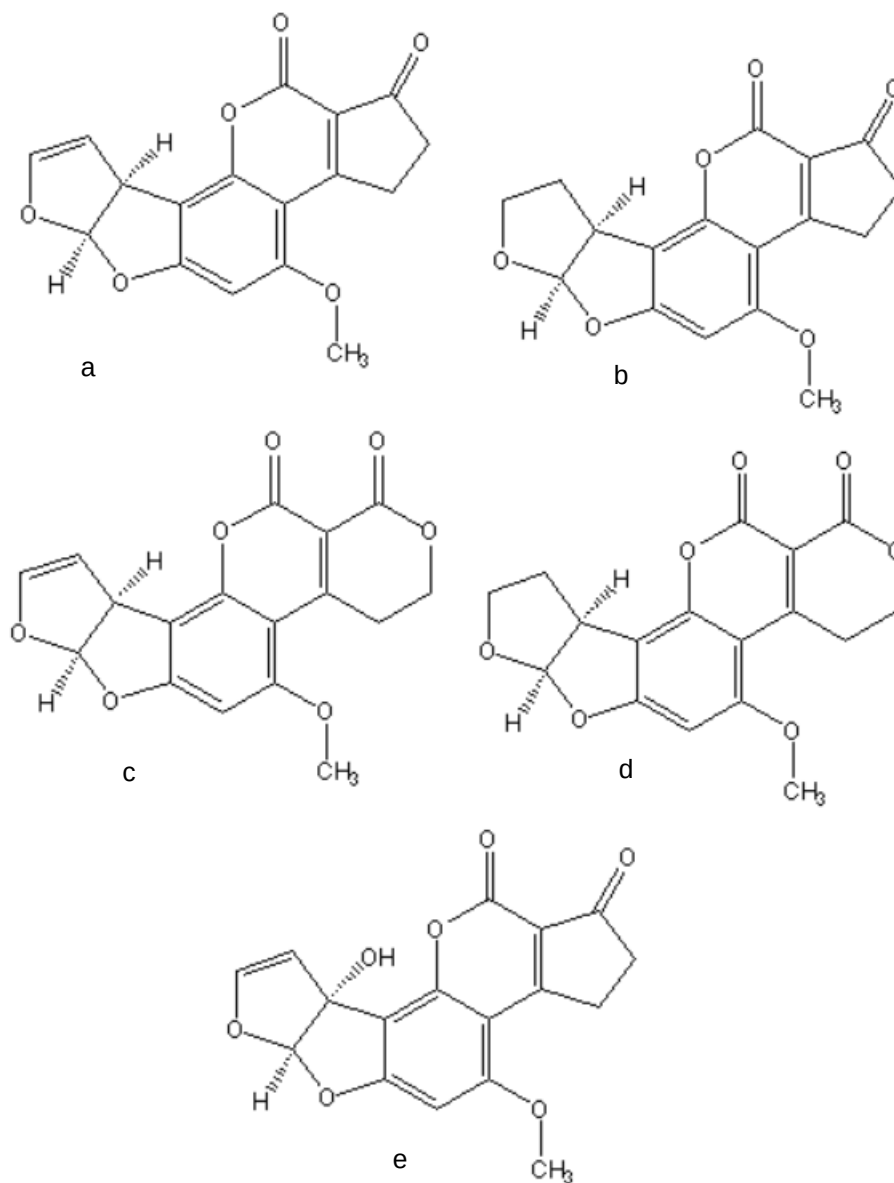
A sertésekhez hasonlóan a lovak is meglehetősen érzékenyek a fumonizinekre. Náluk agylágyulás (leukoencephalomalacia) alakul ki. Kezdetben bágyadság, étvágytalanság jellemzi az állatokat, ezután az idegrendszeri tünetek hamar megjelennek: arcidegbénulás, fokozott ingerlékenység, összerendezetlen mozgás tapasztalható. A tünetek megjelenését követő néhány órán belül az állat az elfogyasztott toxin koncentrációjának függvényében elpusztulhat (Zomborszky, 2002).

IV. 4. *Aspergillus*-, és *Penicillium*-fajok fontosabb toxinjai

IV. 4. 1. Aflatoxin

Az aflatoxinok a legfontosabb mikotoxinok közé tartoznak. Felfedezésük az 1960-as évek Angliájához köthető. A Brazíliából importált penészes földimogyoró liszt több, mint 100000 pulyka elhullását okozta (Blount, 1961). A toxint *Aspergillus*-fajok állítják elő, úgy, mint *Aspergillus flavus*, *Aspergillus parasiticus* és *Aspergillus nominus* (Rawal et al., 2010). Az *A. flavus* volt az elsőként azonosított, aflatoxikózt okozó mikotoxin. Hőtűrő képessége széles skálán (19-35 Celsius) mozog, a gomba növekedéséhez optimális hőmérséklet 28 Celsius, míg a toxintermeléshez 28-30 Celsius szükséges (Valencia-Quintana et al., 2020). Paterson és Lima kutatása (2010) szerint a klímaváltozás miatt emelkedő légköri hőmérséklet éppen az aflatoxintermelés hőmérsékleti optimuma körül alakul majd, ami az *Aspergillusok* terjedésének fog kedvezni. Az aflatoxin szennyezettséget okozó legjelentősebb környezeti faktorok ugyanis a magas hőmérséklet, illetve a szárazságstressz. E tényezők segítik az *A. flavus* növekedését, konídiumképzését és szétszóródását (Payne, 1986; Cotty & Jaime-Garcia, 2007). Az aflatoxinok kémiai szerkezetüket tekintve a difurano-kumarinok közé tartoznak, legalább 16 vegyület alkotja őket (Bennett & Klich, 2003). Az aflatoxin B1, G1 és M1 a dihidrofuranofuránok csoportjába sorolhatók, toxicitásuk rendkívül nagy, míg a B2, G2 és M2 a tetrahidrofuranofuránok képviselői, toxikus hatásuk kisebb mértékű (Varga et al., 2014) (7. ábra). A különböző típusok UV fénynek való kitettség hatására (365 nm) vékonyréteg kromatográfiás módszerrel vizsgálva eltérő színreakciót adnak. A B típusúak kékre (B=blue), míg a G típusúak zöldre (G=green) színeződnek (Bennett & Klich, 2003). Toxint tartalmazó takarmány etetésekor a kutatók megfigyelték, hogy az állatok tejében megjelenik egy aflatoxin B1-hez (AFB1) hasonló anyag, ami UV-fényben szintén kék fluoreszcenciát mutat. Mivel tejben fedezték fel, ezért aflatoxin M1-nek (AFM1) nevezték el („milk toxin”). Sor került egy másik, hasonló toxin

azonosítására is birkák vizeletéből, amelyet aflatoxin M2-nek (AFM2) neveztek el (Varga et al., 2014).



7.ábra: Az aflatoxinok kémiai szerkezete: Aflatoxin B1 (a), aflatoxin B2 (b) aflatoxin G1 (c), aflatoxin G2 (d), aflatoxin M1 (e), sterigmatocystin (f) (Varga, J., Baranyi, N., Chandrasekaran, M., Vágvolgyi, Cs., Kocsubé, S. (2015). Mycotoxin producers in the *Aspergillus* genus: an update. *Acta Biologica Szegediensis*, 59(2) 151-167, 2015 <https://www2.sci.u-szeged.hu/ABS/2015/Acta%20HPe/59151.pdf>

Sokáig úgy tartották, hogy az *Aspergillus*-fajok csak raktározás során fertőzik meg a learatott termést, vizsgálatok azonban bebizonyították, hogy a szennyezés már a szántóföldön is megtörténhet (Búza et al., 2008). Az aflatoxinok leggyakrabban olajos magvakban, kukoricában, gabonafélékben, szárított gyümölcsökben és fűszerekben fordulnak elő. Hőkezelésnek ellenálló vegyületek (Sohár, 2007). A WHO a legveszélyesebb

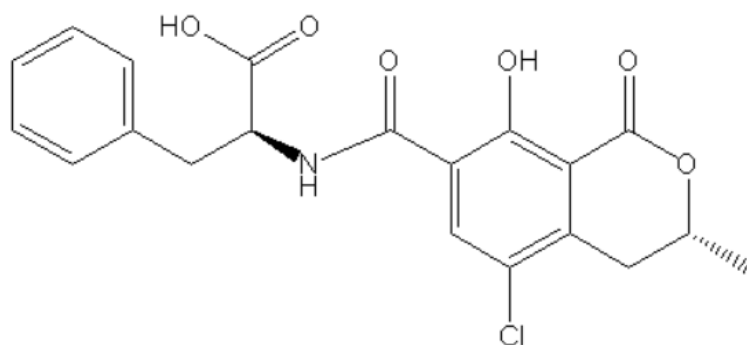
szennyezőanyagokat tartalmazó listán elsőként tartja őket számon (Szeitzné, 2007). Az aflatoxinok toxicitásának sorrendje: AFB1>AFG1>AFB2>AFG2 (Sohár, 2007).

Haszonállatokra gyakorolt toxikus hatásaiak különfélék lehetnek. Kitétségtől függően kialakulhatnak akut és krónikus hatások is. Sertések esetén növelik a fertőzésekkel szembeni fogékonyságot, káros hatást gyakorolnak a reprodukcióra, súlyvesztést, immunszuppressziót, a növekedési ráta csökkenését, valamint halált okoznak (Popescu et al., 2022). A baromfifélék közül a csirkék kevésbé érzékenyek az aflatoxinokkal szemben. Esetükben csökken a takarmányfelvétel, ami a testtömeg-gyarapodás elmaradását eredményezi. Megfigyelhető továbbá a termékenység, valamint a tojástermelés csökkenése is (Anonymus, 2012). A kérődzők mérgezésre való érzékenysége kisebb mértékű, mint a monogasztrikus állatoké. Ez annak köszönhető, hogy a kérődzők bendőjében lévő mikrobák fermentációs folyamatok révén bizonyos mértékben át tudják alakítani a toxinokat, így azok kevésbé rendelkeznek mérgező hatással. Az AFB1-gyel fertőzött takarmány elfogyasztást követően a bendőbe jut és az AFB1-gyel egyező mutagén hatású aflatoxikol, illetve AFM1 keletkezik belőle a bendőprotozoák működése révén. A képződő AFM1 a takarmány elfogyasztása után 3-4 óra elteltével megjelenik először az állatok ürülékében, később a vizeletükben, végül pedig a tejben is. Viszonylag hamar kiürül a szervezetből, mivel a toxint tartalmazó táplálék megvonása után három nappal a tej már nem tartalmazza (Internet 5; Kovács, 2018). Rákkeltő hatása ugyan elmarad az AFB1-től, de így is rejt magában veszélyeket. Rendkívül stabil vegyület és nem alakul át feldolgozás hatására sem, ezért jelen van a tejtermékekben is. A tejben található kazeinhez kapcsolódva koncentrálódik és sajtkészítés alkalmával a végtermék szennyezettsége a tej AFM1 tartalmának akár 3-6-szorosa is lehet. A nagyobb gondot az okozza, hogy a tejporban, illetve a csecsemőtápszerekben is fellelhető, igaz elenyésző mennyiségben, de mivel az említett tápszerek a csecsemők kizárólagos táplálékforrásai lehetnek, így kiemelten fontos ezek ellenőrzése (Kovács, 2019).

IV. 4. 2. Ochratoxinok

Aspergillus-, és *Penicillium*-fajok termelik, legfőképpen az *Aspergillus ochraceus*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus carbonarius* és a *Penicillium verrucosum*. Hűvösebb klímájú területeken a *Penicillium*-fajok szintetizálják, míg trópusi és szubtrópusi területeken az *Aspergillus*-fajok állítják elő (Kormos, 2003; Sohár, 2007). A gombák növekedéséhez optimális hőmérséklet 30-35 Celsius körül mozog, míg a toxin termeléséhez alacsonyabb hőmérséklet (15-25 Celsius) is elegendő (Magan & Aldred, 2005). Kémiai szerkezetüket

tekintve dihidrokumarinhoz kapcsolódó β -fenilalanin szerkezetű vegyületek (8. ábra). Az ochratoxinok egyik képviselője, az ochratoxin-A (OTA) fehér, kristályos por. Ultraibolya sugárzás hatására zöld, illetve kék színnel fluoreszkál (Feier & Tofana, 2009). A WHO a legveszélyesebb szennyezőanyagokat tartalmazó listáján az aflatoxinok után az OTA-t tartja a legtoxikusabbnak (Szeitzné, 2007).



8. ábra: Az ochratoxin-A kémiai szerkezete (Mateo, E., Tonino, R. P., Canto, A., Monroy Noyola, A., Miranda, M., Soria, J. M., & Garcia Esparza, M. A. (2022). The neurotoxic effect of ochratoxin-A on the hippocampal neurogenic niche of adult mouse brain. *Toxins*, 14(9), 624. <https://doi.org/10.3390/toxins14090624>

Leggyakrabban borban, fűszerekben, gabonafélékben, hüvelyesekben, kakaóban, kávéban, mazsolában, mogyorófélékben, sörben és szőlőlében fordul elő. Mérsékelt övezetben is termelődik, így hazánkban is kiemelt figyelmet érdemel. Károsító hatását legfőképpen a vesében fejt ki: erősen nefrotoxikus hatású. A vesére gyakorolt negatív hatásai mellett hepatotoxikus, neurotoxikus, immunszuppresszív, karcinogén, teratogén, a reprodukció szervekre gyakorolt károsító hatása is kimutatható. Állatkísérletek igazolták, hogy nagy dózisban a szervezetbe juttatva rágcsálókban vesetumort idézhet elő (Szeitzné et al., 2007). Háziállatok körében a sertések és a baromfifélék szervezetében fordulhat elő nagyobb mennyiségben. A toxin célszerve sertésekben a vese, illetve a máj, izomban csak kisebb mennyiségben fordul elő. Ochratoxint tartalmazó takarmány etetésekor jellegzetes tünetek figyelhetők meg sertésekben: csökken az állatok étvágya, ebből következik, hogy a takarmányhasznosítás és a súlygyarapodás is csökken. Vesebántalmakat okoz, folyadékfelhalmozódás alakulhat ki a szövetek között, előfordulhatnak emésztőrendszeri fekélyek is, melyek szintén csökkentik a takarmányhasznosulást (Internet 2). Csirkék esetén a súlygyarapodás csökkenése mellett a tojástermelés csökkenése, a tojások keltethetőségének, illetve a tojáshéj minőségének romlása és növekvő halálozási arány is előfordulhat. A kérődzők védettek a toxin káros hatásai ellen (Anonymus, 2012;

Zomborszky, 2002). Emberekre gyakorolt legfontosabb hatásait Kőszegi Tamás és Poór Miklós vizsgálták (Kőszegi & Poór, 2016).

IV. 5. Határértékek, ajánlati értékek

Az említett mikotoxinok káros hatásai miatt élelmiszerbiztonsági kockázatot jelentenek (Sohár, 2007). E kockázat csökkentése érdekében az Európai Unióban szabályozás van érvényben az emberi fogyasztásra szánt élelmiszerekben előforduló legmagasabb mikotoxinkoncentrációra. A megengedhető napi beviteli szint a következőképpen alakul az egyes toxinok esetén (2. táblázat):

2. táblázat: Mikotoxin határértékek az élelmiszerekben (915/2023. (IV. 25.) A Bizottság (EU) 2023/915 rendelete (2023. április 25.) az élelmiszerekben előforduló egyes szennyező anyagok felső határértékeiről és az 1881/2006/EK rendelet hatályon kívül helyezéséről. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R0915>)

	Határérték (µg/testtömegkg)	
	Felnőtteknek szánt termékek	Csecsemőknek szánt termékek
Aflatoxin B ₁	2,0-12,0	0,10
Ochratoxin-A	2,0-80,0	0,50
Deoxinivalenol	500-1750	200
Zearalenon	50-400	20
Fumonizin B1+B2	800-4000	200

A közvetlenül emberi fogyasztásra szánt termékekre vonatkozó határértékeket az A. melléklet tartalmazza.

Eddig a Bizottság 1881/2006/EK rendelete alapján történt a szennyező anyagokra vonatkozó határértékek megállapítása az élelmiszerekben, illetve az élelmiszer-alapanyagként felhasznált termékekben, azonban néhány helyen módosításra szorultak ezek az értékek, így a 2023/915 rendeletben meghatározottak váltották fel a korábbi rendelkezéseket (915/2023. (IV. 25.) EK rendelet). Fontos hangsúlyozni, hogy a rendelet szigorúbb határértékeket állapított meg a csecsemők számára készített termékek esetén, mint a felnőtteknek szánt élelmiszerekben. A szabályozás célja, hogy olyan szinten tartsa a szennyező anyagokat, amely toxikológiailag elfogadható. Azon termékek forgalmazása, amelyek az előírt felső határértéknél nagyobb mennyiségben tartalmaznak szennyező anyagot - akár önállóan, akár más termékekkel összekeverve - tilos. A felső határértékek meghatározása olyan szinten kell

történjen, ami az ésszerűen elérhető legalacsonyabb érték (ALARA=as low as reasonably achievable) (1881/2006. (XII. 19.) EK rendelet; (915/2023. (IV. 25.) EK rendelet).

Az élelmiszerekkel ellentétben a takarmányokban és takarmányalapanyagokban előforduló mikotoxinok mennyiségére az Európai Unió és a Magyar Tudományos Akadémia Állatorvostudományi Bizottsága is csupán ajánlati értékeket határozott meg. Egyedüli kivételt az aflatoxin B1 jelent, mivel erre takarmányok esetén is kötelező határértékek vannak érvényben (574/2011. (VI. 16.) EU rendelet; 576/2006. (VIII. 17.) EK); Magyar Tudományos Akadémia, 2003). A Bizottság által meghatározott értékek az *B. mellékletben*, az Európai Unió által javasolt értékek pedig a *C. mellékletben* láthatók.

IV. 6. Multimikotoxin hatás

Fontos kiemelni, hogy egy penészgomba többféle mikotoxin termeléséért is felelőssé tehető (Li et al., 2000). Ez egy rendkívül súlyos problémát vet fel: felmerül a toxinok interakciójának lehetősége, vagyis a multimikotoxin-hatás, ami azt jelenti, hogy egy élelmiszer-, vagy takarmányalapanyagban többféle mikotoxin fordul elő egyszerre. A jelenségre a gabonafélék, illetve a kukorica szolgáltatja a legjobb példát. A toxinok egymással való kölcsönhatását nem tudjuk az egyes toxinoknál tárgyalt hatások alapján megjósolni, mivel azok szinergista, illetve antagonisták módon is képesek működni, egymást erősítve, illetve gátolva. A kölcsönhatást különböző tényezők befolyásolhatják. Ilyenek például az állat kora, a vizsgált faj, a mikotoxin koncentrációja, illetve a kölcsönhatás időtartama (Grenier & Oswald, 2011). Bizonyított, hogy a különböző mikotoxinok együttes hatása számottevőbb, mint amit az egyes toxinok hatásának ismeretében várunk. Multitoxin-hatás esetében is szükséges határértékek megállapítása, csakúgy, mint a mikotoxinok önálló hatása esetén. A multitoxikus hatások rendkívüli bonyolultságát támasztja alá, hogy egy toxinmolekula többféle sejtválaszra hathat, illetve számos folyamatot érint a szervezetben. A helyzetet tovább bonyolítja, hogy a változó környezeti feltételek a gombák szaporodását segítik elő, ezáltal több mérgezőanyag keletkezik. A multitoxin-hatás mellett megfigyelhető még az ún. „emerging” mikotoxinok előfordulása is. Legtöbb esetben *Fusarium*-fajok termelik őket az ismert toxinok társ-szennyezőjeként. Amit az „emerging” mikotoxinokról tudni érdemes az az, hogy kevésbé ismert szekunder metabolitok. Nem okoznak akut mérgezést, így nem is vizsgálják őket a rutin analitikai eljárások során. Mivel gyakran megtalálhatók a tápláléknak szánt alapanyagokban, így a megjelenésükkel járó kockázat felmérése feltétlenül indokolt (Kovács, 2018).

Egyre inkább teret hódít az az elképzelés, miszerint a penészgombák egy része által termelt toxinokat a megfertőzött növény átalakítja a xenobiotikumok elleni védekezés során. A folyamatnak kétféle végeredménye lehet: a növény egy kivonható konjugátumot hoz létre, amelyben a toxin egy polárosabb molekulához kapcsolódik, illetve megkötheti a toxinokat olyan módon is, hogy azok eltávolítása már nem lehetséges. A mikotoxin kivonása abban az esetben nem kivitelezhető, ha sejtfalalkotó molekulához kapcsolódik. Ezeket a kötött állapotban lévő mikotoxinokat nevezik „rejtett” mikotoxinoknak, míg az „elraktározott” másodlagos anyagcseretermékeket pedig „maszkolt” toxinoknak. A „rejtett”, valamint a „maszkolt” toxinok a rutin analitikai eljárások során nem mutathatók ki. Irodalmi adatok ebben az esetben is a *Fusarium*-fajok által termelt toxinokról (nivalenol, dezoxinivalenol, zearalenon és fumonizinek) érhetők el. Az említett „maszkolt” mikotoxinok az emésztési folyamatok révén visszaalakulhatnak a kiindulási toxinmolekulává. Kémiai tulajdonságaik változása miatt kimutatásuk nem hoz megbízható eredményt, a „rejtett” mikotoxinoké pedig egyáltalán nem lehetséges (Farkas et al., 2014).

A leírt multotoxin-hatás, a „rejtett” és „maszkolt”, illetve az emerging mikotoxinok által történő szennyezés folyamatos nyomonkövetést és a határértékek időnkénti felülvizsgálatát követeli meg (Kovács, 2018).

V. Anyagok és módszerek

V. 1. Mintavételezés, mintaelőkészítés

V. 1. 1. Minták

A mérések kivitelezéséhez 45 kukoricamintát használtam fel, amelyek az ország különböző területeiről kerültek begyűjtésre. Jelentős részük az Északi-középhegységből (Nógrád vármegye, Borsod-Abaúj-Zemplén vármegye, Pest vármegye), a Dunántúli-dombságból (Somogy vármegye, Tolna vármegye), illetve az Alföld északi (Hajdú-Bihar vármegye), déli (Csongrád-Csanád vármegye, Bács-Kiskun vármegye) és délkeleti (Békés vármegye) részéről származik, de érkeztek minták a Nyírségből (Szabolcs-Szatmár-Bereg vármegye), illetve Fejér vármegyéből is. A települések pontos megnevezése a *D. mellékletben* látható. A választás azért esett a kukoricára, mert az emberi táplálkozásban rendkívül fontos szerepet játszik, ugyanakkor ez az egyik leggyakrabban használt állati takarmány Magyarországon. A felhasznált minták betakarítása 2023-ban történt.

V. 1. 2. Mintavétel

A vizsgált minták mikotoxin szennyezettségének pontos megállapításához a mintavételezés helyes kivitelezése rendkívül nagy jelentőségű. A partnereink által végzett mintavételezés az Európai Unió által meghatározott jogszabályoknak megfelelően történt. A mintavételezésre vonatkozó módszereket és előírásokat a Bizottság (EU) 2782/2023. (XII. 14.) végrehajtási rendelete tartalmazza. A mintákat a partnerek 1 kilogrammos kiserelésben, papírzacskóban szállították a mérés helyszínére. A mintavétel kapcsán fontos tényezőnek számít a mintavétel helye (szántóföld, magtár) és ideje. A vizsgált minták egyetlen kivételtől eltekintve mind magtárakból származtak, melyek állapota megfelelő volt: nem áztak be, rendelkeztek szellőztetőrendszerrel. A mintavételezés a szeptember végétől december elejéig tartó időszakban történt.

V. 1. 3. Mintaelőkészítés

Homogenizálás után a mintaelőkészítés első lépéseként kimértünk a kukoricákból 100-110 grammot, majd KN 295 Knifetec készüléket használva daráltuk le. A készülék alkalmas olajos magvak, gyümölcsök, zöldségek, valamint gabonafélék előkészítéséhez, így a kukoricaminták esetén is rendkívül gyors mintaelőkészítést tett lehetővé. A beépített időzítő révén a darálás idejét is meg tudtuk határozni. Az esetek döntő többségében 5, ritkán 10

másodpercre volt szükség a megfelelő szemcseméret eléréséhez. Erre a mintaelőkészítési módra amiatt volt szükség, mivel a méréshez kiválasztott készülék „liszt-állagú” mintát igényel a mikotoxinok megfelelő extrakciójához. Az előkészítési folyamatokra vonatkozó jogszabályokat a 2782/2023. (XII.14.) EU rendelet II. melléklete tartalmazza, azonban a rendelet hatályba lépése előtt validált módszerek esetén 2029. január 1-ig továbbra is a 401/2006/EK rendelet II. mellékletének 4.3. pontjában foglaltak érvényesek.

A mintaelőkészítés fázisához tartozott még a ledarált kukoricák mintatartó téglékbe történő kimérése, mivel a méréshez használt műszer 5 gramm minta feldolgozására képes. A kimért mintákat a műszerrel való munka előtt 2-8 Celsiuson tároltuk.

V. 1. 4. Mérési módszer

Vizsgálataimat a Soft Flow Kft. laboratóriumában végeztem. A mérésekhez MycoFoss™ készüléket használtam, amely 6 különböző mikotoxin - deoxinivalenol, zearalenon, aflatoxinok (AFB1, AFB2), ochratoxin-A, fumonizinek (FB1, FB2, FB3) és T-2 toxin – egyidejű vizsgálatára alkalmas, ezáltal képes az esetlegesen fennálló multimikotoxin-hatás kimutatására. Mintaként használhatunk kukoricát, búzát, illetve árpat. A műszerrel multiplex méréseket végezhetünk, amelyek a felsorolt hat toxin jelenlétét vizsgálják a mérni kívánt mintában (3. táblázat).

3. táblázat: A készülék által végzett többtoxinos mérések során vizsgált toxinok (Internet 7)

Többtoxinos (multiplex) megoldások	
Mikotoxin	Méréstartomány (ppb)
Aflatoxin - AFLA (AFB1, AFB2)	kukorica: 2-100 búza: 4-100
Deoxinivalenol - DON	búza és kukorica: 200-5000 árpa: 300-5000
Zearalenon – ZEA	30-500
Fumonizinek – FUM (FB1, FB2 és FB3)	500-5000
Ochratoxin A – OTA	5-100
Trichotecén 2 – T-2	50-500

A műszer a kompetitív immunassay, valamint az áramlási citometria módszereit ötvözi a mérés során. Az áramlási citometrián alapuló működési mód miatt a műszerben érvényesülnek az áramlási citométerekre jellemző sajátságok: tartalmaz egy áramlási, egy optikai, illetve egy elektronikai részt (Shapiro, 2003).

A kompetitív immunassay-nek köszönhetően a módszer gyöngyök felszínéhez kötött antitestek vizsgálatára szolgál. A mérés során felhasználásra kerül egy reagens, melyben az antigénként funkcionáló mikotoxinok fluoreszcens jelöléssel vannak ellátva és az antitestek

felületéhez képesek kötődni. A vizsgálni kívánt mintában lévő ugyancsak antigén funkciót betöltő mikotoxinok szintén rendelkeznek ezzel a kötődési képességgel, azonban fluoreszcens jelöléssel nincsenek ellátva. A mintában lévő jelöletlen antigének versengenek a reagens fluoreszcensen jelölt antigénjeivel. Amennyiben a jelöletlen antigén elfoglalja az antitest antigénkötő helyét, akadályozza, hogy a jelölt antigén kötődni tudjon, ezáltal az antigén mennyisége és a jelölés mértéke között fordított arányosságot fedezhetünk fel.

A módszer lehetővé teszi a mikotoxinok koncentrációjának megállapítását a fluoreszcens jel erősségének detektálása révén: minél erősebb a fluoreszcens jel, annál alacsonyabb a mikotoxinok előfordulása a vizsgált mintában. Az egyes toxinok a gyöngyök saját színe alapján különíthetők el.

A mérési folyamat rendkívül egyszerű: a mintákat előzetesen mintatartó edényekbe mérjük, majd az edényeket a készülékbe helyezve indíthatjuk is a mérést. A készülék az említett módszerek alkalmazásával 8 percen belül megállapítja, milyen toxinok fordulnak elő a mintában, illetve a toxinok pontos mennyiségéről is képet kaphatunk.

V. 1. 5. Statisztikai értékelés

Meg kell említenünk, hogy a leírt mérési módszer rendkívül költséges, ennek ellenére szükség van a mérések reprodukálhatóságának statisztikai úton történő bizonyítására. A reprodukálhatóság vizsgálata során azt akarjuk bebizonyítani, hogy a MycoFossTM készülék képes a vizsgált mikotoxinokat jól ismételve prediktálni. A reprodukálhatóság vizsgálata során a legjobb statisztikai mutató a relatív szórás lehet. Ennek kiszámításához kiválasztottunk egy mintát, amelyet hat különböző időpontban mértünk le. A mérés elvégzése során nyert adatokból megállapítottuk a relatív szórást, amely a sokaság szórását annak átlagához viszonyítja. Arra szolgál, hogy összehasonlítsa két eltérő átlaggal rendelkező minta adatainak pontosságát. A mért adatokat és a kiszámított értékeket az alábbi táblázatok tartalmazzák (4., 5., 6. táblázat):

4. táblázat: Az AC 2252 azonosítójú minta mikotoxintartalma

Mérés időpontja	Mikotoxintartalom					
	DON (ppm)	AFLA (ppb)	FUM (ppm)	OTA (ppb)	T2 (ppb)	ZEA (ppb)
2022. 12. 13. 16:33:30	0,32	4,85	0,47	0,00	0,00	28,60
2022. 12. 13. 16:41:54	0,29	4,88	0,46	0,00	0,00	30,02
2022. 12. 14. 14:56:27	0,30	2,38	0,35	0,00	0,00	22,99
2022. 12. 14. 15:04:33	0,27	2,07	0,34	0,00	0,00	20,71
2023. 01. 03. 13:23:10	0,30	4,50	0,34	0,00	0,00	28,21
2023. 01. 03. 13:31:20	0,27	4,62	0,32	0,00	0,00	16,99
2023. 01. 04. 14:43:30	0,32	4,31	0,42	0,00	0,00	36,91
2023. 01. 04. 14:51:42	0,33	4,38	0,44	0,00	0,00	34,11
2023. 01. 27. 11:56:37	0,30	2,80	0,40	0,00	0,00	42,06
2023. 01. 27. 12:05:12	0,27	3,21	0,37	0,00	0,00	18,28
2023. 02. 03. 13:40:32	0,36	3,35	0,47	2,06	0,00	30,17
2023. 02. 03. 13:48:50	0,26	3,63	0,47	0,00	0,00	22,63
Átlag és szórás:	0,30 ± 0,03	3,75 ± 0,98	0,41 ± 0,06	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	27,64 ± 7,66

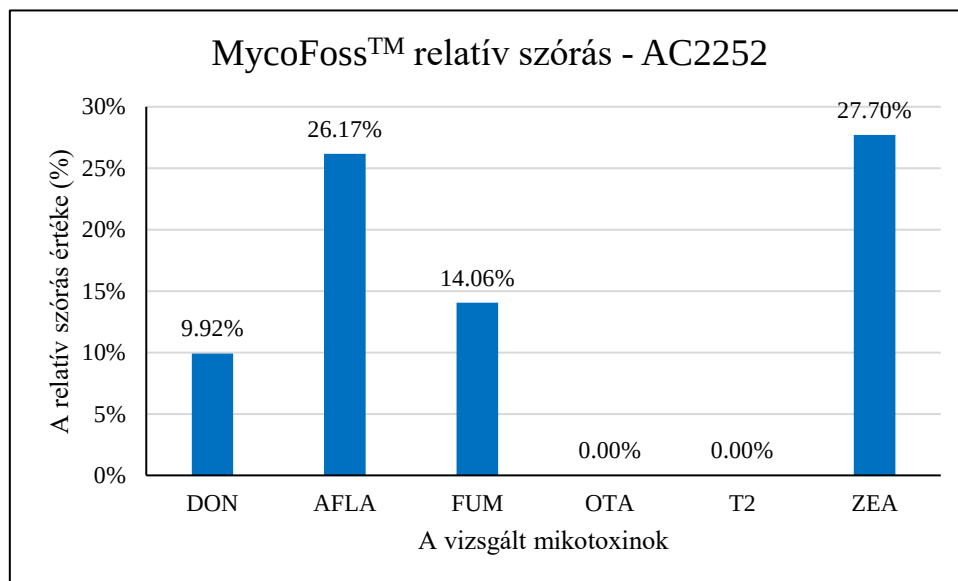
5. táblázat: Az AC2252 azonosítójú minta relatív szórásának kiszámításához szükséges átlag és szórás értékei

Átlag és szórás (az egész mintára toxinonként)					
DON (ppm)	AFLA (ppb)	FUM (ppm)	OTA (ppb)	T2 (ppb)	ZEA (ppb)
0,30 ± 0,03	3,75 ± 0,98	0,41 ± 0,06	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	27,64 ± 7,66

6. táblázat: Az AC2252 azonosítójú minta relatív szórása

MycoFoss™ relatív szórás - AC2252					
DON	AFLA	FUM	OTA	T2	ZEA
9,92%	26,17%	14,06%	0,00%	0,00%	27,70%

A kapott relatív szórás értékeit oszlopdiagramon ábrázolva az alábbi ábrához jutottunk (9. ábra):



9. ábra: A mért mikotoxinokhoz tartozó értékek relatív szórása

A relatív szórás értékei alapján elmondhatjuk, hogy abban az esetben, amikor alacsony százaléktérteket kaptunk a mintákban mért koncentrációértékek az átlag körül csoportosultak, míg magasabb értékek esetén nagyobb szóródást tapasztaltunk. A legmagasabb relatív szórás is 30% alatt maradt, ami esetünkben mindenképpen jónak tekinthető, mivel a MycoFoss™ specifikációja 30% alatti relatív szórás értékeket határoz meg.

Fentebb említettem, hogy az alkalmazott mérési módszer rendkívül nagy költségekkel jár, ezért a továbbiak során egyszeri méréseket fogunk végezni a partnerektől kapott kukoricamintákon. Ezt nagy biztonsággal megtehetjük, hiszen bizonyítottuk a módszer reprodukálhatóságát.

A *D. mellékletben* látható a vizsgált minták azonosítója, pontos származási helye, a mintában mért toxinok koncentrációja, a műszer mérési tartománya, valamint az egyes toxinokra vonatkozó határértékek. A határértékeket az 1881/2006. (XII. 19.) EK rendelet alapján határoztuk meg. Ezek az értékek az élelmiszerekben előforduló mikotoxinokra vonatkoznak. Hazánkban a kukorica élelmiszer célú felhasználása a legritkább, mégis az élelmiszerekre vonatkozó határértékeket vettük alapul a minták szennyezettségének értékelése során. Ennek oka az volt, hogy az 1881/2006. (XII. 19.) EK rendelet nagyságrendekkel szigorúbb értékeket állapított meg, mint a takarmányozási célokra felhasznált ajánlati értékek. Mint ahogyan az irodalmi összefoglalóban is említettem, 2023. április 25-én az Európai Bizottság kiadott egy újabb rendeletet az élelmiszerekre vonatkozó határértékekről, ez azonban az

érdeklődésünk tárgyát képező értékekben nem tér el a korábbi 1881/2006 (XII. 19.) EK rendeletben meghatározottaktól, valamint a készülék is a 2006-os rendeletnek megfelelően volt kalibrálva, így az elemzés során továbbra is ezeket a határértékeket vettük figyelembe.

V. 1. 6. Adatfeldolgozás módszere

A dolgozatban szereplő diagramokat Microsoft Excel programmal készítettem. Mikotoxinprofil felállításakor a két toxin koncentrációja közötti korreláció meghatározásához a program által kiszámított R^2 értéket használtam. Abban az esetben, ha pozitív korrelációt tapasztalunk, a toxinok értékei között egyenes arányosság mutatható ki. Negatív korreláció esetén fordított arányosság figyelhető meg az értékek között.

A minták veszélyességének értékelése Kachlek és munkatársai (Kachlek et al., 2016) nyomán készült. A vizsgálat lényegét az adta, hogy a határérték alapján meghatározott színskálázású mezők kaptak egy számértéket veszélyességük függvényében. Így a legvilágosabb színnel jelölt mező az 1 értékű és a legkevésbé veszélyes, míg a legsötétebb színnel jelölt mező a 20 értékű és a legveszélyesebb. Ezt követően a kapott számértékeket összeadva megkaptuk a végösszeget, amit szintén besorolhattunk a kapott értékek alapján felállított kategóriákba.

A mintavételi helyek térképen való megjelenítése ArcGIS 10.8 szoftverrel történt.

VI. Eredmények

Méréseim alkalmával 45 kukoricamintára vonatkozóan sikerült mikotoxinszinteket megállapítanom. A mérés eredményeit összefoglaló táblázatot a Mellékletek fejezet tartalmazza (*E. melléklet*). A vizsgált mintákat 4 csoportba osztottam aszerint, hogy a tapasztalt mikotoxinszint mennyivel haladta meg, vagy mennyivel maradt el a meghatározott határértékektől. Az így felállított csoportok a következők:

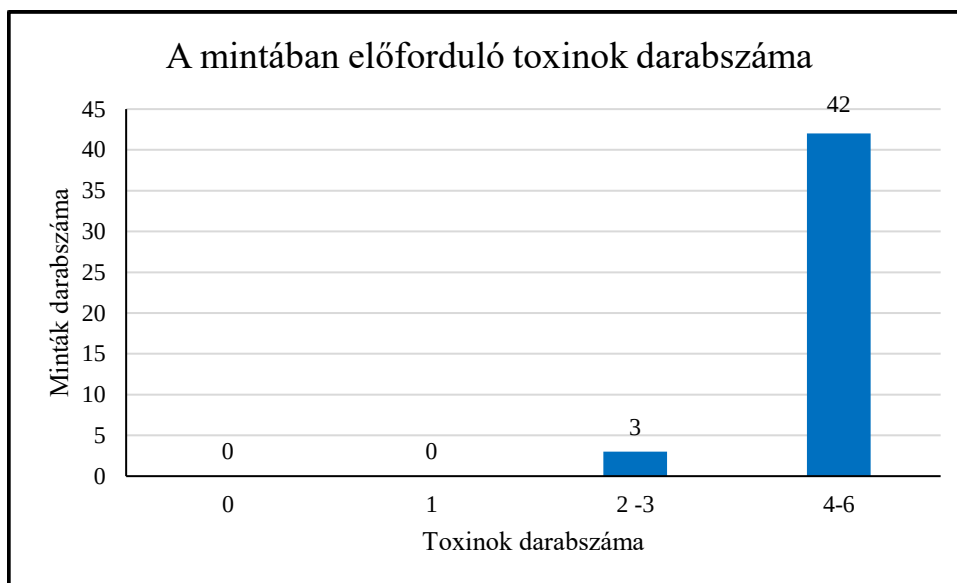
- LOQ alatt
- LOQ – határérték 90%
- határérték 90-110%
- határérték felett (110% felett)

A kapott adatokat több szempont szerint is értékelhetjük:

1. Megállapíthatjuk a minták mikotoxin fertőzöttségét, illetve azt, hogy pontosan hányféle mikotoxint tartalmaznak
2. Mikotoxinprofilt állíthatunk fel, ahol a mikotoxinok együttes előfordulását vizsgáljuk
3. Meghatározhatjuk, hogy mely mikotoxinok fordultak elő legmagasabb arányban
4. Vizsgálhatjuk az eredményeket mikotoxinok szerinti bontásban
5. A mintavételi helyek pontos ismeretében elhelyezhetjük térképen a településeket
6. Az egyes minták veszélyességének értékelésére is lehetőségünk van

VI. 1. A minták mikotoxin fertőzöttségének megállapítása

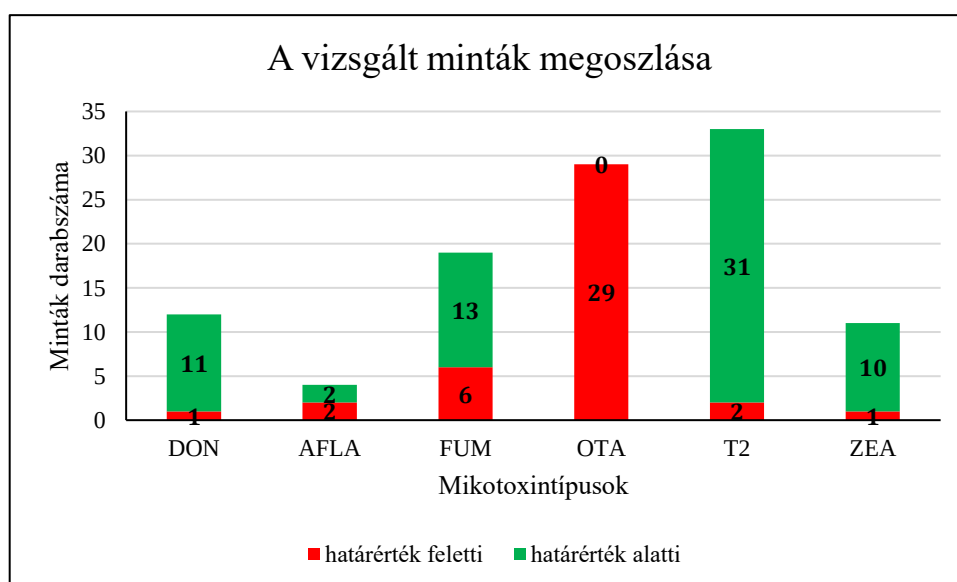
A mintákból 6 mikotoxin (deoxinivalenol, aflatoxin B1, B2, fumonizin B1+B2+B3, ochratoxin-A, T2-toxin, zearalenon) mérésére került sor. A mérési eredmények értékelése során először megvizsgáltam, hogy tartalmaznak-e mikotoxinokat.



10. ábra: A mintában előforduló toxinok darabszáma

A 10. ábra alapján elmondható, hogy a 45 darab vizsgált mintából 42 mintában mind a hat mikotoxin jelen volt, míg a maradék 3 esetben csak három mikotoxin megjelenését tapasztalhattuk, tehát a jövőben fel kell készülnünk a multimikotoxin hatásra. Olyan mintát nem találtunk, amely egy mikotoxint sem tartalmazott.

Ezt követően meghatároztuk, hogy a mintákból mennyi tartalmazta az adott mikotoxint határérték feletti, illetve határérték alatti koncentrációban. A vizsgálat eredményét a 11. ábra mutatja.



11. ábra: A vizsgált minták mikotoxintartalmának megoszlása

Az ábrán azt láthatjuk, hogy a deoxinivalenol esetén 11 minta a határérték alatti, míg 1 minta a határérték feletti kategóriába tartozott. Az aflatoxin B1-et tekintve mindkét kategóriába

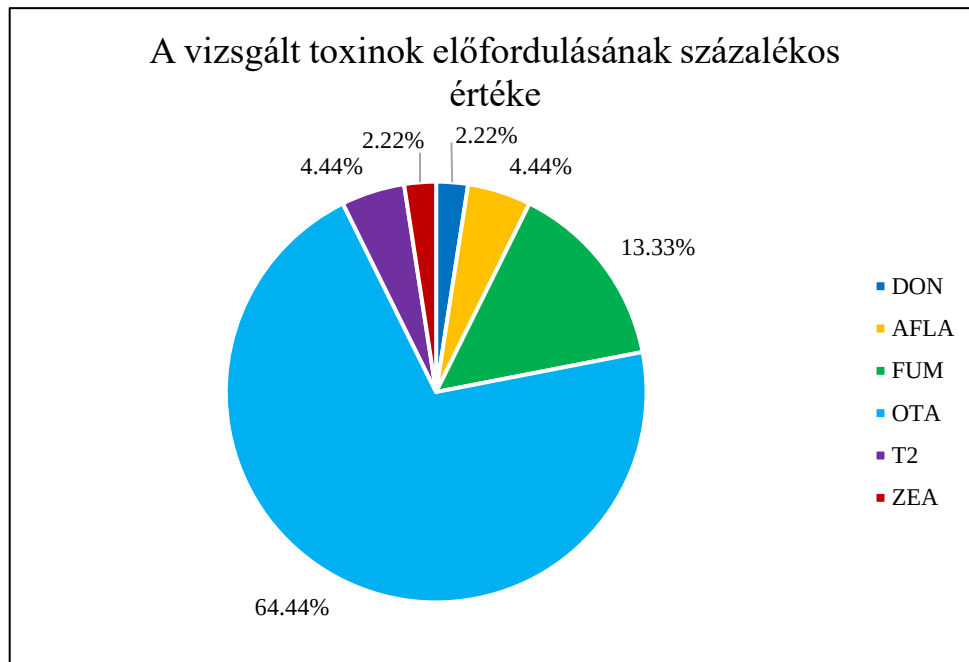
csupán 2 minta esett. A fumonizin B1+B2+B3-nál 13 minta tartozott a határérték alatti kategóriába, 6 pedig a határérték felettibe. Az ochratoxin-A esetében azt tapasztaltuk, hogy a minták többsége a határérték feletti csoportban foglalt helyet. A T2-toxin esetén 31 minta a határérték alatti, míg 2 minta a határérték feletti kategóriába esett. A zearalenon vizsgálatakor csupán egy olyan mintával találkoztunk, ami a határérték feletti koncentrációban tartalmazta a mikotoxint.

VI. 2. A mikotoxinok egymáshoz viszonyított mozgásának vizsgálata

Mikotoxinprofil készítésekor az egyes mikotoxinok együtt történő mozgásáról kaphatunk képet. Ehhez olyan diagramok készítésére van szükség, amelyek a hat vizsgált mikotoxin esetén mutatják az egyik toxin koncentrációját a másik koncentrációjának függvényében. Abban az esetben beszélhetünk együtt mozgásról, ha a két különböző mikotoxin koncentrációinak értéke egy egyenes mentén helyezkedik el, ekkor a két érték között pozitív korreláció van. Előfordulhat negatív korreláció is, ebben az esetben a két vizsgált mikotoxin együtt való mozgása nem figyelhető meg. Elkészítettük a mikotoxinok együttes előfordulását ábrázoló diagramokat, amelyekre a használt program egyenest illesztett és kiszámolta az egyeneshez tartozó R^2 értékeket, melyek a 0,0006 és 0,3024 közötti tartományban foglaltak helyet. Mivel az értékek alacsonyok voltak nem mutathattunk ki szignifikáns lineáris összefüggést két toxin között.

VI. 3. A mikotoxinok előfordulási arányának leírása

A felhasznált kukoricaminták tekintetében szemléletes lehet megállapítani a határértéket meghaladó koncentrációban előforduló mikotoxinok százalékos arányát. Ennek bemutatására szolgál a 12. ábra.



12. ábra: A határértéket meghaladó mikotoxinok előfordulásának százalékos értéke

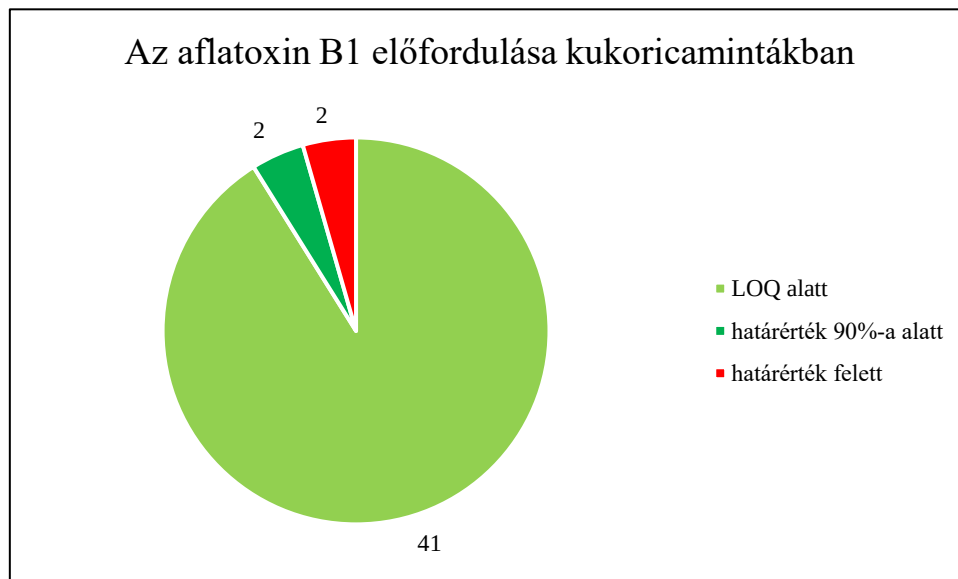
A kördiagramon azt láthatjuk, hogy az ochratoxin-A, valamint a fumonizin B1+B2+B3 fordultak elő legmagasabb arányban határértéket meghaladó mennyiségben.

A mintákban előforduló mikotoxinok arányának megállapításában a mért mikotoxinkoncentrációkat, illetve a mikotoxinokra vonatkozó határértékeket tartalmazó táblázat is a segítségünkre lehet (*E. melléklet*). A táblázat használatával is megállapíthatjuk, hogy mely mikotoxinok voltak azok, amelyek a legnagyobb arányban fordultak elő az előírt határértéket meghaladó koncentrációban. A táblázat alapján azt láthatjuk, hogy a K23/01-K23/08, a K23/10-K23/28, a K23/39, illetve a K23/42 mintákban az ochratoxin-A fordult elő a legnagyobb arányban, jócskán meghaladva a határértéket. A többi mikotoxin esetén csupán néhány kiemelkedő érték volt megfigyelhető a mintákban. Ilyen volt például a fumonizin B1+B2+B3 határértéket meghaladó koncentrációja a K23/01, K23/02, K23/04, K23/8, K23/10, illetve a K23/22 mintákban; az aflatoxin B1 határértéket meghaladó koncentrációja a K23/09 és K23/45 mintákban; a deoxinivalenol koncentrációja a K23/18 mintában, a T2-toxin koncentrációja a K23/23 és a K23/30 mintákban; illetve a zearalenon koncentrációja a K23/25 mintában. A többi minta esetén a mért mikotoxinkoncentrációk az elfogadható tartományon belül maradtak.

VI. 4. Az eredmények mikotoxinok szerinti bontásban történő értékelése

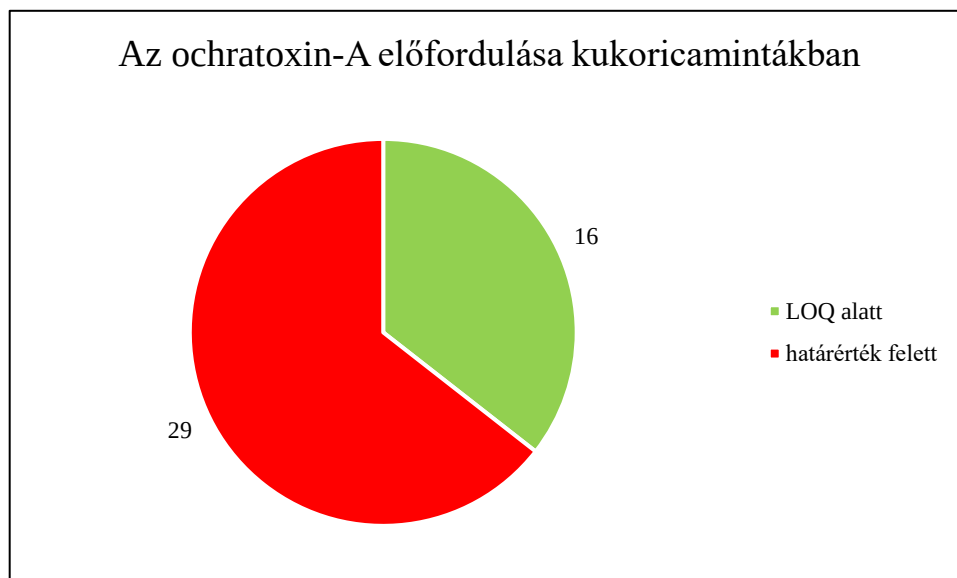
Az eredmények elemzését megtehetjük toxinok szerinti bontásban is. Ezt szemléltetik az alábbi diagramok (13-18. ábra). A koncentrációértékek elemzése során a határérték 90 %-a alatt elhelyezkedő mintákat mikotoxinmentesnek tekintettük a kis mennyiségben mért

mikotoxinkoncentráció miatt, és a színkódolás során zöld színnel láttuk el őket. A határérték 90-110 %-a közötti értékeket narancssárga jelöléssel láttuk el.



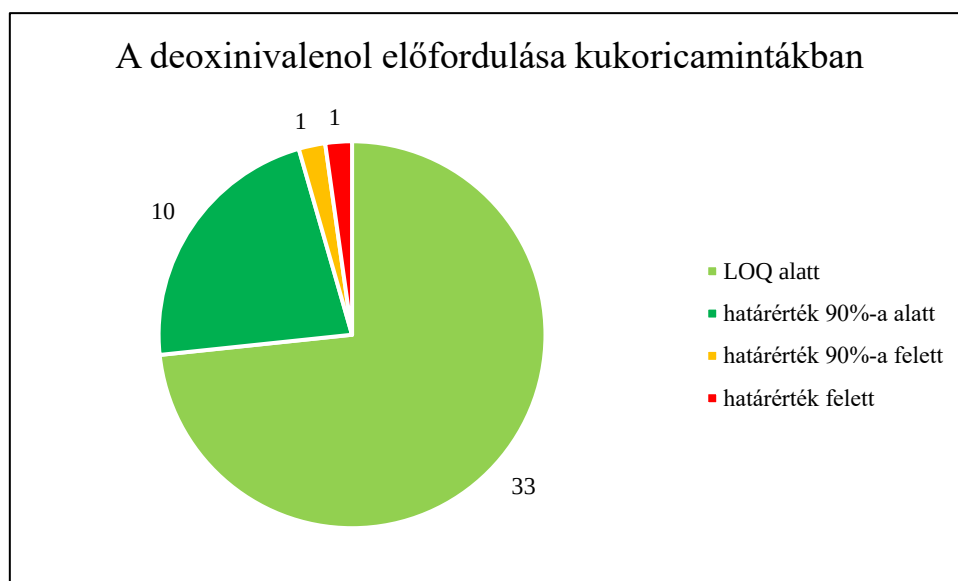
13. ábra: Az aflatoxin B1 előfordulása kukoricamintákban

Az aflatoxin B1 tekintetében a legtöbb eredményt a LOQ alatti kategóriában kaptuk, összesen 41 darabot. 2-2 minta volt besorolható a határérték 90 %-a alatti, illetve a határérték feletti csoportokba.



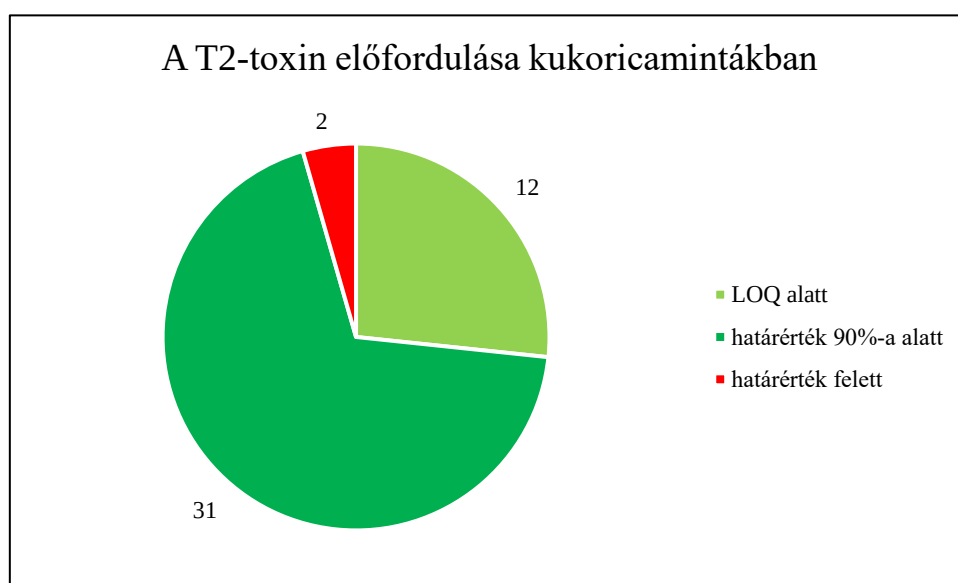
14. ábra: Az ochratoxin-A előfordulása kukoricamintákban

Az ochratoxin-A mérésekor 16 mintánk a LOQ alatti kategóriába tartozott, míg 29 minta esetén határérték feletti mikotoxinkoncentrációt tapasztalhattunk.



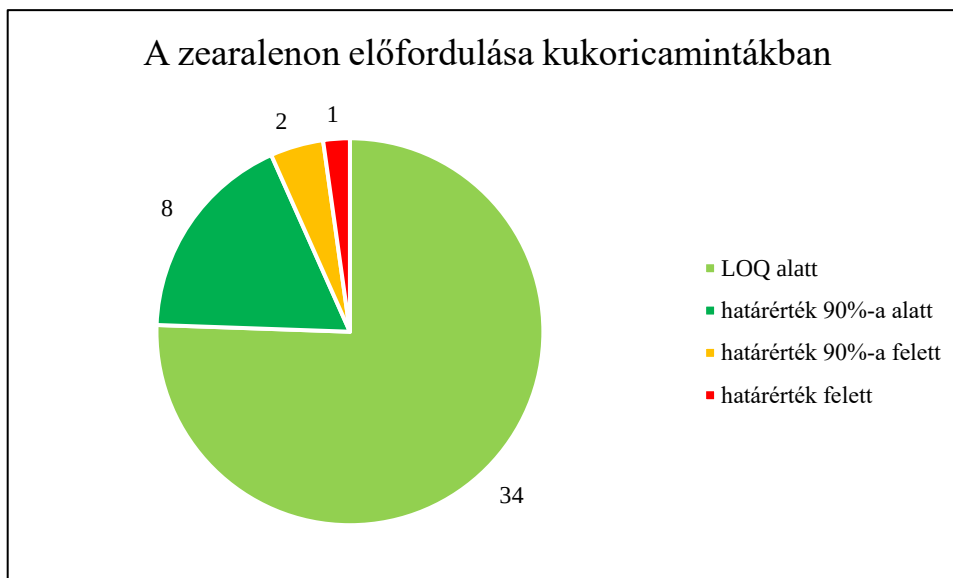
15. ábra: A deoxinivalenol előfordulása kukoricamintákban

A deoxinivalenol esetén elmondható, hogy a 45 mintából 33 esetben LOQ alatti koncentrációt mérhettünk. 10 minta tartozott a határérték 90 %-a alatti kategóriába. 1-1 minta foglalt helyet a határérték 90 %-a feletti, illetve a határérték feletti csoportokban.



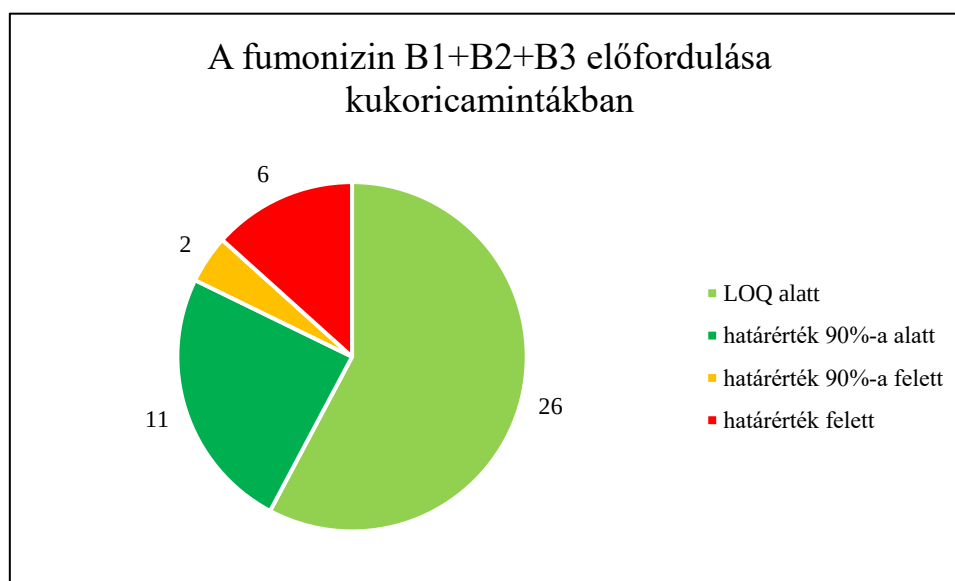
16. ábra: A T2-toxin előfordulása kukoricamintákban

T2-toxin mérésekor a legtöbb esetben olyan kukoricákat mértünk, amik a határérték 90 %-a alatt tartalmazták a mikotoxint. Ebben a csoportban 31 minta foglalt helyet. 12 esetben LOQ alatti mikotoxinszintet mérhettünk. Két mintánk esetében kaptunk a határértéket meghaladó eredményt.



17. ábra: A zearalenon előfordulása kukoricamintákban

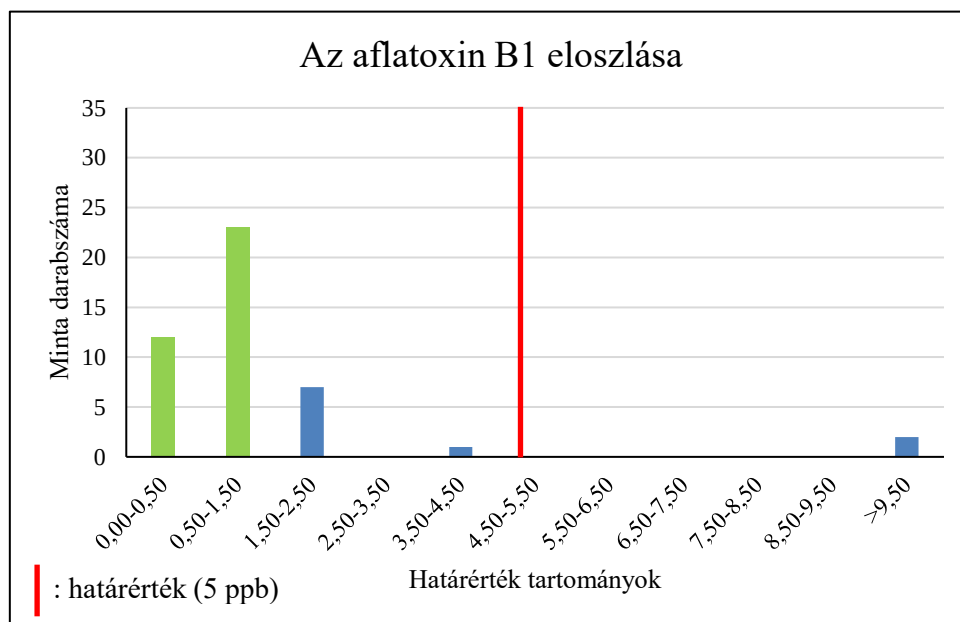
Zearalenon vizsgálatokor azt tapasztalhattuk, hogy 34 mintánk a LOQ alatti tartományban foglalt helyet. 8 minta a határérték 90 %-a alatti tartományba esett, kettő pedig meghaladta a határérték 90 %-át. Egy mintánk jelentősen kiemelkedett a többi közül, mivel a benne mért mikotoxinkoncentráció a határérték 8-szorosa volt.



18. ábra: A fumonizin B1+B2+B3 előfordulása kukoricamintákban

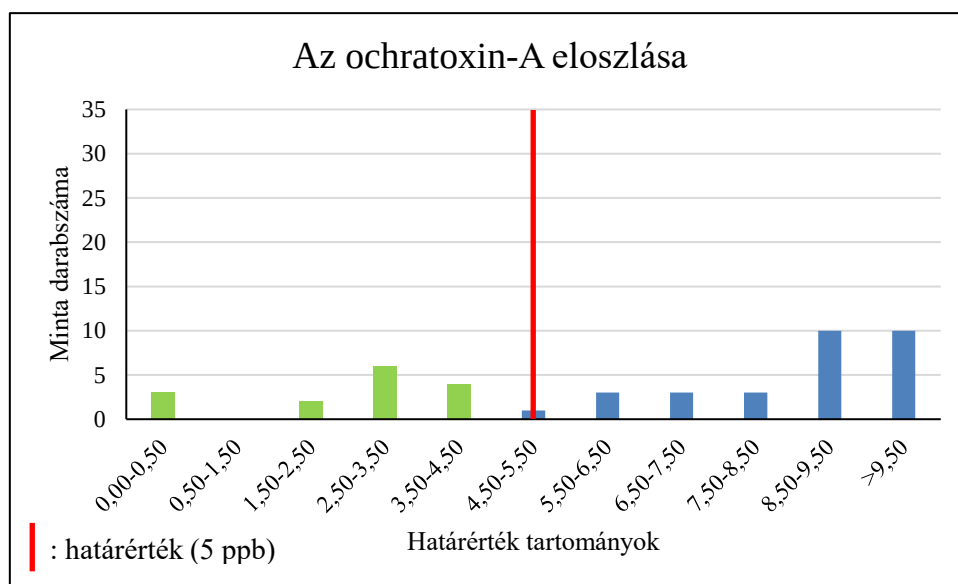
A fumonizin B1+B2+B3 vizsgálata során 26 olyan mintát mértünk, ahol a mikotoxintartalom a LOQ alatt maradt. 11 alkalommal a határérték 90 %-a alatti eredményt kaptunk. 2 esetben a határérték 90 %-át meghaladó értéket tapasztalhattunk. 6 mintában határérték feletti koncentrációban volt mérhető a fumonizin B1+B2+B3 koncentrációja.

Az eredmények értékelése során megállapítottuk az egyes mikotoxinokhoz tartozó eloszlásokat is (19-24. ábra). Az elkészült diagramok alapján azt a következtetést vonhattuk le, hogy a mintáink eloszlása egyetlen jól ismert statisztikai eloszlásnak sem felel meg. Az ábrák készítése során használt kategóriákat az *F. melléklet* tartalmazza. Az ábrákon látható piros vonalak a határértéket mutatják, amely a következőképpen alakul az egyes mikotoxinok esetén: aflatoxin B1-5 ppb, ochratoxin-A-5 ppb, deoxinivalenol-1750 ppb, T2-toxin-200 ppb, zearalenon-200 ppb, fumonizin B1+B2+B3-2000 ppb.



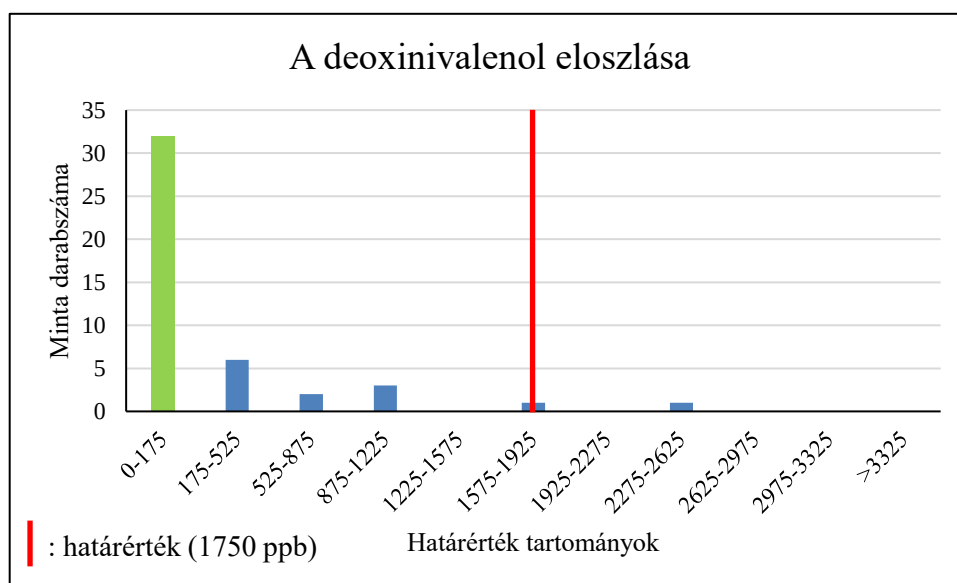
19. ábra: Az aflatoxin B1 eloszlása

Az aflatoxin B1 vizsgálata során arra az eredményre jutottunk, hogy a legtöbb minta a határérték 30%-ának megfelelő mennyiségben tartalmazta a mikotoxint. Jelentős csoport volt még a határérték 10%-át tartalmazó kategória is. A többi csoport vagy egyáltalán nem, vagy csak néhány mintát tartalmazott. Az eloszlás vizsgálatánál kiemelt jelentőséget kell tulajdonítanunk a határérték felett elhelyezkedő mintáknak, mivel ezek kiemelt veszélyt jelentenek, ha elfogyasztásra kerülnek. Az aflatoxin B1 esetén a határérték feletti tartományban kevés mintát találhattunk, azonban fontos hangsúlyozni, hogy legveszélyesebb toxinként a kapott eredmény nem elhanyagolható.



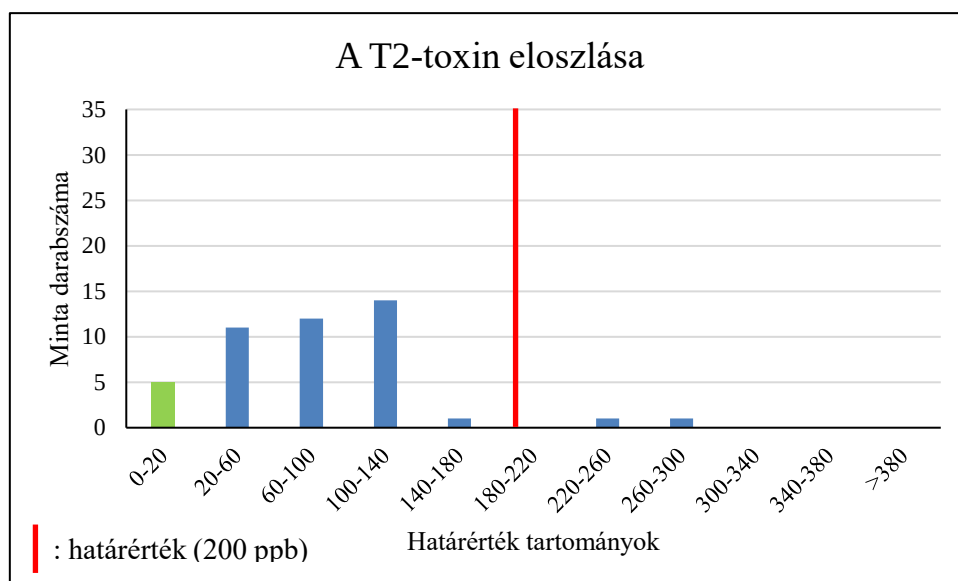
20. ábra: Az ochratoxin-A eloszlása

Az ochratoxin-A esetén megfigyelhető, hogy a határértéket meghaladó kategóriák tartalmazták a legtöbb mintát. Egy olyan csoportot láthattunk, amelyhez egyetlen minta sem tartozott.



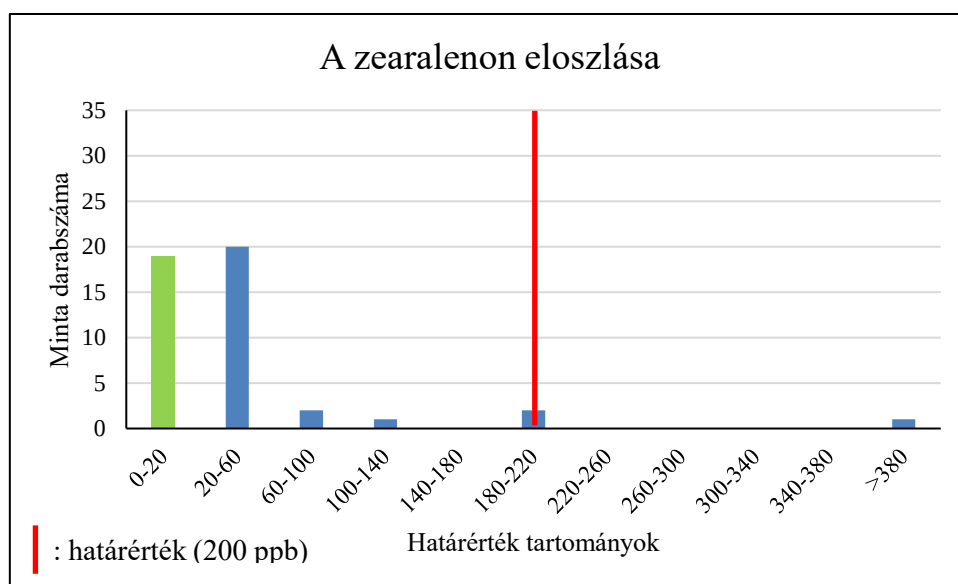
21. ábra: A deoxinivalenol eloszlása

A deoxinivalenol esetén elmondható, hogy a minták döntő többsége a LOQ alatti csoportba tartozott. A többi kategóriába egyáltalán nem, vagy csak néhány mintát tudtunk besorolni. Határérték feletti kategóriába ebben az esetben is csak kevés minta tartozott.



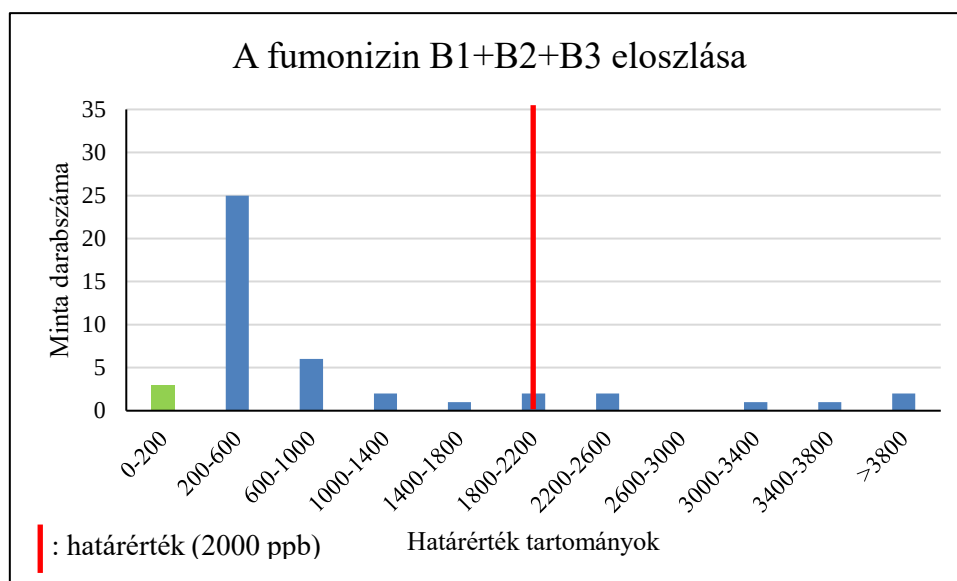
22. ábra: A T2-toxin eloszlása

A T2-toxin vizsgálatok az eredményül, hogy a legtöbb minta a határérték alatti kategóriákban helyezkedik el, míg a határértéket meghaladó csoportok szinte alig tartalmaznak mintákat.



23. ábra: A zearalenon eloszlása

Zearalenonnál a határérték 10, illetve 30 %-át tartalmazó kategóriák voltak a legnépszerűbbek. A csoportok jelentős része egy mintát sem tartalmazott. Határérték feletti koncentrációt egyetlen minta esetén mérhettünk csupán.



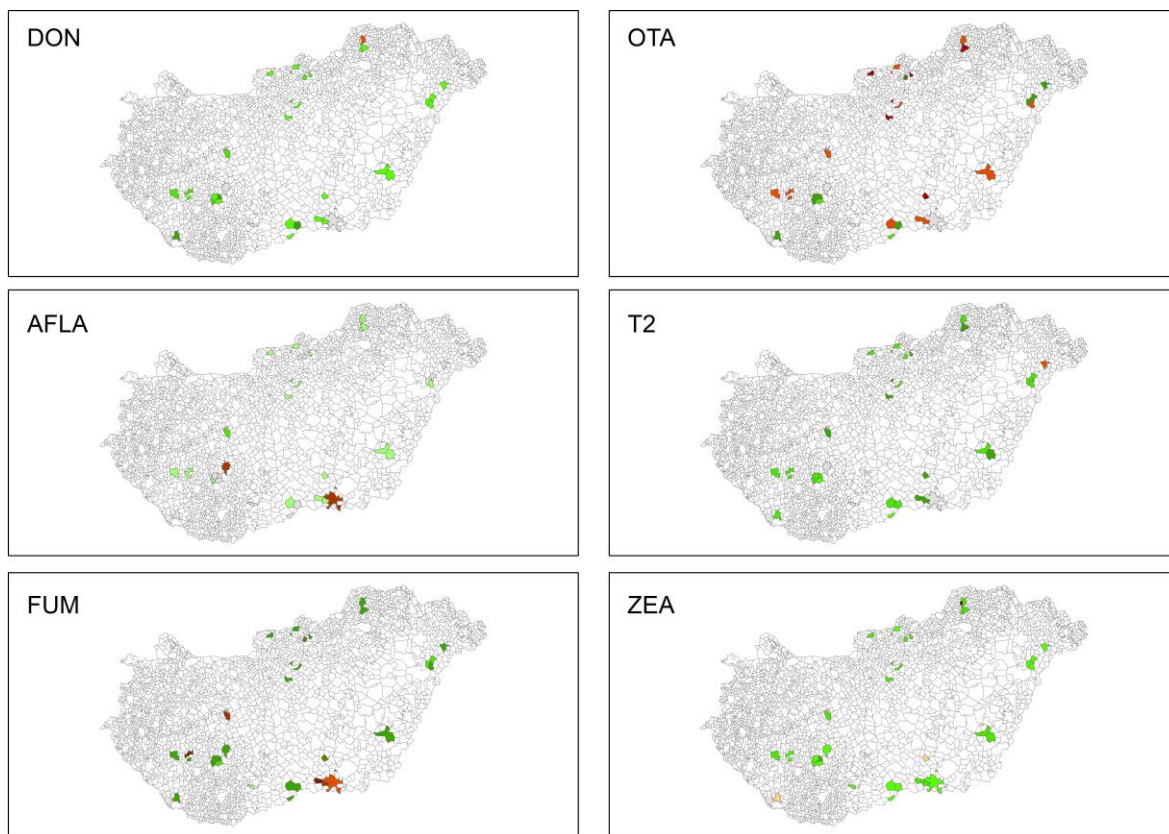
24. ábra: A fumonizin B1+B2+B3 eloszlása

A fumonizin B1+B2+B3 esetén a határérték 30%-át tartalmazó kategória volt a legtöbb mintát tartalmazó. E mikotoxin tekintetében azonban elmondható, hogy egy kategória kivételével az összes tartalmaz valamennyi mintát. Az ochratoxin-A után a fumonizinek esetén találtuk a legtöbb mintát a határérték feletti kategóriákban.

Az egyes mikotoxinok eloszlásának vizsgálata során az előfordulásokat ábrázoló kördiagramokhoz hasonlóan a 90-100% és a 100-110% közötti tartományokat egy csoportként ábrázoltam. Ez amiatt indokolt, mert a határérték 90-110 %-a közötti tartomány nem túl megbízható, mivel az egyes értékek könnyen átbillenhetnek határérték alatti tartományból határérték feletti tartományba. Ezt az átbillenést okozhatja például a mérőműszer pontatlansága, illetve az is, hogy a vizsgált mintákban a mikotoxinok eloszlása nem homogén. Ezen okokból kifolyólag szükséges a 90-110 % tartományba eső minták újbóli lemérése.

VI. 5. A mintavételi helyek térképen történő elhelyezése

Térinformatikai szoftver használatával lehetőségünk volt a minták származási helyének vaktérképen történő bejelölésére (25. ábra). A színkódolás az adott területről származó minta mikotoxin koncentrációjának megfelelően történt.



25. ábra: A minták származási helyeinek ábrázolása

7. táblázat: A vaktérképen látható színek kódokhoz tartozó határértéktartományok

	LOQ alatt
	LOQ – határérték 90%
	határérték 90-110%
	határérték felett - 110 % felett

A térképek alapján megállapíthatjuk, hogy a mintáink többsége az ország déli, illetve dunántúli részéről származott. A különböző területek penészgomba általi fertőzöttsége jelentős mértékben eltért: az *Aspergillus*ok által termelt mikotoxinok nagyobb arányban fordultak elő határértéket meghaladó koncentrációban, mint a *Fusarium*-fajok által termelt mikotoxinok. Az ábra és a jelmagyarázat segítségével megállapíthatjuk, hogy a különböző területek mintáinak mikotoxinkoncentrációja hogyan viszonyult a határértékhez.

A D. és E. mellékletben látható, hogy olyan minták is feldolgozásra kerültek, amelyek azonos mintavételi helyről származnak. Három ilyen esetet figyelhettünk meg. A Polgárdiból származó mintákban a T-2-toxin, illetve az ochratoxin-A mikotoxinok koncentrációja azonos határértéktartományba esik, a deoxinivalenol, az aflatoxin, illetve a fumonizin B1+B2+B3 esetén azonban adódtak eltérések. A Szegedről származó minták mikotoxintartalma a legtöbb mikotoxin esetén különböző kategóriákhoz tartozott, ezalól a

deoxinivalenol és a zearalenon jelentette a kivételt. E mikotoxin esetén mindkét mintában a LOQ érték alatti koncentrációt mérhettünk. A csokonyavisonai mintáink mikotoxintartalma a legtöbb toxin esetén azonos kategóriákba tartozott, míg a DON, illetve a ZEA esetén eltéréseket tapasztaltunk.

VI. 6. Az egyes minták veszélyességének értékelése

Az eredmények értékelésének ezen pontjához a *G. és H. melléklet* a jelmagyarázatokat, az *I. melléklet* pedig a meghatározott veszélyességi értékeket tartalmazza.

Az *I. mellékletben* szereplő értékek alapján azt tapasztalhattuk, hogy kevés olyan mintánk volt, ami zöld színekódolást kapott, tehát nem tekinthető veszélyesnek. Sajnos a minták többsége a mikotoxinok magas koncentrációban való jelenléte miatt a veszélyes kategóriák valamelyikébe esett. A legveszélyesebb mintáink bordó színnel lettek ellátva, tehát kiemelt veszélyességűnek tekinthetők. Megfigyelhetjük, hogy azok a minták tartoztak a veszélyes csoportokba, amelyekben több mikotoxin is magas pontszámot kapott (10,15,20). Ennek alapján a K23/25 azonosítóval rendelkező minta bizonyult a legveszélyesebbnek, mivel ebben az esetben három mikotoxin esetén is nagyon magas pontszámokat láthattunk. A legkevésbé veszélyesnek a K23/33 azonosítójú mintát találtuk, mivel benne az összes mikotoxin a legalacsonyabb pontszámot kapta.

VII. Eredmények megvitatása

VII. 1. A mérési módszer értékelése

A MycoFossTM rendkívül jó módszernek bizonyult, mivel a méréseket gyorsan, kellő pontossággal képes elvégezni. Használatát indokolja, hogy szemben a nagyműszeres mérésekkel bárhol használható, olcsóbb és nem igényel nagy szakértelmet.

VII. 2. A minták fertőzöttségének magyarázata

A mérési eredmények elemzése során láthattuk, hogy mintáinkban a vizsgált mikotoxinok mindig egy másik mikotoxinnal együtt jelentek meg, így minden esetben multimikotoxin hatás fennállásáról beszélhetünk. Ennek oka kereshető abban, hogy egy penészgomba többféle mikotoxin termeléséért is felelőssé tehető (Li et al., 2000), illetve, hogy az egyes mikotoxinokat különböző nemzetségekbe tartozó penészgombafajok termelik (Kovács, 2018). Különösen igaz ez a mintáinkban legmagasabb arányban előforduló ochratoxin-A esetén, amelyet legalább négy különböző penészgombafaj termel (Mézes, 2009).

A penészgombák szaporodására és toxinképzésére több környezeti tényező is hatással van. Ezek közül a tényezők közül a hőmérséklet, valamint a páratartalom bír legnagyobb jelentőséggel mind a szántóföldön, mind pedig a tárolás során (Szeitzné, 2013). Az irodalmi áttekintésben írtam a penészgombák csoportosításának lehetőségeiről, miszerint elkülöníthetünk raktári, illetve szántóföldi penészeket. Ez a megközelítés a szaporodáshoz optimális nedvességtartalom alapján is különbséget tesz a különböző nemzetségek fajai között: a raktári penészfajok az alacsonyabb, míg a szántóföldi penészfajok magasabb nedvességtartalom mellett szaporodnak jobban (Búza et al., 2008). Az egyre fokozódó klímaváltozás hatással van az említett környezeti tényezőkre: az emelkedő hőmérséklet következtében a penészgombák szaporodására, ezáltal pedig a gabonafélék mikotoxin szennyezettségének növekedésére számíthatunk (Szeitzné, 2013).

A különböző mikotoxinok megjelenését tekintve fontos tényező lehet még a termelő szervezet is. Ismeretes a penészgombák szántóföldi és raktári penészekre való felosztása, amely bár érvényes, de kiderült, hogy megfigyelhető a raktári penészekkel való fertőződés a szántóföldön is, főleg az *A. flavus* esetén aszályos meleg időszakokban. A szántóföldi penészként számontartott *Fusarium*-fajokra is igaz, hogy nem csak fő termelőési helyükön okozhatnak megbetegedéseket. Bár tárolás előtt a termést szárítási folyamatnak vetik alá, hogy a nedvességtartalmát csökkentsék, ezáltal megakadályozzák a szántóföldi penészek

raktározás során való szaporodását, mégis adódhatnak olyan esetek, amikor raktározás során tapasztalhatjuk a szántóföldi penészek szaporodását. Ez a jelenség leginkább akkor figyelhető meg, ha a szárítás és a tárolás körülményei nem megfelelőek, valamint a betakarításkor magas volt a nedvességtartalom (Búza et al., 2008).

VII. 3. A mikotoxinok egymáshoz viszonyított mozgásának magyarázata

Az eredmények értékelése során egy párosítás esetén sem tapasztaltunk pozitív korrelációt két toxin együttes előfordulása között. Magyarázatul szolgálhat, hogy legtöbb esetben a vizsgált mikotoxinokat különböző penészfajok termelték (Mézes, 2009). Ez azért jelentős, mert a különböző penészgombák eltérő ökológiai optimummal rendelkeznek a szaporodásukat, valamint a toxinképzésüket meghatározó tényezők tekintetében egyaránt és ez befolyásolja az adott környezetben való megjelenésüket (Kovács, 2018). A legtöbb *Fusarium*-faj szaporodásához és toxinképzéséhez a magasabb hőmérséklet (22-30 Celsius) az optimális, de előfordulnak olyan fajok is, melyek alacsonyabb hőmérsékleten képesek szaporodni és mikotoxinokat termelni (6-15). Az *Aspergillusok*, valamint a *Penicilliumok* egyaránt a magasabb hőmérsékletet preferálják szaporodásukhoz és a toxintermeléshez is (25-35 Celsius) (Han et al., 2018; Kotowicz et al., 2014; Nazari et al., 2014; Samapundo et al., 2005; Sohár, 2007; Valencia-Quintana et al., 2020; Magan & Aldred, 2005).

VII. 4. A mikotoxinok előfordulási arányának magyarázata

Az eredmények azt mutatják, hogy a legmagasabb arányban az ochratoxin-A fordult elő a mintáinkban, emellett a fumizin B1+B2+B3 arányáról érdemes említést tenni. Az ochratoxin-A arányát igazolhatjuk azzal, hogy termelésére több penészgombafaj is képes (Mézes, 2009). Mindkét esetben érvényesek a szántóföldi és raktári penészekkel kapcsolatban az VI. 2. pontban leírt ismeretek: egyik csoport képviselői sem csak a termelődési helyükön képesek fertőzést okozni. Mind a raktári, mind pedig a szántóföldi penészgombák esetén meghatározó tényező lehet spóráik jelenléte: megtalálhatóak mind a talajban, mind a levegőben. A szántóföldi gombák spórái a légmozgásnak köszönhetően érintkezhetnek a növényi részekkel és megtörténhet a kontamináció. A raktári gombák spórái a talajban való előfordulásuk révén szennyezik a növényeket, a szél által bekerülhetnek a raktárakba is, ezáltal növelik a fertőzés kockázatát (Búza et al., 2008).

VII. 5. Az eredményeket mikotoxinok szerinti bontásban történő értékelése és a mintavételi helyek közötti különbségek magyarázata

Az eredmények ismertetése során ábráztuk az egyes mikotoxinok eloszlását a határérték függvényében. Egyik mikotoxin esetén sem fedeztünk fel törvényszerűséget az eloszlással kapcsolatban. Ez magyarázható azzal, hogy a vizsgált minták az ország különböző területeiről származtak, így a termést ért abiotikus környezeti tényezők nagyban különbözhetnek, amelyek befolyásolták a különböző gombák szaporodóképességét és mikotoxintermelését egyaránt (Kovács, 2018). Az ország különböző pontjairól, illetve az azonos településekről származó minták esetén tapasztalt különbségeket több tényező is befolyásolhatja, amelyek a következők lehetnek: talajművelés, a vetés ideje, vetésforgó alkalmazása, az elvetett kukorica hibrid típusa, öntözés, növényvédőszer alkalmazása. Ezek az intézkedések a szántóföldön történő fertőzések kivédésére szolgálnak. Mivel a penészgombák képesek a növényi maradványokon megtelepedni, ezért betakarításkor azok eltávolításával megakadályozható a mikotoxinokat termelő gombák szaporodása és felkészíthető a magágy a következő vetésre. Célszerű a vetés idejét úgy időzíteni, hogy a fejlődő magvak a fertőződésre érzékeny szakaszban ne legyenek hőstressznek kitéve. A vetésforgó alkalmazása során arra kell ügyelni, hogy gabonaféléken kívül olyan növények kerüljenek vetésre, amelyek ellenállóak a penészgombákkal szemben (pl: pillangósok), ugyanis a kukorica monokultúrák létrehozásakor fennáll a veszélye, hogy a penészgombák spórája felhalmozódik a talajban, ezáltal a termés mikotoxinokkal való fertőződésének esélye nő. Amennyiben lehetséges, olyan hibrideket kell alkalmazni, amelyek rezisztensek a gombafertőzésekre. A szárazság jelentős stresszfaktor a növények számára, amelyet öntözéssel ki tudunk védeni. Arra azonban figyelni kell, hogy minden növény egyenletesen kapja meg a szükséges vízmennyiséget. Virágzáskor az öntözés kerülendő, mivel kedvező feltételeket teremt a penészgombák szaporodásának. A penészgombák szaporodásának visszaszorításában megoldást jelenthet a gombaölő szerek alkalmazása: a vetőmag csávázása gátolja a talajban terjedő kórokozók szaporodását. Mivel a penészgombák főleg virágzáskor fertőzik meg a növényt, így a növényvédőszer alkalmazása ebben az időszakban javasolt (Szeitzné, 2009, 2013).

A penészgombák elleni védekezés a betakarítás és a tárolás során alkalmazott helyes gyakorlat alkalmazásával is lehetséges. A termés betakarításakor törekedni kell a mechanikai sérülések elkerülésére, mivel ezek lehetővé teszik a gombák elszaporodását. A betakarítást lehetőleg száraz időben kell végezni. Aratás után a termés nedvességtartalmát minél hamarabb 14% alá kell csökkenteni, hogy megakadályozzuk a penészgombákkal való

fertőződést. A szárítást megelőzően és tárolás során a kupacokban történő felhalmozás idejét minimalizálni kell. Szárítás után a termést tiszta, fertőtlenített, jól szellőző, alacsony hőmérsékletű és páratartalmú tárolókban kell elhelyezni. A tárolás során javasolt a tárolótér átszellőztetése a páralecsapódás megelőzése miatt (Szeitzné, 2013).

VII. 6. Az egyes minták veszélyességének magyarázata

A minták veszélyességének megállapítása során a határérték kategóriákat figyelembe véve adtunk pontszámot az egyes mintáknak. Mivel az ochratoxin-A magas koncentrációban fordult elő, ezért a legtöbb minta a veszélyes kategóriák valamelyikébe tartozott (Kachlek et al., 2016).

Eredményeink alapján egyértelműen megállapítható, hogy a multimikotoxin hatás fennállásáról beszélhetünk. Bár a téma még kevésbé tanulmányozott, azt azonban tudni lehet a jelenségről, hogy az egymással kölcsönhatásba lépő mikotoxinok szinergista, illetve antagonista hatást is kifejthetnek, egymás hatását erősítve, illetve gátolva (Grenier & Oswald, 2011). A klímaváltozás még indokoltabbá teszi a jelenség jövőbeli vizsgálatát, mivel olyan penészgomba fajok szaporodását teszi lehetővé, amelyek eddig nem, vagy csak kisebb mértékben voltak jellemzőek hazánkra (Szeitzné, 2013).

VIII. Következtetés

Az elvégzett vizsgálatokból számos következtetés levonható:

- a mikotoxinprofil felállítása során készített ábrákból láthattuk, hogy a mikotoxinkoncentrációk értékeit tekintve alacsony-alacsony, magas-alacsony és alacsony-magas párosítások is előfordultak, viszont magas-magas párt nem tartalmaztak a vizsgált mintáink. Ebből, és az illesztett egyenes R^2 értékéből is az következik, hogy egyértelműen nincs pozitív korreláció két toxin jelenléte között. A magas-magas pár hiánya arra utalhat, hogy az egyes mikotoxinokat termelő penészgombafajok között kompetitív kizárás valósul meg: az erősebb kompetítor győzedelmeskedik és az általa termelt mikotoxin fog megjelenni, akadályozva ezzel a másik penészgombafaj által termelt mikotoxin magas koncentrációban való előfordulását az adott mintában. Ezen hipotézis alátámasztására azonban nem rendelkezünk elegendő mennyiségű adattal, így statisztikailag nem tudjuk bizonyítani feltevésünket. A bizonyításhoz további vizsgálatokra lenne szükség.
- az azonos településekről származó minták esetén megállapíthattuk, hogy adott térségen belül is nagy eltérések tapasztalhatók az egyes toxinok koncentrációi között.
- a mérés során magas mikotoxin előfordulásokat, a minták veszélyességének értékelése során közepes, illetve magas kockázatú tételeket találtunk, emiatt a vizsgált tételek felhasználását mindenképpen fontolóra kell venni.
- eredményeink alapján a klímaváltozásról szóló előrejelzések beigazolódni látszanak, ezért a szántóföldi és raktári penészek a jövőben kevésbé lesznek elkülöníthetőek.
- fontos kiemelni, hogy a multimikotoxin probléma valós gondot jelent, mivel a vizsgált mintáink között egy sem volt teljesen toxinmentes. Ezért olyan vizsgálati módszerek fejlesztése és alkalmazása válik szükségessé, amelyek képesek a multimikotoxin hatás detektálására és monitorozására.

IX. Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom témavezetőimnek Dr. Czéh Árpádnak és Dr. Szemethy László Róbertnek mindenekelőtt azért, hogy diákjuk lehettem és azért az iránymutatásért és rengeteg segítségért, ami nélkül ez a dolgozat nem jöhetett volna létre.

Köszönöm Dr. Pirkhoffer Ervin Tanár Úrnak a topográfiai ábrák elkészítésében való közreműködést.

Köszönettel tartozom a Soft Flow Kft. munkatársainak: Szörényi Tamásnak és Tigyi Petrának a mérések kivitelezésében és a mérési eredmények statisztikai értékelésében nyújtott segítségükért.

X. Irodalomjegyzék

X. 1. Bibliográfikus hivatkozások

- Al-Fakih, A. A. (2014). Overview on the fungal metabolites involved in mycopathy. *Open Journal of Medical Microbiology*, 04(01), 38–63. <https://doi.org/10.4236/ojmm.2014.41006>
- Ali, O., Mézes, M., Balogh, K., Kovács, M., & Szabó, A. (2021). The Effects of Mixed *Fusarium* Mycotoxins at EU-Permitted Feed Levels on Weaned Piglets' Tissue Lipids. *Toxins*, 13(7), 444. <https://doi.org/10.3390/toxins13070444>
- Ali, O., Mézes, M., Balogh, K., Kovács, M., Turbók, J., & Szabó, A. (2022). Fumonisin B series mycotoxins' dose dependent effects on the porcine hepatic and pulmonary phospholipidome. *Toxins*, 14(11), 803. <https://doi.org/10.3390/toxins14110803>
- Anonymus (2012). Mikotoxin-veszély a tenyészbarmfi állományokban. *Agro Napló*, 9, 88. <https://www.agronaplo.hu/szakfolyoirat/2012/09/pr/mikotoxin-veszely-a-tenyeszbarmfi-allomanyokban> (2023. 03. 04.)
- Anonymus (2021). A mikotoxinok hatása a szarvasmarhák szaporodásbiológiájára. *Agro Napló*, 2, 103. <https://www.agronaplo.hu/szakfolyoirat/2021/02/pr/a-mikotoxinok-hatasa-a-szarvasmarhak-szaporodasbiologiajara> (2023. 03. 04.)
- Bartók, T., Szécsi, Á., Szekeres, A., Mesterházy, Á., & Bartók, M. (2006). Detection of new fumonisin mycotoxins and fumonisin-like compounds by reversed-phase high-performance liquid chromatography/electrospray ionization ion trap mass spectrometry. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 20(16), 2447–2462. <https://doi.org/10.1002/rcm.2607>
- Bennett, J. W., & Klich, M. A. (2003). Mycotoxins. *Clinical Microbiology Reviews*, 16(3), 497–516. <https://doi.org/10.1128/cmr.16.3.497-516.2003>
- Binder, S., Schwartz-Zimmermann, H., Varga, E., Bichl, G., Michlmayr, H., Adam, G., & Berthiller, F. (2017). Metabolism of zearalenone and its major modified forms in pigs. *Toxins*, 9(2), 56. <https://doi.org/10.3390/toxins9020056>
- Blount, W. P. (1961). „Turkey X Disease”. *Journal of British Turkey Federation*, 9(52), 52-61.
- Bush, B. J., Carson, M. L., Cubeta, M. A., Hagler, W. M., & Payne, G. A. (2004). Infection and fumonisin production by *Fusarium verticillioides* in developing maize kernels. *Phytopathology*, 94(1), 88–93. <https://doi.org/10.1094/phyto.2004.94.1.88>
- Búza, L., Denkinger, G., Domahidy, G., Holló-Szabó, P., Izing, S., Józwiak, Á., Kolozsvári, T., Kunsági, Z., Kutasi, O., Marton, Zs., & Rőzséné Büki, E. (2008). A takarmányokban előforduló mikroszkópikus gombák. In Búza, L. (szerk.), *Lovak takarmányozási eredetű idegrendszeri megbetegedései* (pp. 27-30). Magyar Állatorvosok Világszervezete. <https://portal.nebih.gov.hu/documents/10182/21392/Lteim.pdf/e12a74f1-1d18-4d6a-8142-413b1e24d320> (2024. 04. 20.)

- Christensen, C. M., Nelson, G. H., & Mirocha, C. J. (1965). Effect on the White Rat Uterus of a Toxic Substance Isolated from *Fusarium*. *Applied Microbiology*, 13(5), 653–659. <https://doi.org/10.1128/am.13.5.653-659.1965>
- Cotty, P. J., & Jaime-Garcia, R. (2007). Influences of climate on aflatoxin producing fungi and aflatoxin contamination. *International Journal of Food Microbiology*, 119(1–2), 109–115. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2007.07.060>
- Eppley, R. M. (1975). Methods for the detection of trichothecenes. *Association of Official Analytical Chemists*, 58(5), 906-908. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1158833/> (2024. 03. 15.)
- Farkas, J., Szeitzné Szabó, M., & Mohácsiné Farkas, Cs. (2014). Mikotoxinok álarcban - új takarmány- és élelmiszerbiztonsági kihívás? *Élelmiszervizsgálati Közlemények, LX* (3), 256-259. https://acta.bibl.u-szeged.hu/79626/1/elelmiszervizsgalati_kozlemenyek_2014_03_256-259.pdf (2024. 03. 04.)
- Feier, D., & Tofana, M. (2009). Ochratoxin A – Toxicological Aspects. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Agriculture*, 66(2), 308-312. <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-agr:3748>
- Ghareeb, K., Awad, W. A., Böhm, J., & Zebeli, Q. (2014). Impacts of the feed contaminant deoxynivalenol on the intestine of monogastric animals: Poultry and swine. *Journal of Applied Toxicology*, 35(4), 327–337. <https://doi.org/10.1002/jat.3083>
- Grenier, B., Oswald, I.P. (2011) Mycotoxin co-contamination of food and feed: meta-analysis of publications describing interactions. *World Mycotoxin J.*, 4. 285-313. <https://pdfs.semanticscholar.org/d598/2f9bccdfeaa068600a9596b2fb4197ad1a47.pdf> (2024. 03. 02.)
- Han, Z., Shen, Y., Di Mavungu, J. D., Zhang, D., Nie, D., Jiang, K., De Saeger, S., & Zhao, Z. (2018). Relationship between environmental conditions, TRI5 gene expression and deoxynivalenol production in stored *Lentinula edodes* infected with *Fusarium graminearum*. *World Mycotoxin Journal*, 11(2), 177–186. <https://doi.org/10.3920/wmj2017.2245>
- Kachlek, M., Szabó-Fodor, J., & Kovács, M. (2016). Rabbits in mycotoxin research at Kaposvár University. In 28. *Nyúltenyésztési Tudományos Nap* (pp. 71-76). https://real.mtak.hu/40148/1/15_Kachlek_Rabbits_mycotoxin_res_at%20KU_Kachlek%20et%20al_OK.pdf (2024. 04. 30.)
- Kanora, A., & Maes, D. (2009). The role of mycotoxins in pig reproduction: a review. *Veterinarni Medicina*, 54(12), 565-576. <http://hdl.handle.net/1854/LU-890458> (2024. 01. 26.)
- Kimura, M., Tokai, T., Takahashi-Ando, N., Ohsato, S., & Fujimura, M. (2007). Molecular and genetic studies of *Fusarium* trichothecene biosynthesis: Pathways, genes, and evolution. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 71(9), 2105–2123. <https://doi.org/10.1271/bbb.70183>
- Kormos, M. (2003). Mikotoxinok és hatásuk a humán táplálkozásban. *Tudományos közlemények*, 24, 76-82. <https://acta.bibl.u-szeged.hu/21247/> (2023. 01. 02.)

- Kőszegi, T., & Poór, M. (2016). Ochratoxin a: Molecular interactions, mechanisms of toxicity and prevention at the molecular level. *Toxins*, 8(4), 111. <https://doi.org/10.3390/toxins8040111>
- Kotowicz, N.K., Frąc, M., & Lipiec, J. (2014). The Importance of *Fusarium* Fungi in Wheat Cultivation–Pathogenicity and Mycotoxins Production: A review. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 21 (2), 3326–3343. <https://m.elewa.org/JAPS/2014/21.2/3BLOCKED.pdf> (2024. 03. 16.)
- Kovács, F. (2001). Penészgombák–mikotoxinok. In *Penészgombák - mikotoxinok a táplálékláncban* (pp. 13-20). MTA Agrártudományok Osztálya.
- Kovács, M. (2018). Mikotoxinok hatása az életminőségünkre. *Acta Agraria Kaposváriensis*, 22(2), 33–45. <https://doi.org/10.31914/aak.2273>
- Kovács, M. (2019). Állati eredetű élelmiszer-alapanyagok mikotoxin-szennyezettsége. In Babinszky, L. & Halas, V. (szerk.), *Innovatív takarmányozás* (pp. 757-800). Akadémia Kiadó. DOI: [10.1556/9789634540571](https://doi.org/10.1556/9789634540571)
- Kovács, M., Horn, P., Magyar, T., Tornyos, G., Pósa, R., Mézes, M., Cseh, S., Szabó, A., & Szabó-Fodor, J. (2016). A fumonizin B1 mikotoxin a táplálékláncban és egészségkárosító hatásai. In: *A Magyar Buiatrikus Társaság XXVI. Nemzetközi Kongresszusa: In Memoriam Kovács Ferenc Nemzetközi Állatorvos és Állattenyésztő Kongresszus, Állatorvostudományi Egyetem, Budapest*, pp. 38-43. ISBN 978-963-87942-8-4 <https://real.mtak.hu/47619/> (2023. 01. 23.)
- Kovács, M., Romvári, R., Orova, Z., Kovács, F., & Horn, P. (2003). A fumonizin B1 magzatkárosító hatásának vizsgálata sertésben és házinyúlban. *Acta Agraria Kaposváriensis*, 7(1), 9-17. <https://journal.uni-mate.hu/index.php/aak/article/view/1637> (2023. 01. 23.)
- Kubena, L., Edrington, T., Harvey, R., Buckley, S., Phillips, T., Rottinghaus, G., & Casper, H. (1997). Individual and combined effects of fumonisin B1 present in *Fusarium moniliforme* culture material and T-2 toxin or deoxynivalenol in broiler chicks. *Poultry Science*, 76(9), 1239–1247. <https://doi.org/10.1093/ps/76.9.1239>
- Kulcsár, S., Kövesi, B., Balogh, K., Zándoki, E., Ancsin, Z., Márta, B. E., & Mézes, M. (2021). Effects of *Fusarium* mycotoxin exposure on lipid peroxidation and glutathione redox system in the liver of laying hens. *Antioxidants*, 10(8), 1313. <https://doi.org/10.3390/antiox10081313>
- Li, Y. C., Ledoux, D. R., Bermudez, A. J., Fritsche, K. L., & Rottinghaus, G. E. (2000). The individual and combined effects of Fumonisin B1 and Moniliformin on performance and selected immune parameters in Turkey poults. *Poultry Science*, 79(6), 871–878. <https://doi.org/10.1093/ps/79.6.871>
- Logrieco, A., Mulé, G., Moretti, A., & Bottalico, A. (2002). Toxigenic *Fusarium* species and mycotoxins associated with maize ear rot in Europe. *European Journal of Plant Pathology*, 108, 597-609. https://www.academia.edu/13011012/Toxigenic_Fusarium_species_and_mycotoxins_associated_with_head_blight_in_small_grain_cereals_in_Europe (2024. 03. 16.)

- Magan, N., & Aldred, D. (2005). Conditions of formation of ochratoxin A in drying, transport and in different commodities. *Food Additives & Contaminants*, 22(1), 10–6. <https://doi.org/10.1080/02652030500412154>
- Magan, N., & Medina, A. (2016). Integrating gene expression, ecology and mycotoxin production by *Fusarium* and *Aspergillus* species in relation to interacting environmental factors. *World Mycotoxin Journal*, 9(5), 673–684. <https://doi.org/10.3920/wmj2016.2076>
- Mateo, E., Tonino, R. P., Canto, A., Monroy Noyola, A., Miranda, M., Soria, J. M., & Garcia Esparza, M. A. (2022). The neurotoxic effect of ochratoxin-A on the hippocampal neurogenic niche of adult mouse brain. *Toxins*, 14(9), 624. <https://doi.org/10.3390/toxins14090624>
- Mézes, M. (2009). Mikotoxikózisok. In *Takarmánytoxikológia* (pp. 99). Egyetemi jegyzet. Gödöllő. <http://takt.mkk.szie.hu/tananyagok.htm> (2023. 06. 28.)
- Milani, J. M. (2013). Ecological conditions affecting mycotoxin production in cereals: A Review. *Veterinárni Medicina*, 58(8), 405–411. <https://doi.org/10.17221/6979-vetmed>
- Miller, J. D. (2001). Factors that affect the occurrence of Fumonisin. *Environmental Health Perspectives*, 109 (2), 321–324. <https://doi.org/10.1289/ehp.01109s2321>
- Mirocha, C. J., Christensen, C. M., & Nelson, G. H. (1971). F-2(Zearalenone) Estrogenic Mycotoxin from *Fusarium*. In Ajl, S. J., Kadis, S. & Ciegler, A. (Eds.), *Algal and Fungal toxins* (pp. 107–138). Academic Press.
- MTA Állatorvos-tudományi Bizottsága. (2003). Mikotoxin határértékek takarmánykeverékekben. *Állattenyésztés és Takarmányozás*, 52, 393–396. <https://mta.hu/iv-osztaly/az-mta-agrartudomanyok-osztalya-javaslat-a-gazdasagi-allatok-keverektakarmanyainak-maximalis-mikotoxin-koncentraciojara-111285> (2023. 03. 03.)
- Nazari, L., Patteri, E., Terzi, V., Morcia, C., & Rossi, V. (2014). Influence of temperature on infection, growth, and mycotoxin production by *Fusarium Langsethiae* and *F. Sporotrichioides* in durum wheat. *Food Microbiology*, 39, 19–26. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2013.10.009>
- Nesic, K., Resanovic, R., Jakic-Dimic, D., & Nesic, V. (2011). Efficiency of various feed additives on the performance of broilers treated with T-2 toxin. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 27(3), 705–711. <https://doi.org/10.2298/bah1103705n>
- Nguegwouo, E., Tchuenchieu, A., Mouafo, H. T., Fokou, E., Medoua Nama, G., & Etoa, F. X. (2018). An Overview of some Major Mycotoxins in Food and their Detection Methods. *Nutrition and Food Toxicology*, 3(1), 564–576. https://www.researchgate.net/publication/325934127_An_Overview_of_some_Major_Mycotoxins_in_Food_and_their_Detection_Methods (2024. 03.19.)
- Paterson, R. R., & Lima, N. (2010). How will climate change affect mycotoxins in food? *Food Research International*, 43(7), 1902–1914. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.07.010>
- Payne, G. A. (1986). Reduction of aflatoxin contamination in corn by irrigation and tillage. *Phytopathology*, 76(7), 679. <https://doi.org/10.1094/phyto-76-679>

- Perkowski, J., Jeleń, H., Kiecana, I., & Goliński, P. (1997). Natural contamination of spring barley with group A trichothecene mycotoxins in south-eastern Poland. *Food Additives and Contaminants*, 14(4), 321–325. <https://doi.org/10.1080/02652039709374533>
- Pestka, J. J., & Smolinski, A. T. (2005). Deoxynivalenol: Toxicology and potential effects on humans. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 8(1), 39–69. <https://doi.org/10.1080/10937400590889458>
- Pomothy, J. M., Barna, R. F., Czimmermann, Á. E., Szóládi, Á., & Pásztiné Gere, E. (2020). A deoxinivalenol mikotoxin toxikus hatásai a gazdasági haszonállatokra. *Magyar Állatorvosok Lapja*, 142, 117–127. https://univet.hu/wp-content/uploads/2020/12/2020.142.117-127_Pomothy-et-al.pdf (2023. 03. 02.)
- Popescu, R. G., Rădulescu, A. L., Georgescu, S. E., & Dinischiotu, A. (2022). Aflatoxins in feed: Types, metabolism, health consequences in swine and Mitigation Strategies. *Toxins*, 14(12), 853. <https://doi.org/10.3390/toxins14120853>
- Rafai, P., & Kovács, M. (2009). Takarmányok mikotoxin szennyezettségének igazságügyi állatorvostani vonatkozásai. *Állattenyésztés és Takarmányozás*, 58(5), 427–438. https://real-j.mtak.hu/14123/33/allattenyesztes_2009_58_5.pdf (2023. 02. 28.)
- Rawal, S., Kim, J. E., & Coulombe, R. (2010). Aflatoxin B1 in poultry: Toxicology, metabolism and prevention. *Research in Veterinary Science*, 89(3), 325–331. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2010.04.011>
- Rafai P., Kovács M. (2009): Takarmányok mikotoxin szennyezettségének igazságügyi állatorvostani vonatkozásai. *Állattenyésztés és Takarmányozás* 58: 427–438. https://real-j.mtak.hu/14123/33/allattenyesztes_2009_58_5.pdf (2023. 03. 03.)
- Samapundo, S., Devlieghere, F., De Meulenaer, B., & Debevere, J. (2005). Effect of water activity and temperature on growth and the relationship between Fumonisin production and the radial growth of *Fusarium verticillioides* and *Fusarium proliferatum* on corn. *Journal of Food Protection*, 68(5), 1054–1059. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-68.5.1054>
- Singh, S., Banerjee, S., Chattopadhyay, P., Borthakur, S. K., & Veer, V. (2015). Deoxynivalenol induces cytotoxicity and genotoxicity in animal primary cell culture. *Toxicology Mechanisms and Methods*, 25(3), 184–191. <https://doi.org/10.3109/15376516.2015.1006743>
- Shapiro, H. M. (2003). *Practical Flow Cytometry*. Wiley. DOI:10.1002/0471722731
- Sohár, P. (2007). Mikotoxinok az élelmiszerláncban. *Élelmiszervizsgálati Közlemények*, 53 (2007/Ksz), 60–67. <https://eoq.hu/evik/evik07-k.pdf> (2022. 12. 07.)
- Somoskői, B., Keresztes, Zs., Solti, L., Kovács, M., & Cseh, S. (2012). A T-2 mikotoxin hatása egérembriók korai fejlődésére. *Magyar Állatorvosok Lapja*, 134, 614–619. https://www.researchgate.net/publication/259279322_A_T-2_mikotoxin_hatasa_egerembriok_korai_fejlodesere Effect of T-2 mycotoxin on early development of mouse embryos/citations (2023. 01. 03.)
- Speers, G. M., Mirocha, C. J., Christensen, C. M., & Behrens, J. C. (1977). Effects on laying hens of feeding corn invaded by two species of *Fusarium* and pure T-2 mycotoxin. *Poultry Science*, 56(1), 98–102. <https://doi.org/10.3382/ps.0560098>

- Sydenham, E. W., Gelderblom, W. C. A., Thiel, P. G., & Marasas, W. F. O. (1990). Evidence for the Natural Occurrence of Fumonisin-B1, a Mycotoxin Produced by *Fusarium moniliforme*, in *Corn. J. Agric. Food Chem.*, 38(1), 285-290. <https://datapdf.com/evidence-for-the-natural-occurrence-of-fumonisin-b1-a-mycoto.html> (2024. 03. 16.)
- Szabó, A., Szabó-Fodor, J., Fébel, H., Mézes, M., Balogh, K., Bázár, G., Kocsó, D., Ali, O., & Kovács, M. (2017). Individual and combined effects of Fumonisin B1, Deoxynivalenol and Zearalenone on the hepatic and renal membrane lipid integrity of rats. *Toxins*, 10(1), 4. <https://doi.org/10.3390/toxins10010004>
- Szeitzné Szabó, M. (2007). Előszó. *Élelmiszervizsgálati Közlemények*, 53 (2007/Ksz), 3-4. <https://eoq.hu/evik/evik07-k.pdf> (2022. 12. 07.)
- Szeitzné Szabó, M. (2009). Bevezető. *Gabonaalapú élelmiszerek fuzárium toxin szennyezettségének csökkentési lehetőségei*, 27, 3. <https://portal.nebih.gov.hu/documents/10182/21384/FusariumKiadvany.pdf/dc80a529-a721-45fe-b285-65e21c91c75e> (2023. 10. 05.)
- Szeitzné Szabó, M. (2009). Fuzáriumtoxinok. *Gabonaalapú élelmiszerek fuzárium toxin szennyezettségének csökkentési lehetőségei*, 27, 6-7. <https://portal.nebih.gov.hu/documents/10182/21384/FusariumKiadvany.pdf/dc80a529-a721-45fe-b285-65e21c91c75e> (2023. 10. 05.)
- Szeitzné Szabó, M. (2009). Helyes Mezőgazdasági Gyakorlattal a megelőzés érdekében. *Gabonaalapú élelmiszerek fuzárium toxin szennyezettségének csökkentési lehetőségei*, 27, 20-29. <https://portal.nebih.gov.hu/documents/10182/21384/FusariumKiadvany.pdf/dc80a529-a721-45fe-b285-65e21c91c75e> (2023. 10. 05.)
- Szeitzné Szabó, M. (2013). A kukorica aflatoxin szennyeződésének megelőzése. In *Az aflatoxin szennyezettség csökkentésének lehetőségei az élelmiszerláncban* (pp. 15-19). Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal. https://portal.nebih.gov.hu/documents/10182/21384/aflatoxinok_az_elelmiszerlancban.pdf/9f16f504-6646-4208-aef9-ce3ec5ec1583 (2022. 10. 28.)
- Szeitzné Szabó, M. (2013). A penészgomba fertőzés és aflatoxin képződés feltételei. In *Az aflatoxin szennyezettség csökkentésének lehetőségei az élelmiszerláncban* (pp. 14). Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal. https://portal.nebih.gov.hu/documents/10182/21384/aflatoxinok_az_elelmiszerlancban.pdf/9f16f504-6646-4208-aef9-ce3ec5ec1583 (2022. 10. 28.)
- Szeitzné Szabó, M. (2013). Aflatoxin megjelenése az állati termékekben. In *Az aflatoxin szennyezettség csökkentésének lehetőségei az élelmiszerláncban* (pp. 7-10). Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal. https://portal.nebih.gov.hu/documents/10182/21384/aflatoxinok_az_elelmiszerlancban.pdf/9f16f504-6646-4208-aef9-ce3ec5ec1583 (2022. 10. 28.)
- Szeitzné Szabó, M. (2013). Aflatoxin megjelenése az állati termékekben. In *Az aflatoxin szennyezettség csökkentésének lehetőségei az élelmiszerláncban* (pp. 7-10). Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal. https://portal.nebih.gov.hu/documents/10182/21384/aflatoxinok_az_elelmiszerlancban.pdf/9f16f504-6646-4208-aef9-ce3ec5ec1583 (2022. 10. 28.)

- Szeitzné Szabó, M., Vanyur, R., & Szabó, I. (2007). A paprika mikotoxin-tartalma egészségügyi kockázatának becslése a magyarországi aflatoxin és ochratoxin vizsgálatok alapján. *Élelmiszervizsgálati Közlemények*, 53 (2007/Ksz), 19-37. <https://eoq.hu/evik/evik07-k.pdf> (2022. 12. 07.)
- Tobias, S., Rajić, I., & Ványi, A. (1992). Effect of T-2 toxin on egg production and hatchability in laying hens. *Acta Veterinaria Hungarica*, 40(1–2), 47–54. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1476090/> (2024. 03. 16.)
- Tóth, Á. (2000). A fumonizinek és hatásuk az állatok egészségi állapotára (irodalmi feldolgozás). *Acta Agraria Kaposváriensis*, 4(1), 57-67. <https://journal.uni-mate.hu/index.php/aak/article/view/1378> (2023. 01. 23.)
- Valencia-Quintana, R., Milić, M., Jakšić, D., Šegvić Klarić, M., Tenorio-Arvide, M. G., Pérez-Flores, G. A., Bonassi, S., & Sánchez-Alarcón, J. (2020). Environment changes, aflatoxins, and health issues, a review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(21), 7850. <https://doi.org/10.3390/ijerph17217850>
- Varga, J., Baranyi, N., Chandrasekaran, M., Vágvolgyi, Cs., & Kocsubé, S. (2015). Mycotoxin producers in the *Aspergillus* genus: an update. *Acta Biologica Szegediensis*, 59(2), 151-167, <https://www2.sci.u-szeged.hu/ABS/2015/Acta%20HPE/59151.pdf> (2024. 03. 16.)
- Varga, J., Szigeti, Gy., Baranyi, N., Szekeres, A., & Kocsubé, S. (2014). Mikotoxinok. In *Mikotoxinok, mikotoxinogén gombák, micetizmusok* (pp. 3-5). https://eta.bibl.u-szeged.hu/726/1/mikotoxin_jegyzet_2014_abraval.pdf (2022. 10. 28.)
- Varga, J., Szigeti, Gy., Baranyi, N., Szekeres, A., & Kocsubé, S. (2014). Mikotoxinok és másodlagos metabolitok osztályozása. *Mikotoxinok, mikotoxinogén gombák, micetizmusok* (pp. 8-10). https://eta.bibl.u-szeged.hu/726/1/mikotoxin_jegyzet_2014_abraval.pdf (2022. 10. 28.)
- Varga, J., Szigeti, Gy., Baranyi, N., Szekeres, A., & Kocsubé, S. (2014). Aflatoxinok. In *Mikotoxinok, mikotoxinogén gombák, micetizmusok* (pp. 38-39). https://eta.bibl.u-szeged.hu/726/1/mikotoxin_jegyzet_2014_abraval.pdf (2022. 10. 28.)
- Wilson, D. A. (2012). Fumonisin toxicosis. *Clinical Veterinary Advisor*, 214–215. <https://doi.org/10.1016/b978-1-4160-9979-6.00147-1>
- Wu, F., Bhatnagar, D., Bui-Klimke, T., Carbone, I., Hellmich, R., Munkvold, G., Paul, P., Payne, G., & Takle, E. (2011). Climate change impacts on mycotoxin risks in US maize. *World Mycotoxin Journal*, 4(1), 79–93. <https://doi.org/10.3920/wmj2010.1246>
- Wu, Q., Dohnal, V., Kuca, K., & Yuan, Z. (2013). Trichothecenes: Structure-toxic activity relationships. *Current Drug Metabolism*, 14(6), 641–660. <https://doi.org/10.2174/1389200211314060002>
- Yu, H., Zhou, T., Gong, J., Young, C., Su, X., Li, X.-Z., Zhu, H., Tsao, R., & Yang, R. (2010). Isolation of deoxynivalenol-transforming bacteria from the chicken intestines using the approach of PCR-DGGE guided microbial selection. *BMC Microbiology*, 10(1), <https://doi.org/10.1186/1471-2180-10-182>
- Zomborszky Kóvács, M. (2002). A penészgombák toxinjainak állategészségügyi vonatkozásai. *Agro Napló*, 6, <https://www.agronaplo.hu/szakfolyoirat/2002/6/allategeszsegugy/a-peneszgombak-toxinjainak-allategeszsegugyi-vonatkozasai> (2023. 06. 28.)

X. 2. Internetes hivatkozások

Internet 1 <https://www.nnk.gov.hu/index.php/nnk-projektek/human-biomonitoring/a-peneszgombak-es-a-mikotoxinok> Nemzeti Népegészségügyi Központ. (2019). A penészgombák és a mikotoxinok. (2022. 10. 23.)

Internet 2 <https://agraragazat.hu/hir/gombatoxinok-a-malac-takarmanyokban/> Honfi, K. (2011). Gombatoxinok a malactakarmányokban. (2022. 12. 07.)

Internet 3 <https://magyarmezogazdasag.hu/2011/06/20/zearalenon-toxin-es-kocak-meheloese-i/> Dudás, V. (2011). A zearalenon toxin és a kocák méhelőesése (I.). (2023. 03. 03.)

Internet 4 <https://www.agrarunio.hu/hirek/allattenyesztes/5933-mikotoxin-kockazatkzezes> Jakab, G. (2020). Mikotoxin-kockázatkezelés. (2024. 01. 26.)

Internet 5 <https://agroforum.hu/lapszam-cikk/mikotoxinok-es-bendomukodes/> Albert, F. (2018). A mikotoxinok és a bendőműködés. (2023. 03. 12.)

Internet 6 <https://agroforum.hu/szakcikk/allattenyesztes-szakcikk/peneszgombak-es-mikotoxinok-a-szarvasmarha-takarmanyokban-es-az-ellenuk-valo-vedekezes-lehetosegei/> Mézes, M. (2020). Penészgombák és mikotoxinok a szarvasmarha takarmányokban és az ellenük való védekezés lehetőségei. (2023. 03. 04.)

Internet 7 <https://www.fossanalytics.com/en/products/mycofoss> (2024. 03. 12.)

X. 3. Egyéb hivatkozások

1881/2006. (XII. 19.) A Bizottság 1881/2006/EK rendelete (2006. december 19.) az élelmiszerekben előforduló egyes szennyező anyagok felső határértékeinek meghatározásáról. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/hu/ALL/?uri=CELEX%3A32006R1881> (2022. 10. 13.)

2782/2023. (XII. 14.) A Bizottság (EU) 2023/2782 végrehajtási rendelete (2023. december 14.) az élelmiszerekben előforduló mikotoxinok szintjének ellenőrzésére szolgáló mintavételi és analitikai módszerek megállapításáról és a 401/2006/EK rendelet hatályon kívül helyezéséről. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/?uri=OJ:L_202302782#ntr1-L_202302782HU.000501-E0001 (2024. 03. 18.)

401/2006. (II. 23.) A Bizottság 401/2006/EK rendelete (2006. február 23.) az élelmiszerek mikotoxintartalmának hatósági ellenőrzéséhez használandó mintavételi és elemzési módszerek megállapításáról. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006R0401&from=NL> (2024. 03. 18.)

574/2011. (VI. 16.) A Bizottság 574/2011/EU rendelete (2011. június 16.) a 2002/32/EK európai parlamenti és tanácsi irányelv I. mellékletének a nitrit, a melamin és az Ambrosia spp. maximális szintjének, valamint bizonyos kokcidiosztatikumok és hisztomonosztatikumok átvitelének tekintetében történő módosításáról, továbbá az irányelv I. és II. mellékletének egységes szerkezetbe foglalásáról. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/?uri=CELEX%3A32011R0574> (2023. 10. 05.)

576/2006. (VIII. 17.) A Bizottság ajánlása (2006. augusztus 17.) a deoxinivalenol, a zearalenon, az ochratoxin-A, a T-2, a HT-2 és a fumonizinek állati takarmányozásra szánt termékekben való előfordulásáról. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006H0576&from=LT> (2023. 10. 05.)

915/2023. (IV. 25.) A Bizottság (EU) 2023/915 rendelete (2023. április 25.) az élelmiszerekben előforduló egyes szennyező anyagok felső határértékeiről és az 1881/2006/EK rendelet hatályon kívül helyezéséről. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R0915> (2024. 03. 18.)

XI. Mellékletek

A. melléklet: Végső fogyasztóknak szánt élelmiszerekben előforduló szennyező anyagok felső határértékei (915/2023. (IV. 25.) A Bizottság (EU) 2023/915 rendelete (2023. április 25.) az élelmiszerekben előforduló egyes szennyező anyagok felső határértékeiről és az 1881/2006/EK rendelet hatályon kívül helyezéséről. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R0915>.)

Mikotoxin	
Aflatoxin B1	Felső határérték (µg/kg)
A végső fogyasztók számára vagy élelmiszer-összetevőként való felhasználás céljára forgalomba hozott, kizárólagos összetevőként felhasznált szárított gyümölcsök, illetve szárított gyümölcsökből készített feldolgozott termékek	2,0
A végső fogyasztók számára vagy élelmiszer-összetevőként való felhasználás céljára forgalomba hozott, kizárólagos összetevőként felhasznált földimogyoró és más olajos magvak, illetve földimogyoróból és más olajos magvakból nyert feldolgozott termékek	2,0
Gabonafélék és gabonafélékből származó termékek	2,0
A végső fogyasztók számára vagy élelmiszer-összetevőként való felhasználás céljára történő forgalomba hozatal előtt válogatásnak vagy más fizikai kezelésnek alávetendő kukorica és rizs	5,0
Bébiételek és csecsemők és kisgyermekek számára készült, feldolgozott gabonaalapú élelmiszerek	0,10
Csecsemők és kisgyermekek számára készült, speciális gyógyászati célra szánt élelmiszerek	0,10
Aflatoxin M1	
Nyers tej, hőkezelt tej és tejalapú termékek előállításához használt tej	0,050
Anyatej-helyettesítő tápszerek, anyatej-kiegészítő tápszerek és kisgyermekeknek szánt tápszerek	0,025
Csecsemők és kisgyermekek számára készült, speciális gyógyászati célra szánt élelmiszerek	0,025
Ochratoxin-A	
A végső fogyasztók számára vagy élelmiszer-összetevőként való felhasználás céljára forgalomba hozott pisztácia	5,0
Feldolgozatlan gabonamagvak	5,0
Feldolgozatlan gabonamagvakból és a végső fogyasztók számára forgalomba hozott gabonafélékből származó termékek	3,0
Bébiételek és csecsemők és kisgyermekek számára készült, feldolgozott gabonaalapú élelmiszerek	0,50
Csecsemők és kisgyermekek számára készült, speciális gyógyászati célra szánt élelmiszerek	0,50

Deoxinivalenol	
Feldolgozatlan gabonamagvak	1250
Feldolgozatlan szemes kukorica	1750
A végső fogyasztók számára forgalomba hozott gabonafélék, valamint a végső fogyasztók számára végtermékként forgalomba hozott gabonaliszt, keménybúza-liszt, korpa és csíra	750
Tészta	750
Kenyér, péksütemények, keksz, gabonaalapú „snack” termékek és reggeli gabonapelyhek	500
Bébiételek és csecsemők és kisgyermekek számára készült, feldolgozott gabonaalapú élelmiszerek	200
Zearalenon	
Feldolgozatlan gabonamagvak	100
Feldolgozatlan szemes kukorica	350
A végső fogyasztók számára forgalomba hozott gabonafélék, a végső fogyasztók számára végtermékként forgalomba hozott gabonaliszt, keménybúza-liszt, korpa és csíra	75
Kenyér, péksütemények, keksz, gabonaalapú „snack” termékek és reggeli gabonapelyhek	50
Végső fogyasztók számára forgalomba hozott kukorica Kukoricaalapú „snack” termékek és kukoricaalapú reggeli gabonapelyhek	100
Bébiételek és csecsemők és kisgyermekek számára készült, feldolgozott gabonaalapú élelmiszerek	20
Fumonizinek	
Feldolgozatlan szemes kukorica	4000
A végső fogyasztók számára forgalomba hozott kukorica, a végső fogyasztók számára forgalomba hozott, kukorica őrléséből származó termékek, a végső fogyasztók számára forgalomba hozott kukoricaalapú élelmiszerek	1000
Kukoricaalapú reggeli gabonapelyhek és kukoricaalapú „snack” termékek	800
Kukoricát tartalmazó bébiételek, illetve csecsemők és kisgyermekek számára készült feldolgozott kukoricaalapú élelmiszerek	200

B. melléklet: A mikotoxinokra vonatkozó ajánlati értékek különböző fajok esetén (MTA Állatorvos-tudományi Bizottsága (2003): Mikotoxin határértékek takarmány-keverékekben. Állattenyésztés és Takarmányozás 52, 393- 396 <https://mta.hu/iv-osztaly/az-mta-agrartudomanyok-osztalya-javaslat-a-gazdasagi-allatok-keverektakarmanyainak-maximalis-mikotoxin-koncentraciojara-111285>; Rafai P., Kovács M. (2009): Takarmányok mikotoxin szennyezettségének igazságügyi állatorvostani vonatkozásai. Állattenyésztés és Takarmányozás 58: 427-438. https://real-j.mtak.hu/14123/33/allattenyesztes_2009_58_5.pdf)

Mikotoxin	Depresszív koncentráció (mg/kg)	Toxikus koncentráció
DON		
Szarvasmarha	5,00	-
Borjú (preruminális kor)	0,20	-
Sertés	0,40	1,00
Tyúkfélék (tojó és brojler)	2,00	-
Lúd, kacs, pulyka	0,50	-
T-2 toxin		
Szarvasmarha	1,00	2,00
Sertés	0,25	0,60
Brojler (baromfi)	0,30	0,60
Tojó (tyúk, pulyka, víziszárnyas)	0,25	0,80
Egyéb takarmánykeverékek	1,00	2,00
Zearalenon és származékai		
Szarvasmarha	0,15	0,30
Borjú (preruminális kor)	0,25	-
Tenyészsértés (felnőtt)	0,15	0,25
Tenyézsüldő (ivarérés előtt)	0,05	-
Süldő- és hízósertés	0,20	0,40
Brojler (baromfi)	0,50	-
Tenyésztojó (házityúk)	0,50	-
Tenyésztojó (lúd, kacs, pulyka)	0,20	-
Egyéb takarmánykeverékek	0,50	1,00

Fumonizin B1		
Ló	5,00	-
Szarvasmarha	50,00	-
Sertés	5,00	10,00
Baromfi	30,00	-
Egyéb takarmánykeverékek	30,00	-
Aflatoxin B1		
Minden állatfaj	0,05	0,05
Ochratoxin-A		
Sertés és baromfi	0,20	-
Egyéb takarmánykeverékek	0,20	-

C. melléklet: A mikotoxinokra vonatkozó ajánlati értékek takarmányalapanyagokban és takarmányokban (576/2006. (VIII. 17.) A Bizottság ajánlása (2006. augusztus 17.) a deoxinivalenol, a zearalenon, az ochratoxin-A, a T-2, a HT-2 és a fumonizinek állati takarmányozásra szánt termékekben való előfordulásáról. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006H0576&from=LT> ; 574/2011. (VI. 16.) A Bizottság 574/2011/EU rendelete (2011. június 16.) a 2002/32/EK európai parlamenti és tanácsi irányelv I. mellékletének a nitrit, a melamin és az Ambrosia spp. maximális szintjének, valamint bizonyos kokcidiosztatikumok és hisztomonosztatikumok átvitelének tekintetében történő módosításáról, továbbá az irányelv I. és II. mellékletének egységes szerkezetbe foglalásáról. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/?uri=CELEX%3A32011R0574>)

Mikotoxin	Takarmány alapanyag/takarmány (12% nedvesség tartalmú takarmányra vonatkozóan)	Javasolt maximális mennyiség (mg/kg takarmány)
Deoxinivalenol (+ 3AcDON + 15AcDON)	Gabonafélék és gabona-készítmények, kivéve kukorica melléktermékek	8
	Kukorica melléktermékek	12
	Kiegészítő és teljes értékű takarmányok	5
	Sertéstakarmányok	0,9
	Borjú	2
T-2 és HT-2 toxin	Gabona és gabona termékek	0,5
	Keveréktakarmányok	0,25
Zearalenon	Gabonafélék és gabona-készítmények, kivéve a kukorica melléktermékeket	2
	Kukorica melléktermékek	3
	Malac és kocasüldő takarmányok	0,1
	Tenyézkoca, kan és hízósértés takarmányok	0,25
	Borjú, tejelő tehén, bárány, juh, gida és kecske takarmányok	0,50
Fumonizin B1+B2	Kukorica és kukorica készítmények	60
	Sertés, ló és nyúl takarmányok	5
	Haltakarmányok	10

	Baromfi, borjú, bárány és gida takarmányok	20
	Felnőtt kérődző takarmányok	50
Aflatoxin B1	Takarmány alapanyagok	
	Kiegészítő és teljes értékű takarmányok	0,02
	kivéve: tejelő teheneknek és borjaknak, tejelő juhoknak és bárányoknak, tejelő kecskéknek és gidáknak, valamint malacoknak és növendék baromfiknak szánt összetett takarmányok	0,1
		0,005
Ochratoxin A	Gabonafélék és gabonakészítmények	0,25
	Sertéstakarmányok	0,05
	Baromfi takarmányok	0,10

D. melléklet: A minták adatait, a mérési tartományokat, az eredményeket és a határértékeket tartalmazó táblázat

				Mérési tartomány					
				0,2-5	2-100	0,5-5	5-100	50-500	30-500
				Határérték					
				1750 ppb	5 ppb	2000 ppb	5 ppb	200 ppb	200 ppb
Azonosító	Település	Évszám	Megjegyzés	Mérési eredmények					
				DON (ppm)	AFLA (ppb)	FUM (ppm)	OTA (ppb)	T2 (ppb)	ZEA (ppb)
K23/01	Polgárdi	2023	Kukorica 1	620	3,63	3482	9,82	133,15	45,18
K23/02	Polgárdi	2023	Kukorica 2	330	2,17	2336	9,10	119,58	43,44
K23/03	Polgárdi	2023	Kukorica 3	120	1,69	1804	9,70	111,29	24,67
K23/04	Polgárdi	2023	Kukorica 4	490	1,53	2564	9,16	107,46	28,52
K23/05	Polgárdi	2023	Kukorica 5	130	1,59	440	9,31	103,77	27,20
K23/06	Polgárdi	2023	Kukorica 6	100	1,29	435	9,27	109,37	21,27
K23/07	Mezőberény	2023.11.15.	Takarmánykukorica	150	1,34	487	8,72	99,97	20,79
K23/08	Domaszék	2023		130	1,18	3313	9,07	102,33	26,60
K23/09	Szeged	2023	2D	0	10,53	2063	0,00	0,00	0,28
K23/10	Somogyvár	2023		370	1,42	4992	6,84	62,38	15,61
K23/11	Osztópán	2023		70	0,86	254	6,37	58,91	15,71
K23/12	Marcali	2023		190	0,86	394	7,37	81,64	20,60
K23/13	Nagyoroszi	2023.11.08.		100	0,65	528	267,95	72,43	70,67
K23/14	Edelény	2023		130	1,50	994	30,24	110,81	25,58
K23/15	Pécel	2023.09.29		130	1,30	442	14,96	108,73	27,79
K23/16	Iklad	2023		90	1,09	411	10,39	106,84	32,89
K23/17	Ecseg/Mátra verebély	2023		110	1,32	630	10,14	109,43	23,20
K23/18	Szendrő	2023		2590	0,55	283	7,56	56,56	92,60
K23/19	Galgahévíz	2023.10.18.		110	0,60	378	7,70	69,21	20,28
K23/20	Mélykút	2023		60	0,66	494	7,02	59,01	12,87
K23/21	Szécsény	2023.10.25.		90	1,36	440	9,05	92,31	18,58
K23/22	Zákányszék	2023		110	0,87	4451	9,73	109,74	25,56
K23/23	Szeged	2023	Szeged 1	100	1,31	439	9,07	283,28	25,20
K23/24	Múcsony	2023		160	1,53	475	12,23	148,69	29,24
K23/25	Szuhogy	2023		1910	1,36	374	7,64	81,46	1582,18
K23/26	Pusztaszer	2023		150	1,70	1319	10,29	130,80	185,44
K23/27	Békés	2023.11.23.	Takarmánykukorica	80	1,23	464	8,65	102,79	48,41
K23/28	Kiskundorozsma	2023		100	1,52	541	8,68	98,82	33,73
K23/29	Szakcs	2023	Szakcs 1.	60	0,11	299	3,67	46,17	11,48
K23/30	Nyírbátor	2023	Száritás nélkül	70	0,47	291	3,24	246,34	16,21

K23/31	Nyíradony	2023	Leszáritott	60	0,08	197	2,80	28,85	8,54
K23/32	Dalmand	2023		50	0,14	155	2,43	17,45	8,97
K23/33	Alsónyék	2023.11.		0	0,02	127	0,00	0,00	0,74
K23/34	Mátraszőlős	2023.12.02		250	0,32	1471	4,56	61,87	20,80
K23/35	Csokonyavisonta	2023	Csokonyavisonta 1.	40	0,63	1260	2,87	52,06	11,75
K23/36	Csokonyavisonta	2023	Csokonyavisonta 2.	910	0,41	887	3,67	91,16	198,94
K23/37	Tompa (Kelebia)	2023		1000	0,05	436	3,06	33,34	13,96
K23/38	Nyíradony	2023	Lábon hagyott	60	0,31	739	3,48	36,17	17,00
K23/39	Nyírmártonfalva	2023	Száritás nélkül	90	0,73	711	5,83	74,51	16,77
K23/40	Kocsola	2023		1070	0,44	267	3,74	48,20	128,00
K23/41	Nak	2023		710	0,55	343	3,11	40,77	18,12
K23/42	Ilíny	2023.11.23		370	0,58	361	6,20	94,79	13,30
K23/43	Lápafő	2023		60	0,15	230	3,63	48,14	13,50
K23/44	Kunbaja (Kelebia)	2023		20	0,12	614	2,23	18,82	3,74
K23/45	Tamási	2023		0	38,91	312	0,00	0,00	1,08

E. melléklet: A minták csoportosítása a határérték függvényében: a mintákban mért koncentrációkat a határérték figyelembevételével a táblázat alatti jelmagyarázatban látható kategóriákba soroltuk és ennek megfelelően színekkel láttuk el a táblázat mezőit.

		Mérési tartomány					
		0,2-5	2-100	0,5-5	5-100	50-500	30-500
		LOQ					
		200 ppb	2 ppb	500 ppb	5 ppb	50 ppb	30 ppb
		Mérési eredmények					
Azonosító	Település	DON (ppb)	AFLA (ppb)	FUM (ppb)	OTA (ppb)	T2 (ppb)	ZEA (ppb)
K23/01	Polgárdi	620	3,63	3482	9,82	133,15	45,18
K23/02	Polgárdi	330	2,17	2336	9,10	119,58	43,44
K23/03	Polgárdi	120	1,69	1804	9,70	111,29	24,67
K23/04	Polgárdi	490	1,53	2564	9,16	107,46	28,52
K23/05	Polgárdi	130	1,59	440	9,31	103,77	27,20
K23/06	Polgárdi	100	1,29	435	9,27	109,37	21,27
K23/07	Mezőberény	150	1,34	487	8,72	99,97	20,79
K23/08	Domaszék	130	1,18	3313	9,07	102,33	26,60
K23/09	Szeged	0	10,53	2063	0,00	0,00	0,28
K23/10	Somogyvár	370	1,42	4992	6,84	62,38	15,61
K23/11	Osztopán	70	0,86	254	6,37	58,91	15,71
K23/12	Marcali	190	0,86	394	7,37	81,64	20,60
K23/13	Nagyoroszi	100	0,65	528	267,95	72,43	70,67
K23/14	Edelény	130	1,50	994	30,24	110,81	25,58
K23/15	Pécel	130	1,30	442	14,96	108,73	27,79
K23/16	Iklad	90	1,09	411	10,39	106,84	32,89
K23/17	Ecseg/Mátraverebély	110	1,32	630	10,14	109,43	23,20
K23/18	Szendrőlő	2590	0,55	283	7,56	56,56	92,60
K23/19	Galgahévíz	110	0,60	378	7,70	69,21	20,28
K23/20	Mélykút	60	0,66	494	7,02	59,01	12,87
K23/21	Szécsény	90	1,36	440	9,05	92,31	18,58
K23/22	Zákányszék	110	0,87	4451	9,73	109,74	25,56
K23/23	Szeged	100	1,31	439	9,07	283,28	25,20
K23/24	Múcsony	160	1,53	475	12,23	148,69	29,24
K23/25	Szuhogy	1910	1,36	374	7,64	81,46	1582,18
K23/26	Pusztaszer	150	1,70	1319	10,29	130,80	185,44
K23/27	Békés	80	1,23	464	8,65	102,79	48,41
K23/28	Kiskundorozsma	100	1,52	541	8,68	98,82	33,73
K23/29	Szakcs	60	0,11	299	3,67	46,17	11,48
K23/30	Nyírbátor	70	0,47	291	3,24	246,34	16,21
K23/31	Nyíradony	60	0,08	197	2,80	28,85	8,54
K23/32	Dalmand	50	0,14	155	2,43	17,45	8,97
K23/33	Alsónyék	0	0,02	127	0,00	0,00	0,74
K23/34	Mátraszőlős	250	0,32	1471	4,56	61,87	20,80
K23/35	Csokonyavisonta	40	0,63	1260	2,87	52,06	11,75
K23/36	Csokonyavisonta	910	0,41	887	3,67	91,16	198,94
K23/37	Tompa (Kelebia)	1000	0,05	436	3,06	33,34	13,96
K23/38	Nyíradony	60	0,31	739	3,48	36,17	17,00
K23/39	Nyírmártonfalva	90	0,73	711	5,83	74,51	16,77
K23/40	Kocsola	1070	0,44	267	3,74	48,20	128,00

K23/41	Nak	710	0,55	343	3,11	40,77	18,12
K23/42	Ilíny	370	0,58	361	6,20	94,79	13,30
K23/43	Lápafő	60	0,15	230	3,63	48,14	13,50
K23/44	Kunbaja (Kelebia)	20	0,12	614	2,23	18,82	3,74
K23/45	Tamási	0	38,91	312	0,00	0,00	1,08

Jelmagyarázat

	LOQ alatt
	LOQ – határérték 90%
	határérték 90-110%
	határérték felett - 110 % felett

F. melléklet: A mikotoxinok eloszlását ábrázoló diagramokhoz tartozó határérték tartományok

Tartomány	DON	AFLA	FUM	OTA	T2	ZEA
0-10 %	0-175	0,00-0,50	0-200	0,00-0,50	0-20	0-20
10-30 %	175-525	0,50-1,50	200-600	0,50-1,50	20-60	20-60
30-50 %	525-875	1,50-2,50	600-1000	1,50-2,50	60-100	60-100
50-70 %	875-1225	2,50-3,50	1000-1400	2,50-3,50	100-140	100-140
70-90 %	1225-1575	3,50-4,50	1400-1800	3,50-4,50	140-180	140-180
90-110 %	1575-1925	4,50-5,50	1800-2200	4,50-5,50	180-220	180-220
110-130 %	1925-2275	5,50-6,50	2200-2600	5,50-6,50	220-260	220-260
130-150 %	2275-2625	6,50-7,50	2600-3000	6,50-7,50	260-300	260-300
150-170 %	2625-2975	7,50-8,50	3000-3400	7,50-8,50	300-340	300-340
170-190 %	2975-3325	8,50-9,50	3400-3800	8,50-9,50	340-380	340-380
190- %	>3325	>9,50	>3800	>9,50	>380	>380

- G. melléklet: A mezőkhöz rendelt pontszámok értékei a veszélyesség függvényében: a határérték tartományok alapján meghatározott színeknek megfelelően a mezőknek különböző pontokat osztottunk ki (I. melléklet), attól függően, hogy milyen veszélyességűnek tekinthetők. Az 1 pontszámú a legkevésbé veszélyes, míg a 20 pontszámú a legveszélyesebb.

0-10 %	1
10-50 %	3
50-90%	5
90-100 %	7
100-110 %	10
110-200%	15
>200 %	20

- H. melléklet: Az összesített pontszámok: A H. melléklet az I. mellékletben található táblázat utolsó mezőjében lévő összesített pontszámokhoz tartozó színek kódolást tartalmazza.

Score színskála	Pontok
	0-8
	9-16
	17-24
	25-32
	33-40
	41-48
	49-56

I. melléklet: A minták veszélyességi értékei: a táblázat értelmezéséhez szükséges magyarázatokat a G. és a H. mellékletek tartalmazzák.

Azonosító	Települések	DON	AFLA	FUM	OTA	T2	ZEA	Pontszámok összege
K23/01	Polgárdi	3,00	5,00	15,000	15,00	5,00	3,00	46
K23/02	Polgárdi	3,00	3,00	15,000	15,00	5,00	3,00	44
K23/03	Polgárdi	1,00	3,00	7,000	15,00	5,00	3,00	34
K23/04	Polgárdi	3,00	3,00	15,000	15,00	5,00	3,00	44
K23/05	Polgárdi	1,00	3,00	3,000	15,00	5,00	3,00	30
K23/06	Polgárdi	1,00	3,00	3,000	15,00	5,00	3,00	30
K23/07	Mezőberény	1,00	3,00	3,000	15,00	3,00	3,00	28
K23/08	Domaszék	1,00	3,00	15,000	15,00	5,00	3,00	42
K23/09	Szeged	1,00	20,00	10,000	1,00	1,00	1,00	34
K23/10	Somogyvár	3,00	3,00	20,000	15,00	3,00	1,00	45
K23/11	Osztopán	1,00	3,00	3,000	15,00	3,00	1,00	26
K23/12	Marcali	3,00	3,00	3,000	15,00	3,00	3,00	30
K23/13	Nagyoroszi	1,00	3,00	3,000	20,00	3,00	3,00	33
K23/14	Edelény	1,00	3,00	3,000	20,00	5,00	3,00	35
K23/15	Pécel	1,00	3,00	3,000	20,00	5,00	3,00	35
K23/16	Iklad	1,00	3,00	3,000	20,00	5,00	3,00	35
K23/17	Ecseg/Mátraverebély	1,00	3,00	3,000	20,00	5,00	3,00	35
K23/18	Szendrő	15,00	3,00	3,000	15,00	3,00	3,00	42
K23/19	Galgahévíz	1,00	3,00	3,000	15,00	3,00	3,00	28
K23/20	Mélykút	1,00	3,00	3,000	15,00	3,00	1,00	26
K23/21	Szécsény	1,00	3,00	3,000	15,00	3,00	1,00	26
K23/22	Zákányszék	1,00	3,00	20,000	15,00	5,00	3,00	47
K23/23	Szeged	1,00	3,00	3,000	15,00	15,00	3,00	40
K23/24	Múcsony	1,00	3,00	3,000	20,00	5,00	3,00	35
K23/25	Szuhogy	10,00	3,00	3,000	15,00	3,00	20,00	54
K23/26	Pusztaszer	1,00	3,00	5,000	20,00	5,00	7,00	41
K23/27	Békés	1,00	3,00	3,000	15,00	5,00	3,00	30
K23/28	Kiskundorozsma	1,00	3,00	3,000	15,00	3,00	3,00	28
K23/29	Szakcs	1,00	1,00	3,000	5,00	3,00	1,00	14
K23/30	Nyírbátor	1,00	1,00	3,000	5,00	15,00	1,00	26
K23/31	Nyíradony	1,00	1,00	1,000	5,00	3,00	1,00	12
K23/32	Dalmand	1,00	1,00	1,000	3,00	1,00	1,00	8
K23/33	Alsónyék	1,00	1,00	1,000	1,00	1,00	1,00	6
K23/34	Mátraszőlős	3,00	1,00	5,000	7,00	3,00	3,00	22
K23/35	Csokonyavisonta	1,00	3,00	5,000	5,00	3,00	1,00	18
K23/36	Csokonyavisonta	5,00	1,00	3,000	5,00	3,00	7,00	24
K23/37	Tompa (Kelebia)	5,00	1,00	3,000	5,00	3,00	1,00	18
K23/38	Nyíradony	1,00	1,00	3,000	5,00	3,00	1,00	14
K23/39	Nyírmártonfalva	1,00	3,00	3,000	15,00	3,00	1,00	26
K23/40	Kocsola	5,00	1,00	3,000	5,00	3,00	5,00	22
K23/41	Nak	3,00	3,00	3,000	5,00	3,00	1,00	18
K23/42	Ilíny	3,00	3,00	3,000	15,00	3,00	1,00	28

K23/43	Lápafő	1,00	1,00	3,000	5,00	3,00	1,00	14
K23/44	Kunbaja (Kelebia)	1,00	1,00	3,000	3,00	1,00	1,00	10
K23/45	Tamási	1,00	20,00	3,000	1,00	1,00	1,00	27