

SZAKDOLGOZAT

Mendi Martina

2025.



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Georgikon Campus
Növénytermesztési-tudományok Intézet
mezőgazdasági mérnök alapképzési szak
Kalászos gabonafélék toxinterheltsége Magyarország egyes
területein: Elemzés és állapotfelmérés

Belső konzulens: Dr. Ferencziné Dr. Szőke
Zsuzsanna
Tudományos Főmunkatárs

Belső konzulens
intézete/tanszéke: Genetikai és Biotechnológia
Intézet, Állatbiotechnológia
Tanszék

Külső konzulens: Lakatos István
Kapos-Tolnai Tájegységi
Fővadász

Készítette: **Mendi Martina**

Készthely
2025.

Tartalom:

1. Absztrakt.....	4
2. Bevezetés	5
2.1. Gabonafélék jelentősége a hazai mezőgazdaságban.....	6
2.2. Agronómiai tényezők hatása a mikotoxin-szennyeződésre.....	6
2.3. Mikotoxinterheltség jelentősége: gazdasági és egészségügyi hatások.....	8
3. Szakirodalmi áttekintés	9
3.1. Klímaváltozás.....	9
3.2. Mikotoxinok történelmi áttekintése	10
3.3. Gabonafélék toxinjainak csoportosítása.....	11
4. Mikotoxint termelő penészgombák csoportosítása	12
4.2. Fusarium-fajok vizsgált toxinjai.....	12
4.2.1. Deoxinivalenol.....	12
4.2.2. T-2.....	13
4.2.3. Zearalenon.....	14
4.2.4. Fumonizin.....	15
4.3. Aspergillus-, Penicillium-fajok vizsgált toxinjai	17
4.3.1. Aflatoxin.....	17
4.3.2. Ochratoxin-A	18
5. Klímaváltozás, mint befolyásoló tényező.....	19
5.2. Klímaváltozás hatása a gabonatermesztésre	19
5.3. Klímaváltozás hatása a mikotoxin termelődéssre	20
5.4. Hőmérséklet, csapadék és páratartalom befolyásoló szerepe a toxintermelésben .	20
5.5. Multimikotoxin jelenség és hatása	21
6. Vizsgálat bemutatása.....	22
6.2. Vizsgálat célja.....	22
6.3. Vizsgálati eljárás.....	22
6.3.1. Minták	22
6.3.2. Mintavétel	22
6.3.3. Minták előkészítése	22
6.3.4. Analitikai módszer.....	23
6.3.5. Határérték, ajánlott érték	24
7. Vizsgálati eredmények	24
7.2. Adatfeldolgozási eljárás	24

7.3.	Eredmények statisztikai értékelése.....	25
7.4.	Minták mikotoxin fertőzöttsége	25
7.5.	Toxinkoncentrációk eltérése az ország területére vetítve térképen	28
7.5.1.	Egyes területeken mért értékek összehasonlítása	28
7.6.	Egyes mikotoxinok értékelése	30
8.	Vizsgálati eredmények értékelése	32
8.2.	Mérési módszer értékelése	32
8.3.	Toxinok előfordulásának értékelése	32
8.4.	Toxinok szerinti értékelés	33
8.5.	Minták veszélyességének értékelése	33
9.	Következtetés	34
10.	Köszönetnyilvánítás	36
11.	Irodalmi jegyzék.....	37
12.	Rövidítések	45
13.	Mellékletek	46

1. Absztrakt

A globális klímaváltozás következtében a mikotoxinokat termelő penészgombák elterjedése egyre jelentősebbé válik a Kárpát-medencében és egész Európában. A mikotoxinok – esetünkben vizsgált aflatoxin (AF), ochratoxin (OTA), deoxinivaleon/dezoxinivaleon (DON), T2-toxin (T2), zearalenon (ZEA) és fumonizín (FUM) – az élő szervezetekre gyakorolt hatásuk miatt jelentős élelmiszerbiztonsági és egészségügyi kockázatot jelentenek. Az extrém aszály felvetette, hogy elinduljon egy országos szintű felmérés a betakarításkori mikotoxin tartalomról. Szakdolgozatomban különböző árpa- és búzaminták mikotoxin szennyezettségét vizsgáltam, összesen 35 területről kapott 96 db kalászos gabonamintából, amelyeket a fent említett 6 mikotoxinra nézve vizsgáltunk.

A minták elemzése MycoFoss™ készülékkel történt, amely lehetővé tette a fent említett hat főbb mikotoxin egyidejű és gyors detektálását. Az árpa esetében a legtöbb mintában több mikotoxin is kimutatható volt, leggyakrabban a DON és ZEA fordult elő. Egyes árpamintákban (pl.: Pécsvárad, Véménd) a DON koncentrációja meghaladta az 1,75 ppm-es határértéket. A búzaminták esetében szintén a DON volt a domináns, néhány esetben (pl.: Magyarkeszi, Miske) megközelítve vagy meghaladva a határértéket, de ZEA is kimutatható volt kisebb mennyiségben.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a kalászosok esetében is fennáll már a multimikotoxin-szennyeződés veszélye, amely hosszú távon komoly kockázatot jelent az élelmiszerlánc biztonságára nézve. A DON gyakori előfordulása különösen aggasztó, mivel több mintában is megjelent a jogszabályi határérték felett vagy annak közelében. A klímaváltozás elősegítheti olyan gombafajok megjelenését, amelyek eddig nem, vagy csak kis mértékben voltak jelen Magyarországon. Mindezek indokoltá teszik a folyamatos toxinterheltségi monitoringot, valamint a modern, több mikotoxinra kiterjedő vizsgálati módszerek fejlesztését és alkalmazását.

2. Bevezetés

Napjainkban számos tényező befolyásolja a mikotoxin-szennyeződést, mégis a legfőbb ok a klímaváltozás. Az emberi beavatkozások, mint a kiterjedt erdőirtás, a fosszilis energiahordozók elégetése és egyéb antropogén hatások átalakították a Föld éghajlati viszonyait. A légkörben emelkedett a metán, szén-dioxid, dinitrogén-oxid és klórfluorkarbonok mennyisége, amely globális hőmérséklet növekedést idézett elő (Chakraborty és mtsai., 1998.) A mikotoxinok olyan mérgező anyagok (másodlagos metabolitok), amelyeket bizonyos penészgombafajok termelnek. A „mikotoxin” szó a görög „mykes” (gomba) és „toxin” (mérge) szavakból ered. A mikotoxinok klíma által befolyásolt mezőgazdasági kihívások, amelyek a növénytermesztés és tárolás során jelentkeznek. A klimatikus viszonyok meghatározó szerepet játszanak a gombák képzésében és megtelepedésében az agro-ökoszisztémában (Magan és mtsai., 2003). E vegyületek előállítása a növényeknél nagy mértékben befolyásolt a külső körülményektől (például hőmérséklet és csapadékellátottsági viszonyoktól), a betakarítási és tárolási folyamatoktól. Az élelmiszerek beltartalmi jellemzőit és minőségét, továbbá az emberi egészségre gyakorolt hatást komplex módon alakítják ki a különböző külső környezeti hatások, mint például kémiai, mikrobiológiai és toxikológiai tényezők. A vizsgált tényezők között az élelmezés és takarmányozás terén a toxinok, különösen a mikotoxinok kiemelkedő szerepet játszanak. A mikotoxinok olyan másodlagos anyagcseretermékek, amelyeket a fonalgombák bocsátanak ki a sejtjükön kívülre és rendkívül változatos kémiai felépítéssel rendelkeznek. Ezek veszélyesek a magasabb rendű élőlényekre, beleértve a növényeket, állatokat és az embereket is. A mikotoxinok súlyos gazdasági veszteségeket eredményeznek a mezőgazdaság mindkét ágazatában, mivel negatívan hatnak a növények, állatok egészségére, ezáltal végső soron az emberi szervezetre is veszélyesek. A növényeket érintő negatív hatás kimutatkozik mind a terméshozamban, valamint a minőségromlásban. A mikotoxinok jelenléte a takarmányban kedvezőtlenül befolyásolja a mezőgazdasági állatok növekedését, szaporodási képességét, illetve jelentősen rontja általános egészségügyi állapotukat. Az emberek által elfogyasztva komoly egészségügyi problémákat okozhatnak (Szeitzné 2007, 2009).

Szakedolgozatom készítése során az alábbi fő céljaim voltak:

- a fontosabb mikotoxinok és hatásaik bemutatása
- egészségügyi (állat és humán) vonzatuk
- árpa- és búzaminták mikotoxin-tartalmának felmérése az ország különböző régióiban
- a mikotoxinok hazai eloszlásának és térbeli terjedésének elemzése
- a lehetséges multimikotoxin hatás feltárása

2.1. Gabonafélék jelentősége a hazai mezőgazdaságban

Szélsőséges időjárási jelenségek, éghajlati átalakulás... Ezek olyan témák, amelyekről rendszeresen értesülünk és amelyekről a gazdasági szaklapok is részletesen beszámolnak. Közös bennük, hogy befolyásoló hatással bírnak a hazai és globális élelmiszerbiztonságra, ami pedig közvetlenül van hatással a mindennapjaink alakulására.

A gabonaféléknek alapvető szerepe van, mivel jelentős az emberi táplálkozásban a kenyérgabona, állattenyésztésben pedig a takarmánygabona. Termesztésük nagy mezőgazdasági területet foglal el, mivel tápértékük (keményítőben való gazdagság, jelentős fehérjetartalom) miatt fontosak az élelmezés szempontjából. Magyarországon a művelt területek több, mint 60%-át fedik le, körülbelül 2,5-2,8 millió hektáron folyik gabonatermelés.

A búzatermesztés Magyarországon kiemelkedő jelentőségű, és a mezőgazdaság egyik meghatározó növénye, amelyet széles körben és nagy kiterjedésben művelnek. A búzatermesztés Magyarország növénytermesztésének kulcsfontosságú ágazata, amely mind nemzetgazdasági, mind üzemgazdasági szempontból kiemelkedő szerepet tölt be, elsődleges célja pedig a hazai kenyérgabona-ellátás belső termeléssel történő zavartalan biztosítása.

A búza sokoldalúságát mutatja, hogy nem csak humán élelmezésben, hanem abraktakarmányként, melléktermékként, valamint ipari hasznosítása (energetikai célú felhasználás) is jelentőssé vált.

Az árpa egy rendkívül jó alkalmazkodóképességű gabona, amely képes megteremni a legkülönbözőbb éghajlati viszonyok között. Míg a hűvösebb régiókban elsősorban kenyérgabonának alkalmas, addig a melegebb területeken takarmányozásra használják fel. Hazánkban az árpa legjelentősebb takarmánynövények egyike, különösen fontos szerepet kap a sertésstartás és -tenyésztés területén. A termesztett árpa jelentős részét az őszi fajta teszi ki, amelynek magasabb terméshozama van a tavaszi változatokhoz képest. A tavaszi fajtákat a söripar használja fel, amelyből sört és malátát állítanak elő. Ahogy a sörfogyasztás folyamatosan emelkedik, úgy egyre jobban mutatkozik az érdeklődés is ezen fajták termesztése iránt.

2.2. Agronómiai tényezők hatása a mikotoxin-szennyeződésre

A talajgazdálkodási rendszerek és az agronómiai tényezők alapvető hatással vannak a talaj mikrobiális közösségeire, a növényegészségügyre és a termés minőségére. A talajgombák döntő szerepet játszanak a szervesanyag-lebontásban, a tápanyag-körforgásban és a növény-talaj kölcsönhatásban, de egyes fajok kórokozóként jelentős termés kiesést és mikotoxin-

szennyeződést is okozhatnak. Ezért különösen fontos annak a megértése, hogy a különböző kezelési gyakorlatok hogyan befolyásolják a gombaközösségek összetételét és működését. Csernozjom talajokon végzett kísérletben Domnariu és munkatársai (2025) kimutatták, hogy a talajművelés nélküli (NT) jelentős hatással van a mikrobiális biomasszára és a talaj szénforgalmára. Az NT kedvezőbb környezetet biztosít a mikrobiális élet számára, mivel a mikrobiális biomassza széntartartalma a kétszerese volt a forgó eke (MP) alkalmazásával szemben. A gombaközösségek diverzitása kevésbé volt érzékeny a talajművelés intenzitására, mint a bakteriális összetételre. A fajgazdagság stabilitása megmaradt az NT kezelés során, bár néhány diverzitási mutató kissé alacsonyabb volt a mérsékelt zavarrendszerekénél. Figyelemre méltó, hogy a növénypatogén gombafajok gyakrabban jelentek meg az NT talajokban, míg a szaprofita gombák az MP kezelésben váltak dominánssá. A növényegészségügy szempontjából ez bonyolult hatásokkal járhat: növelheti a betegségkockázatot, ugyanakkor a talaj természetes védelmi mechanizmusai és a hasznos mikroorganizmusok jelenléte ellensúlyozza a potenciális veszélyeket. Ezért az NT rendszerekben elengedhetetlen a körültekintő növényvédelmi stratégiák alkalmazása, mint vetésgörög, ellenálló fajták használata, célzott gombaölő kezelések és a mikrobiális közösséghez igazodó gazdálkodási módszerek (Domnariu és mtsai., 2025). A forgatás nélküli talajművelés bevezetése óta a talaj felső rétegében élő mikotoxint termelő penészgombák számára kedvezőbbek a körülmények. Ezek a gombák az NT művelés mellett a talaj felső 5-10 centiméteres rétegében maradnak, ahol az aerob környezet lehetővé teszi számukra a túlélést és a szaporodást. Ezzel szemben egy mélyebb talajművelési módszerek alkalmazása során a felső rétegben található gombák az alsó, mintegy 25 centiméter mély, anaerob rétegbe kerülnek, ahol az oxigénhiány miatt elpusztulnak. Ennek következtében a mélyművelés csökkenti a mikotoxint-termelő gombák előfordulását és mérsékli a képződésük kockázatát a talajban. A tarlóégetés rövid távon csökkentheti a felszínen maradó anyagok mennyiségét, de hosszú távon viszont jelentősen rontja a szervesanyag összetételét, a talaj szerkezetét, a biodiverzitást és a mikrobiális közösségeit. A modern talajkímélő rendszerek előnyben részesítik a tarlóégetés elkerülését és a növényi maradványok talajba dolgozását vagy felszínen hagyását. A tarlóégetés tilalmáról a 306/2010. (XII. 23.) kormányrendeletben van rögzítve, amely a levegő védelméről szól. Arról, hogy milyen esetben lehet végezni tarlóégetést, az 54/2014. (XII. 5.) BM (Országos Tűzvédelmi Szabályzat) rendeletben van összefoglalva.

2.3. Mikotoxinterheltség jelentősége: gazdasági és egészségügyi hatások

A mezőgazdaság meghatározó növényei közé tartozik hazánkban a kukorica és a búza, amelyek kiemelt jelentőséggel bírnak a szántóföldi termelésben. A gabonafélék növényi kórokozói, amelyek a szár, a kalász, és a termés fertőzésével súlyos mezőgazdasági veszteségeket eredményeznek. A gombák által okozott károk fokozódnak azáltal, hogy másodlagos anyagcseréjük során úgynevezett mikotoxinokat állítanak elő.

A gabonakereskedelemben és élelmiszer-forgalmazásban fellépő gazdasági károk évente, búza és árpa vonatkozásában millió dolláros nagyságrendűek, miközben a mikotoxinok által előidézett pénzügyi ráfordítások a haszonállatok területén pontosan nem meghatározhatók (Windels, 2000).

A mikotoxinok által okozott veszélyek globális szinten egyre inkább előtérbe kerülnek, tekintettel arra, hogy komoly egészségügyi és gazdasági kihívást jelentenek a mezőgazdasági termelők és végső fogyasztók egyaránt. Veszedelemes vegyületnek mondhatjuk, mivel erős mérgeknek számít, amelyek közül egyesek karcinogén, mutagén és kedvezőtlen hatású az immunrendszerre nézve. A toxikus vegyületek változatos megjelenési formákban és kémiai felépítésben találhatók, ami komplikálja a felismerésüket és elemzésüket. A mikotoxinok jelenléte az élelmiszerekben elsősorban a magas páratartalmú, meleg éghajlatú térségekben válik gyakoribbá, amit a nem körültekintő tárolási és feldolgozási módszerek is elősegítenek. A penészgombák által termelt mérgeanyagok felszaporodása komoly kihívásokat támaszt az élelmiszer-ellátás biztonságával és a gazdasági stabilitással szemben. A mikotoxinokkal fertőzött élelmiszerek elfogyasztása mind az emberi, mind az állati szervezeten súlyos egészségügyi problémákat okozhat (Bhat & Miller, 2010), és az ilyen toxinoknak való kitettség révén kialakuló kórképet vagy élettani zavarokat „mikotoxikózisnak” nevezzük. Súlyos toxikus expozíció alakul ki, amikor valaki jelentős mennyiségű erősen fertőzött táplálékot (állatok esetében takarmányt) fogyaszt, mert ezek bizonyos esetekben végzetes kimenetelűek lehetnek. Az aflatoxinok elsősorban a májszöveteket károsítják, súlyos kockázatot jelentve, mivel májkárosodást és daganatos elváltozásokat is előidézhetnek. Az aflatoxin B1 tudományosan igazolt rákkeltő (Hamid és mtsai., 2013). A fumonizinek fogyasztása neurodegeneratív megbetegedéshez (Obafemi és mtsai., 2025), nyelőcső daganathoz vezet (Yu és mtsai., 2021). A méhben fejlődő magzatnál velőcsőzáródási rendellenességeket okozhat (Gelineau-van Waes és mtsai., 2009). A trichotecének károsítják a sejteket, gátolják a fehérjeszintézist. A DON hányást, hasmenést idézhet elő (Jia és mtsai., 2023), a T2-toxin gyengíti az immunrendszert, valamint vérképzési zavarokat okoz (Adhikari és mtsai., 2017). A zearalenon ösztrogénhatású vegyület, amely reprodukciós zavarokat, fejlődési rendellenességeket és hormonális egyensúlyzavart idéz elő. Az ochratoxin A hosszú távú

bevitele súlyos veseelégtelenséghez és daganatos megbetegedéshez vezet. Az ergot alkaloidok az erek összehúzódását okozhatják, ami izomgörcsökhöz és súlyos esetben szövetelhaláshoz vezethet.

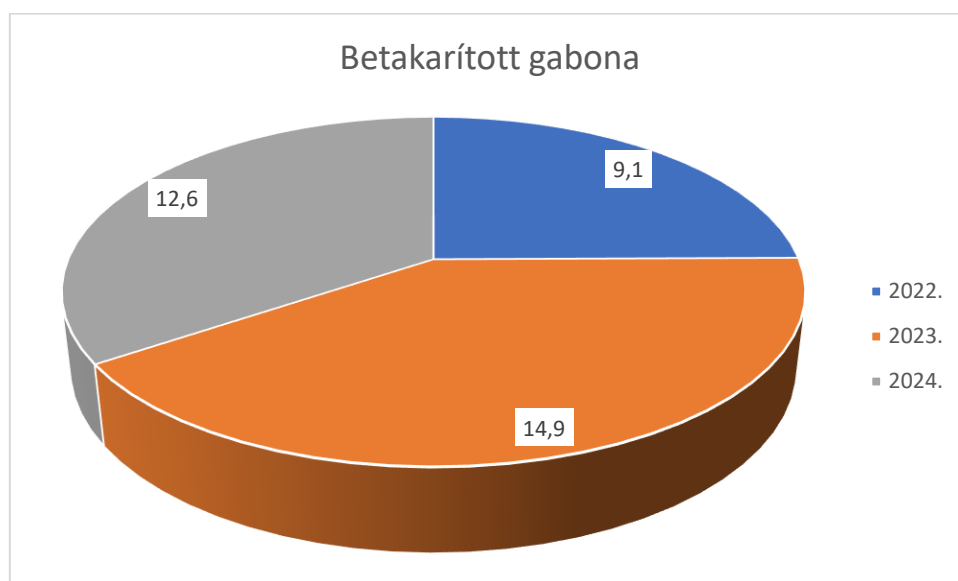
Ezért az EU-ban és Magyarországon is a szabályozás kiemelt fontosságú, rendszeres felügyeletük elengedhetetlen és megalapozott.

3. Szakirodalmi áttekintés

3.1. Klímaváltozás

Az aszály és a globális klímaváltozás témája a 202-as években gyakran megjelent a rádiós és televíziós híradásokban, valamint a gazdasági kiadványokban. A közös vonatkozásuk a globális élelmezésbiztonságra és -ellátásra gyakorolt hatásuk, ezzel befolyásolva mindennapi életünk alakulását. Ezen felül komoly gazdasági hatása is van, hiszen a klímaváltozás során a terméshozam és minőség is romolhat (1. ábra)

Az extrém időjárási események, mint például az aszály, hóhullámok vagy intenzív esőzések csökkenthetik a terméshozamot, míg a megváltozott hőmérsékleti és csapadékminták szintén rontják a gabonaminőséget. Ezek az átalakulások jelentős kihívás elé állítják a mezőgazdaságot.



1. ábra Betakarított gabonamennyiségek az elmúlt 3 évre visszatekintve (millió tonna) (Forrás: KSH)

A fenti diagrammon jól látszik, hogy a 2022-es aszályrekord, mennyire rossz hatással volt a gabonatermesztésre. Rendkívül kedvezőtlen csapadékviszonyokat eredményeztek hazánkban, amelynek jelei már a téli hónapokban megmutatkoztak a talaj rendkívül alacsony nedvességtartalma révén. A tavaszi hideg időjárás sem támogatta a növények fejlődését, ezt

követően a nyár hónapjait tartós szárazság és ismétlődő hőhullámok sújtották. Ez év során tapasztalt időjárási rendellenességek egyértelműen rámutatnak a globális felmelegedés következményeire és az aszály egyre súlyosbodó veszélyére.

Ez napjainkat nézve aggodalomra ad okot, mivel jelentős bevétel származik az árupiacon értékesülő gabonákból. Ha ez így marad, a hagyományos növények szerepe vissza fog esni, és az alternatív növények vagy aszálytűrő hibridek fogják felváltani őket a termelésben.

2023-ban Magyarország éghajlata kiugróan rendellenes volt. Az éves hőmérsékleti átlag 12,2 °C volt, amely 1,5 fokkal magasabb a korábbi éghajlati referencia-időszak átlagánál. A téli időszak enyhe volt. Januárban a hőmérséklet 4,5 °C-kal volt melegebb, míg április szokatlanul hűvösnek bizonyult. Az ősz ezzel szemben rendkívül meleg volt, szeptember és október az elmúlt több mint száz év legmelegebb hónapjai közé tartoztak. Az éves hőmérsékleti szélsőértékek -10 °C és +36,6 °C között alakult. A csapadék mennyisége 767 mm volt, ezzel a nyolcadik legcsapadékosabb év lett.

Összeségében 2023-at meleg és csapadékos évnak lehet jellemezni, ami kedvező feltételeket biztosít a mezőgazdasági termelés számára.

Az éghajlati átalakulások miatt egyre fontosabbá válik, hogy olyan növényfajtákat termesszünk, amelyek ellenállnak az időjárási viszonyoknak és állandó terméshozamot biztosítanak. Cooper és Messina 2023-as tanulmánya azt mutatja, hogy az időjárásnak ellenálló nemesítés olyan növényfajok kifejlesztésére törekszik, amelyek hatékonyabban tolerálják az aszályt, magas hőmérsékletet, és a további környezeti stresszeket anélkül, hogy a terméshozam csökkenne.

3.2. Mikotoxinok történelmi áttekintése

Ha visszatekintünk a történelemre, láthatjuk, hogy a gombák által termelt mérgeanyagokkal már a történelem során számos esemény által találkozhattunk, legyen szó mezőgazdaságról vagy egészségügyi problémákról. Ezt az irányt Sára Levente és munkatársai (2024) érintették vizsgálatuk során. Vegyük például a tizedik egyiptomi csapást a Bibliából – ez tulajdonképpen egy korai jel lehet arra, hogy már akkor is gondot okoztak a mikotoxinok, méghozzá a *Fusarium*-gombák mérgező vegyületei. Aztán ott van Athén esete a Peloponnészoszi háború idején – a várost sújtó járványt feltehetően a Fekete-tenger vidékéről származó *Fusarium*-szennyezett gabonaféle okozhatta. A középkorban ott volt az anyarozs okozta ergotizmus problémája, ezt hívták „Szent Antal tüzének” is. A megbetegedésért a *Claviceps purpurea* gombafaj által termelt módosult aminosavszerű ergot-alkaloidok tehetőek felelőssé. Először szédülést, hányingert és általános rosszullétet idézett elő, de súlyosabb

esetben az erek elzáródtak, a végtagok elhaltak, elüszkösödtek. A 20. században Japánban közegészségügyi probléma volt a „sárgás rizs betegség”, amit a citrinin okozott. A múlt században is több mikotoxin-krízis történt: 1955-ben a Szovjetunióban a trichotecének okoztak alimentáris toxikus aleukiát, míg a Balkánon 1952-ben az ochratoxin-A vezetett endémiás nefropátiához (Sára és mtsai., 2024).

3.3. Gabonafélék toxinjainak csoportosítása

Napjainkban több mint ezernyi mikotoxin létezik, amelyeknek az előfordulási gyakorisága és mennyisége erősen függ a környezeti és éghajlati körülményektől. A gabonafélék mikotoxinok általi fertőzöttsége napjainkban is kiemelt jelentőségű kihívást jelent. A mikotoxinokat több csoportba sorolhatjuk aszerint, hogy kémiai szerkezet, egészségügyi hatás, termelt gombafaj vagy előfordulás helyet nézzük.

Kémiai felépítésük szerint különböző kategóriákba sorolhatók. Az aflatoxinok poliketidek heterociklusos vázat alkotó származékai, úgynevezett szubsztituált kumarin-származékok, (B1, B2, G 1 és G2 jelzésű) tulajdonságú, igazoltan rákkelt tulajdonságokkal rendelkezik. A trichotecének (például T-2 toxin és DON) szeszkviterpén-laktonok, amelyek elsősorban a fehérjeszintézist gátolják. A fumonizinek (például FB1) polihidroxikarbonil szerkezetű anyagok, amelyek a szfingolipid-anyagcserét zavarják meg. A zearalenon egy lakton típusú vegyület, amely ösztrogénszerű hatása miatt hormonális egyensúlyzavarokat idézhet elő. Az ochratoxinok klórozott izokumarin származékok, amelyek főként a vesét és a májat károsítják. (WHO, 2023; Hussein & Brasel, 2001; MDPI Microorganisms, 2021).

Az egészségre gyakorolt hatásaik alapján is több csoportba sorolhatók. Így az alábbi kategóriákat különböztetjük meg. A legnagyobb/legsúlyosabb egészségügyi veszély az első csoport, amelyek rákos megbetegedést okoz. Második az, amelyek középsúlyosak, de jelentős egészségügyi hatásaik vannak. Harmadik csoport hosszabb távon problémát okozó, de nem azonnal életveszélyes csoport. (EFSA, 2020; Pestka, 2010; Nébih, 2022).

A termelő gombafajok többféle nemzetségből származnak, és különböző környezeti feltételek között képesek elszaporodni. Az *Aspergillus* fajok főként meleg és nedves környezetben termelnek. A *Fusarium* nemzetség elsősorban gabonaféléket fertőznek különböző mezőgazdasági károkat okozva. A *Penicillium* fajok raktározás közben termelik toxinjaikat, különösen romló élelmiszerekben. (Marin és mtsai., 2013; Logrieco és mtsai., 2020).

A mikotoxinok különböző gabonafélékben és raktározási körülmények között fordulnak elő. Az aflatoxin leginkább meleg éghajlaton, főként kukoricában fordul elő. A fumonizinek szintén kukoricában jelennek meg, különösen akkor, ha a termést nedvesen tárolják. A trichotecének főként kalászosokban halmozódik fel, jellemzően csapadékos évszakokban. A

zearalenon búzában és kukoricában keletkezik, szaporodását a párás, nedves betakarítási időszak segíti elő. Az ochratoxin inkább a tárolási időszakban képződik, ha a gabonát nem szárítják megfelelően és párás körülmények között tárolják. (Magan & Olsen, 2004; Németh, 2019; EFSA, 2020).

4. Mikotoxint termelő penészgombák csoportosítása

Ebben a fejezetben szeretném bemutatni a mikotoxin-csoportok részletesebb elemzését. Kitérek a molekuláris szerkezetük bemutatására, hiszen a kémiai felépítésük alapvetően meghatározza a toxikus hatásmechanizmusukat és az általuk kiváltott biológiai reakciókat. Hogy ezek a vegyületek milyen környezeti feltételek mellett képződnek, illetve mely alapanyagokban és élelmiszerekben fordulnak elő. Emellett áttekintem, hogy a mikotoxinok milyen egészségügyi kockázatot hordoznak, beleértve az azonnali mérgezési tüneteket, a krónikus megbetegedések kialakulását, valamint a rákkeltő és immunrendszert gyengítő hatásokat.

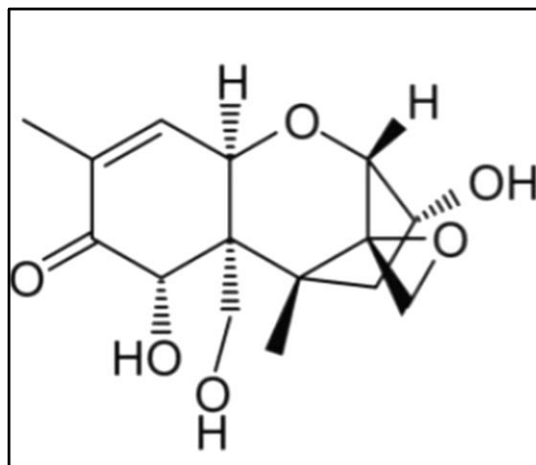
4.2. Fusarium-fajok vizsgált toxinjai

A *Fusarium* nemzetségbe tartozó penészgombák világszerte jelentős veszélyforrást jelentenek a mezőgazdasági termények – különösen a gabonafélék – minőségére és élelmiszerbiztonságára. Ezek a gombák különféle mikotoxinok termelését idézik elő, mint például a deoxinivalenol (DON), a T-2, a zearalenon (ZEA) és a fumonizin (FUM). E toxinok hőstabil vegyületek, így a feldolgozási folyamatokat gyakran károsodás nélkül átvészelik. Emiatt komoly kockázatot jelentenek az élelmiszerláncban, mivel a szennyezett termékek fogyasztása akut vagy krónikus mérgezési tüneteket válthat ki.

4.2.1. Deoxinivalenol

A deoxinivaleon/dezoxinivaleon (DON) az egyik leggyakoribb mikotoxin, amelyet világszerte kimutatnak különböző gabonafélékben, például búzában, árpában, kukoricában és zabban. A B-típusú trichotecének közé tartozik, főként a *Fusarium graminearum* és a *Fusarium culmorum* termelik. Gyakran nevezik vomitoxinnak, mivel hánytató hatása van, különösen sertéseknél, de embereknél is okozhat gyomor-bélrendszeri panaszokat. A DON szinte az egész világon fordul elő és okoz problémát. Előfordulása gyakran kapcsolódik a betakarítás előtti fertőzéshez, illetve a nem megfelelő feldolgozási és tárolási körülményekhez, mint a magas páratartalom vagy hőmérséklet. Rendkívül hőstabil, így a hagyományos élelmiszer-feldolgozási eljárásokkal nem távolítható el, így gyakori étrendi szennyező.

A DON a trichotecén vegyületek közé tartozik, azon belül is a B típusba sorolják. Ez azt jelenti, hogy a szerkezetében nincs szabad szénhidrogén oldallánc, mint az A típusúaknál, hanem inkább hidroxilcsoportok találhatók rajta. A trichotecének alapváza egy szeszkviterpén, vagyis 15 szénatomos vázból álló molekula. A DON szerkezetében egy epoxigyűrű is van, ami különösen mérgezővé teszi ezt a vegyületet. (2. ábra) (McCormick és mtsai., 2011).

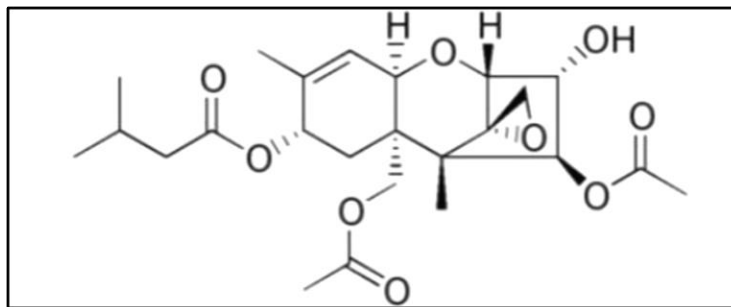


2. ábra A deoxinivalenol (DON) szerkezeti képlete. Pavlina Sobrova, Vojtech Adam, Anna Vasatkova, Miroslava Beklova, Ladislav Zeman és Rene Kizek (2010) Deoxynivalenol and its toxicity <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2984136/>

A DON az emberi egészségre főként szennyezett gabonafélékben – például zab, árpa, búza, kukorica – fogyasztásával jelenthet kockázatot. Kimutatták már hajdinában, cirokban, pattogatott kukoricában, lisztben, kenyérben, tésztában sörben és malátában is (Pestka és Zhou, 2000). Bár nem jelent komoly közegészségügyi veszélyt, előfordulhatnak rövid távú tünetek, például hányinger, hányás (Perkowski és mtsai., 1990), illetve hasmenés, hasi fájdalom, fejfájás, szédülés és láz.

4.2.2. T-2

A T-2 (T2) toxin az A típusú trichotecén mikotoxinok közé tartozik. Molekulájában kettős kötés van a 9. és 10. szénatom között, valamint egy epoxigyűrű a 12. és 13. szénatom között (Pestka et al., 2021). Szerkezetében megtalálható egy hidroxilcsoport a 3. szénatomnál, acetyl csoportok a 4. és 15. szénatomoknál, egy hidrogén a 7.-nél, és egy izovalerilcsoport a 8. szénatomnál (3. ábra) (Sokolović és mtsai., 2008).

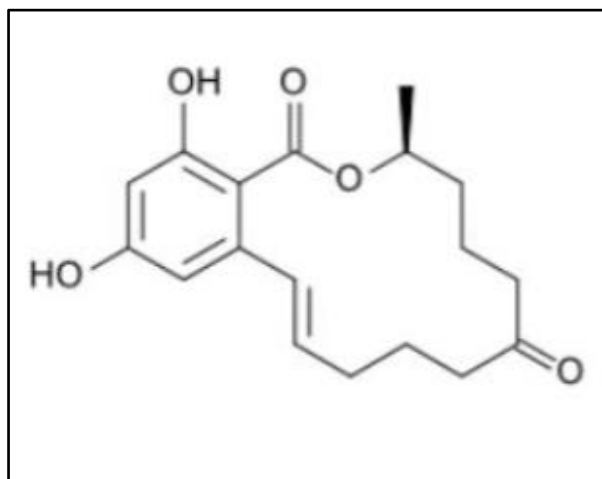


3. ábra A T-2 szerkezeti képlete. Sokolović M., Garaj-Vrhovac V., Šimpraga B. T-2 toxin: Incidence and toxicity in poultry (2008).
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8618548/#B41-molecules-26-06868>

A T-2 toxint több *Fusarium* faj termeli, többek között a *Fusarium sporotrichioides*, *Fusarium poae* és *Fusarium acuminatum* is (Nazari és mtsai., 2014; Nathanail és mtsai., 2015). Előfordulását számos gabonafélében igazolták, elsősorban hideg és mérsékelt klímán, valamint magas páratartalmú tárolási körülmények között (Edwards et al., 2012, Lippolis et al., 2007). A T-2, amely gyakori gabonaszennyező, komoly kockázatot jelenthet mind az emberek, mind az állatok számára. Magas toxicitása miatt számos káros hatással járhat. A mérgezés súlyossága több tényezőtől is függ, mint például a bevitt adagtól, az életkortól és a bevitel módjától (orális, bőrön át, belégzéssel): Akut mérgezés során gyakori tünetek a takarmány elutasítása, hányás, vérzések, gyomornekrozis és bőrgyulladás (Garai és mtsai., 2020; Makowska és mtsai., 2018).

4.2.3. Zearalenon

A zearalenont (ZEA) és annak metabolitjait mikoösztrógeneknek nevezzük, mivel ezek, a természetben előforduló ösztrogénszerű vegyületek egyik alcsoportját képezik. A nem szteroid típusú mikoösztrógenek között a ZEA az egyik legismertebb és legjellemzőbb képviselő. A ZEA egy természetes eredetű vegyület, amely a rezorcikus savlaktonok csoportjába tartozik. Kémiaailag egy hosszú szénláncú oldallánccal rendelkező laktongyűrűs szerkezet, ahol a rezorcin nevű aromás gyűrűhöz egy 11szénatomos oldal lánc kapcsolódik. Ez az oldallánc tartalmaz egy kettős kötést, egy oxocsoportot (O=C) és egy hidroxilcsoportot (Ropejko és Twaruzek, 2011).

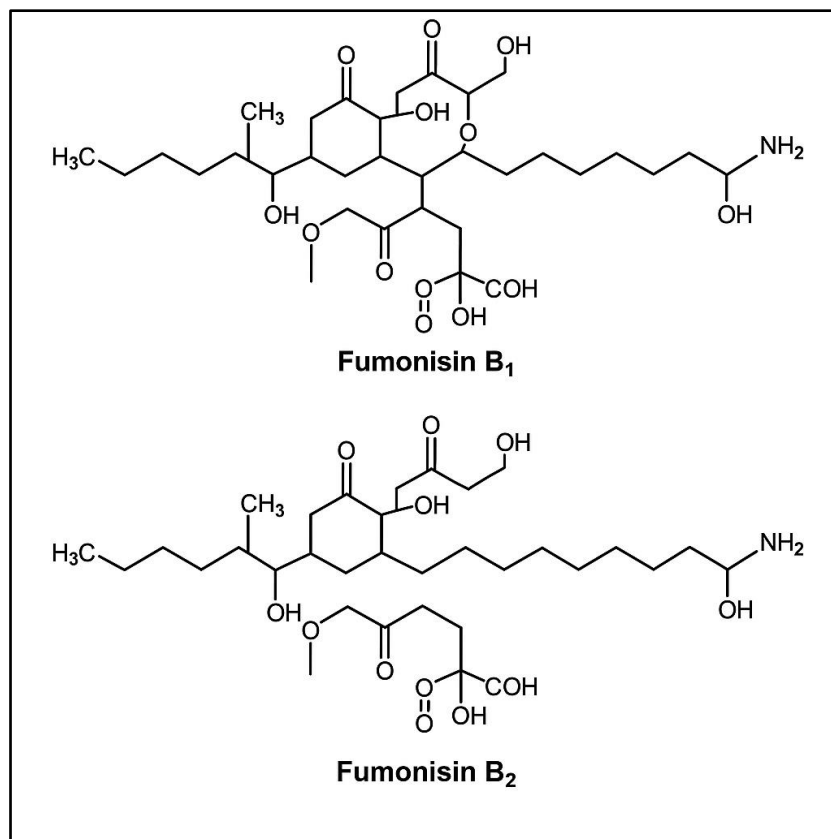


4. ábra A ZEA kémiai szerkezeti képlete. Ropejko K, Twarużek M. Zearalenone and Its Metabolites—General Overview, Occurrence, and Toxicity. *Toxins*. 2021 <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7825134/>

A zearalenont elsősorban a *Fusarium* nemzetség különböző fajai termelik, leggyakrabban a *Fusarium graminearum*, *Fusarium crookwellense*, *Fusarium sporotrichioides* és a *Fusarium culmorum*. A ZEA termeléséhez a gombák számára optimális feltételeket a 20-25 °C közötti hőmérséklet és a 20%-ot meghaladó páratartalom, ekkor a toxin akár 3 héten belül képződhet. Ugyanakkor alacsony hőmérsékleten is termelődik, főként akkor, ha a gombákat stresszhatás éri. Megtalálható kukoricában, kisebb mértékben kalászosokban, kölesben, rizsben, élelmiszereken (például pékáruban, tésztákban), takarmányokban. Ösztrogénszerű mikotoxin, amely főként a reprodukzív rendszerre gyakorol káros hatást. Képes kapcsolódni az ösztrogénreceptorokhoz, így hormonális zavarokat, termékenységi problémákat és korai pubertást okozhat (Ropejko és mtsai., 2021). Negatívan hat a spermiumokra, befolyásolva ezzel az életképességét és mozgékonyágát az ivarsejteknek (Tassis és mtsai., 2020). A májat is károsítja, úgy, hogy legyengíti a szervezet antioxidáns védekezését. Ez miatt a májsejtekben fokozódik az oxidatív stressz és a sejtekben káros anyagok halmozódnak fel, ami egy különleges sejthalál típushoz vezet, az úgynevezett ferroptózishoz. Ennek következtében a máj megsérül, ami egészségügyi problémákat okozhat (Bao és mtsai., 2024).

4.2.4. Fumonizin

A fumonizinek (FUM) komplex molekulák, amelyeknek hosszú szénláncuk van, amihez különböző csoportok kapcsolódnak: két metilcsoport, egy aminocsoport, néhány hidroxilcsoport, illetve két trikarbonsav-észter alegység. A 18 szénatomos lánc végleges molekulaszervezete úgy jön létre, hogy a szintézis folyamán két trikarbonsav-származék és egy alaninból származó, amin kapcsolódik, így alakul ki a végső molekulaszervezet (Richard, 2007).



5. ábra A FUM kémiai felépítése. Nguégwouo, 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. https://www.researchgate.net/publication/325934127_An_Overview_of_some_Major_Mycotoxins_in_Food_and_their_Detection_Methods

A *Fusarium* nemzetségbe tartozó gombák által előállított mérgező anyagok, amelyek elsősorban a kukorica és egyéb gabonafélék (rizs, búza, árpa, rozs, zab és köles) termesztése során lehet kimutatni a természetes környezetben. A fumonizinek termelődése főként a *Fusarium verticillioides*, a *Fusarium proliferatum* és más *Fusarium* törzsek termelik. A fumonizin legfőképpen a kukoricát fertőzi. Számos felmérés kimutatta, hogy a világ összes területén, ahol kukorica termesztés folyik, FUM által fertőzött (Dutton, 1996). A ma ismert fumonizinek 12 típusa közül a FB1 rendelkezik a legjelentősebb egészségügyi kockázattal, mind az állatok, mind az emberek körében (Fodor, 2007). A fumonizin B1 lovaknál agylágyulást és májtoxikózist (Marasas és mtsai, 1988), sertésnél máj- és vesekárosodás, illetve tüdőpangásos vizenyőt okozhat (Harrison és mtsai, 1990). Egyes esetekben összefüggésbe hozták dél-afrikai és kínai térségekben emberben előforduló endémián jelentkező nyelőcsőrák és májrák kialakulásával is, különösen a deoxinivalenollal együtt (Thiel és mtsai, 1992; Marasas és mtsai, 1993). Mindemellett bizonyos tanulmányok kimutatták, hogy az anyatej is lehet

fumonizinekkel fertőzött, így az ennek kitett gyermekeknél fejlődési rendellenességeikkel állhat párhuzamban (Shirima C. P. és mtsai, 2014).

4.3. *Aspergillus*-, *Penicillium*-fajok vizsgált toxinjai

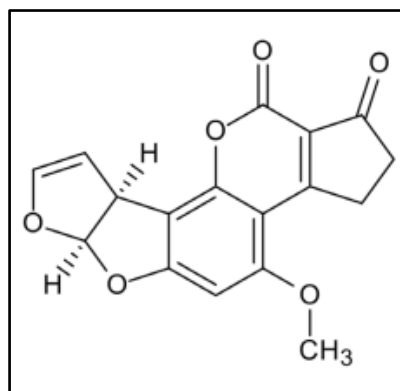
Az *Aspergillus* nemzetségbe tartozó penészgombák világszerte elterjedtek, előfordulnak a talajban, növényi maradványokon és különféle élelmiszereken. Egyes fajok toxintermelésre képesek, amelyek közül az aflatoxin B1 (AfB1) volt vizsgálva.

A *Penicillium*-fajok elsősorban a talaj felső rétegében és a raktározott mezőgazdasági termékek felületén fordulnak elő. Ezen csoport esetében az ochratoxin-A (OTA) szennyezettséget vizsgáltuk. Az ochratoxin hőálló, így az élelmiszer-előállítás során sem semmisül meg teljesen.

Említésre méltó, hogy régen ez a két csoport csak raktári penészként volt ismert, mára már a szántóföldön is megtalálható (Kovács, 2020).

4.3.1. Aflatoxin

Az aflatoxin (AFLA) kémiai szerkezetét tekintve egy difuranokumarin vázas molekula, amely két furán gyűrűből és egy kumarin alapvázból áll. Az aflatoxin B1 (AFB1) esetében a furángyűrűben található kettős kötés növeli a vegyület reakcióképességét, emiatt erősebben rákkeltő hatású, mint más aflatoxinok. Ez a szerkezeti sajátosság meghatározó szerepet játszik a toxikus hatás kialakulásában (Bhatnagar D. és mtsai, 2003).



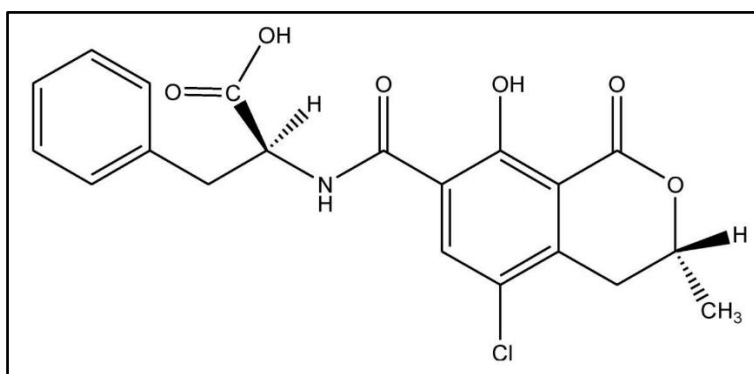
6. ábra Az aflatoxin B1 kémiai szerkezete. Varga J., Baranyi N., Chandrasekaran M., Vágvolgyi Cs., Kocsubé S. (év). *Mycotoxin producers in the *Aspergillus* genus: an update* (2015) <https://www2.sci.u-szeged.hu/ABS/2015/Acta%20HPE/59151.pdf>

Az aflatoxint az *Aspergillus* fajok, azaz az *Aspergillus flavus* és az *Aspergillus parasiticus*, de más *Aspergillus* fajok is képesek termelni. A toxin termeléséhez különösen fontos tényező a tartós 30 °C feletti hőmérséklet, illetve, hogy a páratartalom 80-85%-os legyen, illetve a nem megfelelő tárolás. A klímaváltozás ezt elő is segíti. Leggyakrabban termesztett növényeink túlnyomó többsége érintett aflatoxin szennyezettséggel, mint például búza, kukorica, árpa, amiben felfedezhető (Khan R., és mtsai., 2024). Az aflatoxin által termelt mérgező anyagok,

amelyeket erőteljes, akár életveszélyes akut toxicitásuk, daganatkeltő hatásuk, valamint számos krónikus egészségkárosodás kialakításának kockázata jellemzi. Táplálkozási úton történő bejutásuk a szervezetbe komoly közegészségügyi kihívás. Aflatoxinnal való érintkezés bármely életkorban előfordulhat. Hozzájárulhat a gyermekkori növekedési visszamaradáshoz, valamint gyengítheti az immunrendszert, ami miatt a szervezet fogékonyabbá válik a különféle betegségekre. Az egyik legfontosabb tényező a májrák kialakulásában is, különösen akkor, ha az illető hepatitis B vírussal is fertőzött (YY Gong és mtsai., 2016).

4.3.2. Ochratoxin-A

Az ochratoxin A (OTA) egy gombák által termelt vegyület, amely kémiai szempontból egy pentaketid eredetű molekula. Ez azt jelenti, hogy alapváza öt egységből felépülő láncból jön létre, amely a dihidrokumarinok csoportjába tartozik. Ehhez a váznak az egyik részéhez egy β -fenilalanin nevű aminosav kapcsolódik. (el Khoury és mtsai., 2010).



7. ábra Az ochratoxin A kémiai szerkezete. el Khoury, A. & Atoui, A. (2010). *Ochratoxin A: General overview and actual molecular status*. *Toxins*, 2(4), 461–493.
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3153212/>

Az ochratoxin egy olyan mikotoxin, amelyet számos *Aspergillus* és *Penicillium* gombafaj termel. *Aspergillus* fajok közül az *Aspergillus ochraceus*, *Aspergillus carbonarius* és az *Aspergillus niger*. *Penicillium* fajokat tekintve a *Penicillium verrucosum* (Bui-Klimke és Wu, 2015). Az OTA-t leginkább a stabilitása jellemzi. Megerősítették, hogy ellenáll mind a savaknak, mind a magas hőmérsékletnek. Amint bekerül egy élelmiszertermékbe, szinte lehetetlen teljesen eltávolítani (el Khoury és mtsai., 2010). Müller még 1982-ben fedezte fel, hogy a normál főzés során az OTA csak részben bomlik le. Az OTA termelését elősegíti a meleg, nedves éghajlat, ahol elsődleges termékek, amik fertőződni tudnak a kukorica és a rizs (Nguyen és mtsai., 2007). Észak-Európa országai, ahol az éghajlat alacsony hőmérsékletű, különösen érintettek ochratoxin szennyezésben. Ennek oka, hogy az OTA-t termelő *Penicillium* fajok képesek alacsony hőmérsékleten is növekedni (Khoury és mtsai., 2010). Összeségében az OTA különböző élelmiszerekben található meg, különösen a

gabonafélékben (Solfrizzo és mtsai., 1998). Állati szervezetben az OTA vesekárosító hatása, valamint vesedaganatot is okoz. Azoknál az embereknél, akiknek ochratoxin-tartalmú élelmiszerekkel magasabb volt a toxinexpozíciójuk, gyakoribbak voltak bizonyos krónikus vesebetegségek, például a Balkáni endemikus nephropathia (BEN) és a krónikus intersticiális nephropathia (CIN) (Bui-Klimke és Wu, 2015).

5. Klímaváltozás, mint befolyásoló tényező

A fosszilis energiahordozók égetése, az erdőirtás, valamint az intenzív állattenyésztés mind erőteljesen befolyásolják a Föld éghajlatát és hozzájárulnak a globális átlaghőmérséklet emelkedéséhez. Az emberi tevékenység következtében megnő az atmoszférában jelen lévő üvegházhatású gázok mennyisége, ami fokozza a természetes üvegházhatást. Ennek eredményeként felgyorsul a globális felmelegedés folyamata, amely komoly környezeti és gazdasági következményekkel járhat. A klímaváltozás nem csak a gabonatermesztésre, hanem a mikotoxinok előfordulására is hatással van.

5.2. Klímaváltozás hatása a gabonatermesztésre

A klíma mindig is befolyásolta a növénytermesztést. Az elmúlt két évtized terméshozadásait jórészt az extrém időjárás okozza, és a hagyományos, évszázadok alatt kialakult módszerek ma már kevésbé hatékonyak ezek kivédésében. Mivel a növénytermesztés alapvető az élelmiszerellátásban és más ágazatok kiegészítőjeként, így elengedhetetlen a védekezési lehetőségek feltérképezése, a módszerek fejlesztése (Birkás M., 2011). A szárazság és csökkent talajnedvesség miatt a nyári gabonák hozama csökkent. Ezen kívül a csapadékhiány, szélsőséges időjárási események, mint például a hóhullámok és aszály, de az emberi tevékenységek is tovább növelhetik a terméshozadást (Huzsvai és mtsai., 2024). Jelenlegi helyzet szerint az éghajlatváltozás negatív hatásait a mai technológia fejlettség nem tudja kompenzálni. A csapadékmennyiség ingadozása károsítja a növényeket, valamint súlyosabbá teszi az éghajlati stresszhatásokat, mint például az aszályt vagy áradást. A hőmérséklet és további időjárási viszonyok változása igen kedvező hatással van a kártevők és betegségek elszaporodásához, mivel a melegebb klíma elősegíti a szaporodásukat (Masingo, 2023). Az éghajlatváltozás és az előző kultúrák betakarítását követő időjárási ingadozások miatt az őszi búza vetési ideje egyre szélesebb időintervallumban mozog. Groom és Baker (idézi Huzsvai és mtsai., 2024) az éghajlati tényezők hatását vizsgálták a búza fényhasznosítására. Ennek eredményei szerint a téli hőmérséklet és a fényintenzitás ingadozása szoros kapcsolatban áll a fotoszintetikus teljesítménnyel. Amikor a fény mennyisége túl magas az alacsony hőmérséklet mellett, bekövetkezik a fotogátlás, amely végső soron a terméshozam mérséklődéséhez vezethet. Huzsvai László és munkatársai (2024)

a termés kiesést Wald-Wolfowitz futtatási módszert alkalmazták, amely során az alábbi eredmények születtek. Az 1926-1960 közötti időszakban az őszi búza esetében átlagosan négyévente fordul elő legalább 15%-os termés kiesés, míg 30%-ot meghaladó veszteség csupán egyszer fordult elő. A későbbi, 1985-2023 közötti periódusban kisebb, 15%-os visszaesések ritkábbá váltak, körülbelül nyolcévente fordultak elő, ezek összefüggésbe hozhatók a termesztéstechnológiai fejlődéssel, mint például a korszerű fajták alkalmazásával. Azonban a 30%-ot meghaladó termés kiesések gyakoribbá váltak, körülbelül húszévente előforduló eseményekké váltak. Mindez bizonyítja a már fentebb említett állításokat, hogy bár hiába a technológiai fejlettség, mégsem képes kompenzálni a klímaváltozásból eredő szélsőséges időjárási körülményeket.

5.3. Klímaváltozás hatása a mikotoxin termelésre

A klímaváltozás hatással van a mikotoxinok képződésére. Casu és munkatársai (2024) írtak egy tanulmányt, amelyben tárgyalják a globális felmelegedés okozta hőmérséklet emelkedést és a szélsőséges időjárási következményeket – például az árvizek, aszály, hóhullámok. Ezen tényezők növekedése tudja alakítani azokat az ökológiai feltételeket, amelyek befolyásoló hatással vannak a toxinok termelésére. Európában az átlag hőmérséklet körülbelül 0,5 °C-kal emelkedik évtizedenként. A klimatikus változások támogatják az *Aspergillus flavus* terjedését, ami most már olyan helyeken is megjelent, ahol eddig még nem fordult elő számottevő mértékben. A *Fusarium graminearum* alkalmazkodó képességének köszönhetően agresszívabb kórokozóvá válhat (Casu és mtsai., 2024). A klímaváltozás nem csak időjárási szempontból okozhat toxinproblémákat, hanem a kártévőkre is hatással van. Az éghajlat változásával a telek enyhébbek lettek, így a kártékony rovarok át tudnak telelni, mivel csökken a mortalitás mértéke, ezáltal növelik a rizikófaktort. A rovar kártevők sebzés okán, stressz hatás kiváltásával, közvetlen terjesztés által vagy tárolási kár során (pl.: zsiszikes) tudják kiváltani a penészgombák képződését. A klímaváltozás előidézi a toxinok megjelenési arányának és mennyiségének növekedését, ami az élelmiszerbiztonságra nézve jelentős fenyegetés.

5.4. Hőmérséklet, csapadék és páratartalom befolyásoló szerepe a toxintermelésben

Növényi kórokozók esetében – gombák, baktériumok, vírusok – a hőmérséklet, csapadék és páratartalom tudja leginkább meghatározni a betegségek előfordulását és súlyosságát. Közvetlenül és közvetve is befolyásolják a gombás fertőzéseket. A környezeti hőmérséklet alapvetően határozza meg, hogy mennyire aktívan termelnek a mikotoxinokat a gombák. Ha túl alacsony a hőmérséklet, a toxintermelő gombafajok többsége nem tud rendszeresen növekedni

és termelni, mivel lelassul az anyagcseréjük (Perrone és mtsai., 2020). Érdekes, hogy mindegyik penészgombának megvan a saját ideális hőmérséklet-tartománya, ahol igazán beindul a toxintermelés: DON és FUM esetében a kb. 20-30 °C körül mozog, aflatoxinokat tekintve a meleg, száraz körülmény és 25-35 °C, azok a penészgomba fajoknak, amik az OTA termeléséért felelősek, azoknak az optimális hőmérséklete 10-20 °C között van (Lewis és mtsai., 2012; Bullerman és mtsai., 1984). Amikor a hőmérséklet nagyon megemelkedik, a legtöbb faj előállítása visszaesik. Abban az esetben, ha a meleg mellé szárazság is társul, akkor az *Aspergillus* fajok gyakran ellenkezőleg reagálnak és még több AFLA keletkezik. Csapadékot tekintve, ha nincs elegendő mennyiségű víz a növények számára, akkor a növény elkezd stresszelni, ami a fent már említett AFLA számára kedvező a meleg hőmérséklettel párosítva. Viszont, ha túl sok a számára rendelkezésre álló víz, az a *Fusarium* fajok számára előnyös, mivel elősegíti a csírázást és a terjedést a kalászon. A virágzás idején történő csapadékos időjárás problémát jelenthet, mivel a *Fusarium graminearum* agresszívan fertőzhet, ami magas DON koncentrációt eredményezhet (Perrone és mtsai., 2020). Legvégül pedig a páratartalom... szintén meghatározó szerepe van abban, hogy mikotoxinok képződnek-e. Ha az *Aspergillus favus*t vesszük, ebben az esetben 85% felett megindul a növekedés. Az aflatoxin termelése már 83%-nál elkezdődhet, és akár 99%-ig nőhet (Bullerman és mtsai., 1984).

5.5. Multimikotoxin jelenség és hatása

A legtöbb gombafaj egyszerre többféle toxint is képes termelni. Emellett az élelmiszerek és takarmányok gyakran több gombafajjal is szennyeződhetnek. Ez azt jelenti, hogy az emberek és az állatok szervezetében ritkán fordul elő csupán egyetlen mikotoxin. A többféle toxinok együttes jelenléte miatt azok toxikus hatása nem mindig jósolható meg az egyedi mérgező hatások alapján. A mikotoxinok közötti kölcsönhatások lehetnek antagonisztikusak, additívak vagy szinergisták. Az *in vivo* vizsgálatok szerint a kombinált toxikus hatások előrejelzése nehéz, mivel a különböző toxinok egymásra gyakorolt hatása eltérő lehet. Az aflatoxinokkal együtt leggyakrabban a fumonizineket, az ochratoxin A-t és a trichotercéneket (különösen a T-2 toxint) vizsgálják (Grenier és Oswald, 2011). A mikotoxinok kölcsönhatásai fokozhatják az oxidatív stresszt, gyengíthetik az immunrendszer működését, és károsíthatják a különféle szerveket, a reprodukciós képességeket csökkentheti, valamint a teljesítményre is negatív hatással lehet (kevesebb tej- tojástermelés), rosszabb carcassat eredményezhet és fokozhatja a mortalitást (Li és mtsai., 2000).

6. Vizsgálat bemutatása

6.2. Vizsgálat célja

A vizsgálat célja a magyarországi kalászos gabonafélék toxinterheltségének felmérése, amelyhez a minták az ország különböző termőterületeiről érkeztek. További célok a toxinterheltség tájegységek szerinti eltérésének feltárása, valamint a potenciális kockázatok azonosítása mezőgazdasági, élelmiszerbiztonsági és egészségügyi szempontok figyelembevételével.

6.3. Vizsgálati eljárás

6.3.1. Minták

A mérés kivitelezéséhez 96 kalászos gabonaminta került be a laborba, amelyek az ország bizonyos területeiről érkeztek. A kapott minták az Alföldről, az Északi-középhegységből, Dunántúli-dombágból és a Dunántúli-középhegységből származnak. Azért döntöttünk a kalászos gabonák mellett, mert a humán táplálkozásban elengedhetetlen szerepe van, illetve takarmányozásban sem a ritkán felhasznált alapanyagok körébe tartozik. A minták betakarítása 2023-ban történt.

6.3.2. Mintavétel

A mikotoxin-szennyezettség precíz megállapítása szorosan összefügg a mintavétel gondos és szakszerű lebonyolításával. Együttműködő partnereink az előírásoknak teljes mértékben megfelelően végezték a mintagyűjtést az Európai Unió által hozott jogszabályok szerint. A részletes mintavételi eljárás szabályait a Bizottság (EU) 2782/2023. (XII. 14.) végrehajtási rendelete határozza meg. A mintákat 1 kilogrammos papírzacskóban érkeztek a laboratóriumba. Kritikus tényezőnek számít a termőterület vagy tárolóhely (vagyis a helyszín) és az időpont megválasztása. A vizsgálatok döntően magtári mintára terjednek ki, melyek megfelelő tárolási feltételeket biztosítottak. A magtárak megfelelő szellőztető rendszerrel rendelkeztek, valamint nem voltak képesek beázni.

6.3.3. Minták előkészítése

Az első lépés a minták homogenizálása volt, majd kimértünk 100-110 gramm búzát/árpát, amit ezután a KN 295 Knifetec géppel daráltunk meg. A készülék sokoldalúságának köszönhetően képes feldolgozni a gyümölcsöt, zöldséget, olajos magvúakat, illetve a gabonát is, így a kalászos minták esetében is gyors segítséget nyújtott. A beszerelt időzítőnek köszönhetően beállíthatjuk, hogy mennyi ideig daráljon. Általában 5 másodperc már elég volt a megfelelő szemcseméret eléréséhez. A darálás oka, hogy a készülék csak a „lisztszerű” mintával tud dolgozni, mivel így tudja rendesen kinyerni a mikotoxinokat. Az előkészítés szabályait a 2782/2023-as (XII. 14.) EU-rendelet II. melléklete írja le, mindazonáltal a

rendelet hatálybalépését megelőzően elfogadott módszerek esetében 2029. január 1-ig a 401/2006/EK rendelet II. számú mellékletének 4.3. pontja marad irányadó. Az előkészítéshez hozzátartozik, hogy a megdarált búzát mintatartó edényekbe 5 gramm búzát mértünk, mivel a gép 5 grammos adagokkal dolgozik. majd a mérésig 2-8 °C között volt tárolva a mérésig.

6.3.4. Analitikai módszer

A vizsgálat a Soft Flow Kft. laboratóriumában történt. A mérések MycoFoss™ készülékkel történt, amely hat különböző toxin – deoxinivalenol, zearalenon, aflatoxin (AFB1, AFB2, AFG1, AFG2), ochratoxin-A, fumonizinek (FB1, FB2 FB3) – egyidejű vizsgálatára alkalmas. Így a készüléknek köszönhetően lehetőségünk van a multimikotoxin-hatást is felismerni. Mintaként kukorica, búza és árpa használható fel. A műszer multiplex mérésre is képes, azaz a felsorolt toxinok jelenlétét képes egyidejűleg meghatározni a gabonamintákban (1. táblázat).

MycoFoss™ multiplex (több toxinos) megoldás	
Mikotoxin	Mérési tartomány (ppb)
Aflatoxin – AFLA (AFB1, AFB2, AFG1 és AFG2)	Kukorica: 2-100 Búza: 4-100
Deoxinivalenol – DON	Kukorica és búza: 200-5000 Árpa: 300-5000
Zearalenon – ZEA	30-500
Fumonizinek – FUM (FB1, FB2 és FB3)	500-5000
Ochratoxin A – OTA	5-100
Trichotercén 2 – T-2	50-500

1. táblázat A készülék által végzett multiplex mérések által vizsgálható toxinok és mérési

A készülék a méréshez két módszert használ együtt: a kompetitív immunassay (ellenanyag-antigén versengésen alapuló immunológiai vizsgálat) és az áramlási citometria (sejtek vagy részecskék folyadékban történő kvantitatív elemzése). A kompetitív immunassay esetében a mintában található jelöletlen antigének versenyeznek a fluoreszcensen jelölt antigénnel az antitest kötőhelyeiért. Abban az esetben, ha a jelöletlen antigén elfoglalja a kötőhelyet, azzal gátolja a jelölt antigén kötődését. Ebben az esetben a rendszerben az antigének toxinmolekuláknak felelnek meg, az antitestek pedig gyöngyök felületéhez kötve helyezkednek el. Az áramlási citometriás működési elvnek megfelelően a műszer felépítése tartalmaz egy áramlási, egy optikai és egy elektronikai egységet, amely a citométerek általános sajátosságát követi (McKinnon, 2018). A folyamat alapja, hogy az antitestek gyöngyök felszínéhez kötve helyezkednek el. A vizsgálat során alkalmaznak egy reagenst, amely a fluoreszcensen jelölt toxinokat tartalmazza. Ezek képesek kapcsolódni az antitestek kötőhelyeihez, ugyanakkor a jelöletlen antitestek versengenek ugyanezért a helyért. A minta mikotoxin-tartalmával fordítottan arányos a fluoreszcens jel intenzitása. Tehát minél erősebb

a jel, annál alacsonyabb a toxin koncentrációja. A gyöngyöknek saját színe van, amivel az egyes toxinokat el lehet különíteni. Maga a mérés folyamata egyszerű: a mintatartó edényekbe kimérjük a mintákat, behelyezzük a készülékbe és már indítható is a vizsgálat. A rendszer a fent leírt módszer alapján körülbelül 8 perc alatt meg is határozza a mintában előforduló toxinokat, valamint azok pontos mennyiségéről is pontos információt szolgáltat.

6.3.5. Határérték, ajánlott érték

A határérték azon érték, amely jogszabályban van rögzítve (például EU rendeletben). Ez az érték kötelezően betartandó. Ha az élelmiszer vagy a takarmány mikotoxin-tartalma meghaladja a határértéket, akkor az forgalomba nem hozható. Az ajánlott értéket akkor alkalmazzák, amikor még nincs jogszabályban rögzített határérték, de toxikológiai kockázat miatt indokolt figyelemmel kísérni. Segít a laboratóriumi eredmények értékelésében, a termelőknek és feldolgozóknak iránymutatást ad. Az élelmiszerekben található egyes szennyező anyagok felső határértékének meghatározásáról szóló 1881/2006/EK rendeletet 2023 tavaszán az (EU) 2023/915 rendelet váltotta fel. A második táblázatban szereplő értékek

Mikotoxin	Élelmiszer/termékkategória	Határérték (µg/kg)	Ajánlott érték (µg/kg)
Aflatoxin B1	Olajos magvak, aszalt gyümölcsök	B1: 2-8 összes: 4-15	
Ochratoxin A	Mazsola, szárított gyümölcsök, kávé, gabonafélék	0,5-8-20 terméktípustól függően	
Deoxinivalenol	Kemény-, puha gabonák, kukorica, gyermekélelmiszer	150-1750 gyermekétel: 150	
Zearalenon	Gabonák, kukorica, gyermekélelmiszer	maximum 20-100 (kukorica: 100)	
Fumonizin B1, B2	Kukorica és abból készült ételek	gyermekétel: 200 egyéb termékek: 800-4000	
T-2	Gabonalisztek, pelyhek, kenyér, babaétel	10-100 gyermekétel: 10	EFSA indikátor TDI 0,02 µg/kg bw naponta

egyértelműen mutatják, hogy mikotoxinokra és célterméktípusra eltérő határértékek vonatkoznak. A határértékeket mindig szigorúan szabályozott élelmiszer-kategóriáknál kell alkalmazni (például bébiételnél alacsonyabbak az értékek).

2. táblázat A főbb mikotoxinok EU-s határértékei és ajánlott értékei élelmiszerekben

7. Vizsgálati eredmények

7.2. Adatfeldolgozási eljárás

Az adatok feldolgozásához és értékeléséhez különböző módszerek kerültek alkalmazásra. A diagramok készítéséhez a Microsoft Excelt használtam, amely lehetővé tette, hogy az adatok

áttekinthetőek és összehasonlíthatóak legyenek az ábrázolás során. A minták értékelésének alapját Zain (2011) tanulmánya adta ahhoz, hogy a minták veszélyességét tudjam értékelni. A térképi megjelenés az ArcGIS 10.5 szoftverrel történt, ami pontos és részletes térinformatikai feldolgozást tett lehetővé.

7.3. Eredmények statisztikai értékelése

A vizsgálat során 66 darab búza és 30 darab árpa minta volt mérve, amelyekből meg tudtuk állapítani a mikotoxin-szinteket. A határérték tartományokba tartozó értékeket a Melléklet fejezetben található A. melléklet tartalmazza. A mérések eredményeit a B. és C. mellékletben találhatóak meg. A vizsgált mintákat 6 osztályba soroltam aszerint, hogy a határértéket mennyivel haladta meg, vagy maradt el tőle. Az alábbi osztályokat állítottam fel:

- Határérték 10%-a alatt (0-10%)
- Határérték 50%-a alatt (10-50%)
- Határérték 90%-a alatt (50-90%)
- Határérték felett (100-110%)
- Határérték 110%-a felett (110-200%)
- Határérték 200%-a felett (>200%)

A kapott eredményeket az alábbiak szerint vizsgálhatjuk:

1. Az eredményekből megállapítható a minták mikotoxin fertőzöttsége, illetve, hogy a mintákban pontosan hány mikotoxint tartalmaznak
2. Felállítható a minták mikotoxinprofilja, amely az egyes mikotoxinok együttes előfordulását vizsgálja
3. Meghatározható, hogy mely toxinok fordultak elő a legmagasabb gyakorisággal
4. Vizsgálhatjuk az eredményeket a mikotoxinok szerinti lebontásban
5. A mintavételi helyeket ismerve településtérképen történő elhelyezés is lehetséges
6. Az egyes minták veszélyessége is megállapítható

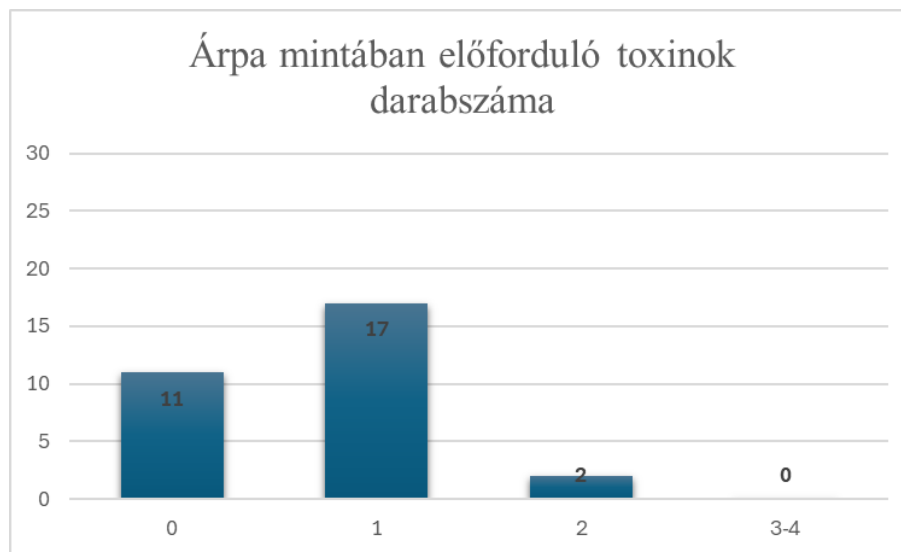
7.4. Minták mikotoxin fertőzöttsége

A mérés során a búza esetében 6 mikotoxin (deoxinivalenol, T-2, zearalenon, fumonizin B1+B2+B3, aflatoxin B1, B2, G1 és G2, ochratoxin-A), árpa esetében pedig 4 toxin (deoxinivalenol, T-2, zearalenon, ochratoxin-A). A mérési eredményeket vizsgálva az első szempont az volt, hogy tartalmaz-e a minta mikotoxint.



8. ábra Búza mintában előforduló toxinok darabszáma

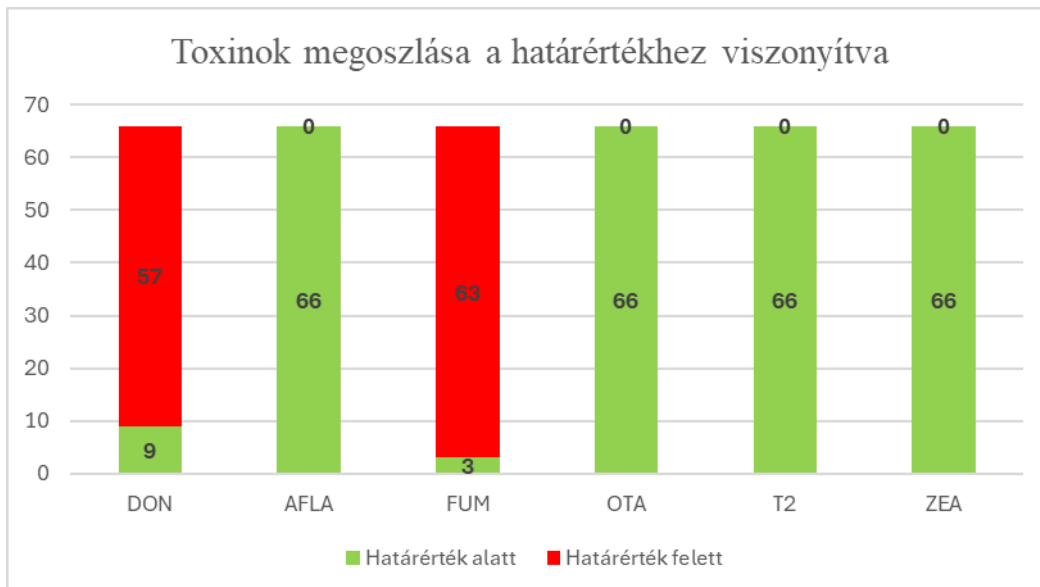
A táblázat alapján megállapítható az, hogy a 66 búza mintából 2 darab mintában fordul elő mind a hat toxin együttesen, 7 darab minta van, amiben 4 toxin van jelen, 5 darab mintában van három féle toxin, 41 darab mintában két toxin volt csak jelen, 10 darab mintában csupán egy toxint mértek és 1 darab olyan minta volt, amelyben nem mértek toxint.



9. ábra Árpa mintában előforduló toxinok darabszáma

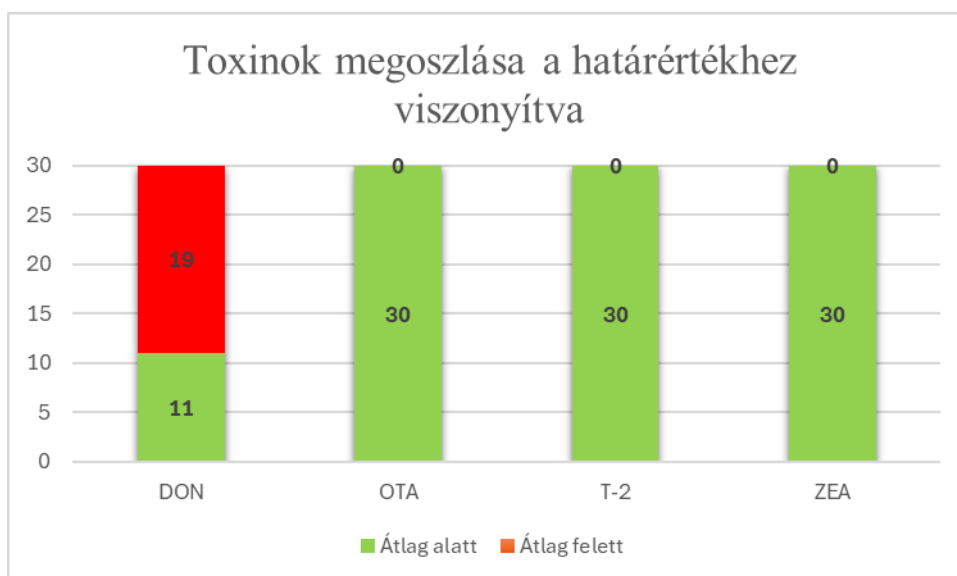
Árpa esetében teljesen más képet látunk. Nem volt olyan minta, amelyben 3-4 toxin előfordul volna, 2 darab olyan minta volt, amiben kettő toxin volt jelen, 17 darab mintában egyetlen egy toxin volt, míg 11 darab minta nem tartalmazott toxint.

A vizsgálat értékelése során a következő lépés az volt, hogy meghatároztuk, hogy a minták milyen arányban tartalmazzanak mikotoxint a meghatározott határérték alatt és felett. Ehhez az adatokat a 10. és 11. ábra tartalmazza.



10. ábra Toxinok megoszlása a határértékhez viszonyítva

A 10. ábra a búza mintákban mért megoszlást mutatja. A diagramon jól látható, hogy a DON esetében 9 minta volt, amiben a határérték alatt volt a mért szint, 57 minta pedig meghaladta a határértéket. A fumonizin B1+B2+B3 esetében 3 mintában mértek kevesebb értéket, mint a határérték, 63 mintában szintén felette volt. Az aflatoxin B1, B2, G1 és G2, ochratoxin-A, T-2 és zearalenont nézve a minták a határérték alatt voltak.



11. ábra Toxinok megoszlása a határértékhez viszonyítva

A 11. ábra az árpa mintáit mutatja. A négy mért toxin közül egyedül a DON esetében volt megoszlás. 19 minta a határérték felett volt, 11 pedig alatta. A másik három toxin tekintetében az összes minta a határérték alatti értékeket kaptunk.

A mikotoxinprofil felállításával arra kerestünk választ, hogy hogyan és milyen koncentrációban találhatóak együttesen a mikotoxinok búzában és árpában. Ez nem csupán egyes toxinok mennyiségi mérésére terjed ki, hanem magába foglalja a különböző

mikotoxinok együttes jelenlétének és lehetséges összefüggéseinek elemzését is, azaz annak vizsgálatát, hogy vajon egyik mikotoxin előfordulása milyen kapcsolatban áll más mikotoxinéval. A búzában mért R^2 értékek rendkívül alacsonyak, 0,0008 és 0,0015 közöttiek, ami lényegében azt jelenti, hogy semmilyen korrelációs kapcsolat nem állapítható meg köztük. Az árpa vonatkozásában az R^2 mutatók 0,0794 és 0,0992 közötti tartományban helyezkedtek el, amelyek magasabbak a búzához képest, mégis alacsonyabb szinten maradtak, így ebben az esetben sem volt igazolható statisztikailag szignifikáns összefüggés. Tehát összességében sem a búza, sem az árpa minták esetében nem mutatkozott statisztikailag jelentős korreláció.

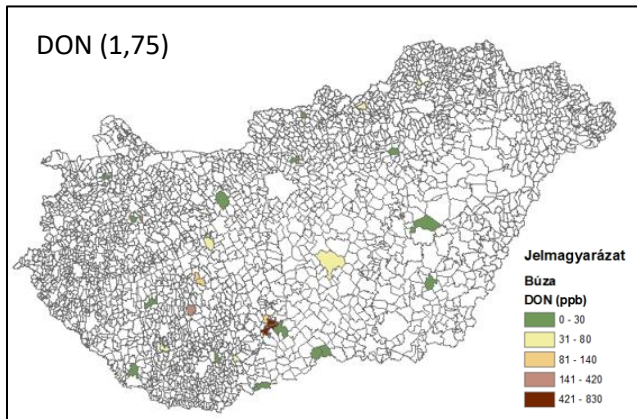
7.5. Toxinkoncentrációk eltérése az ország területére vetítve térképen

A toxinkoncentrációk térbeli megoszlásának vizsgálata kulcsfontosságú módszer a kockázatok felmérésében és a védekezési stratégia felállításában. Az ország egyes régióiban a termesztési körülmények, talajtani jellemzők, a termesztett kultúra és a mezőgazdasági tevékenységek különbségeket eredményezhetnek a mikotoxinok megjelenésében és eloszlásában. Ha térképen megjelenítve tudjuk őket ábrázolni, pontosabb képet kapunk arról, hogy melyek azok a térségek, ahol alacsonyabb és magasabb a toxinkoncentráció. Ez lehetőséget nyújt arra, hogy célozottabban állíthassunk fel védelmi intézkedéseket.

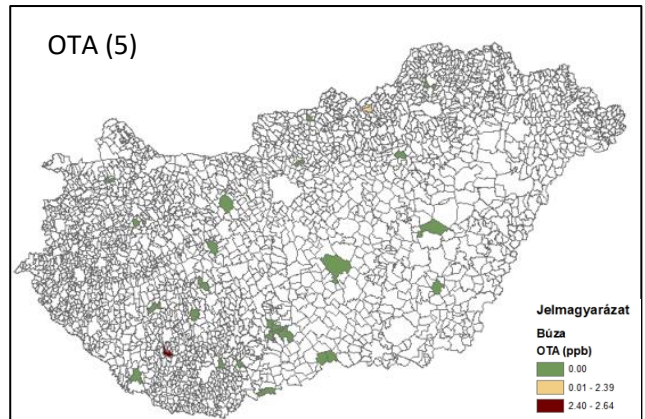
7.5.1. Egyes területeken mért értékek összehasonlítása

Egy térinformatikai szoftver segítségével a mintákat el tudtuk helyezni vaktérképen. A színskódolás egyes tartományokat jelöl. A szoftver az értékek alapján automatikusan állította fel a színskódokat, így a toxinok esetében ez eltér. Az értékelést nehezíti, hogy a minták nem az előzetesen felállított határérték-tartományok szerint kerültek osztályozásra, hanem automatikusan, a mért adatok eloszlása alapján kerültek kategóriába. Másik nehezítő tényező az volt, hogy ha egy településről több minta érkezett be, azt a rendszer nem tudta külön pontként ábrázolni, így egy értéket vett csak figyelembe. Emiatt fordulhat elő az, hogy a határérték alatti értékek is tűnhetnek magasnak, vagy éppen nem a legmagasabb érték a tartomány felső határa az extrém magas kategóriákban. Az értelmezés könnyítése érdekében került a térképek mellé a jelmagyarázat a színskálával, valamint a határérték pontos megadása a toxin neve mellett.

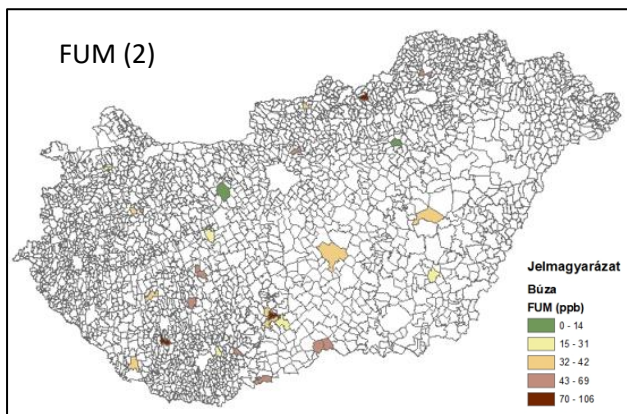
Az árpánál a ZEA, OTA, T2; búzánál az AFLA és OTA térképen történő ábrázolása nem lenne jól látható, mivel a nullás vagy közel nullás értékek.



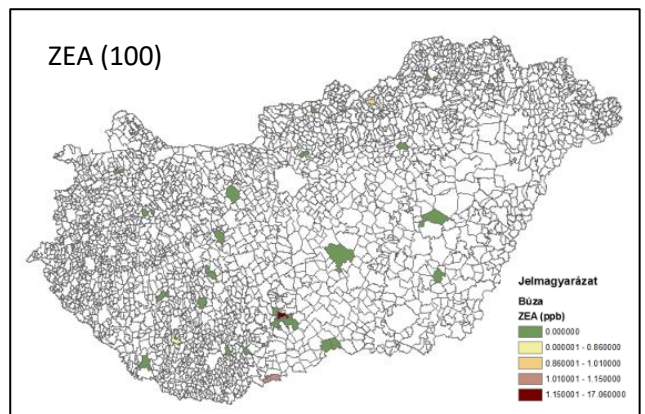
12. ábra DON származási helyeinek ábrázolása (búza)



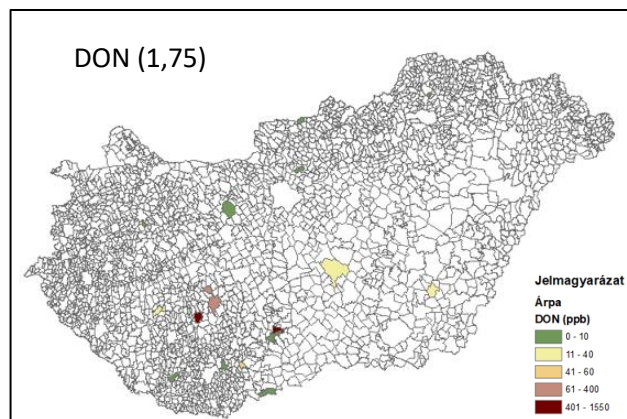
13. ábra OTA származási helyeinek ábrázolása (búza)



14. ábra FUM származási helyeinek ábrázolása (búza)



15. ábra ZEA származási helyeinek ábrázolása (búza)

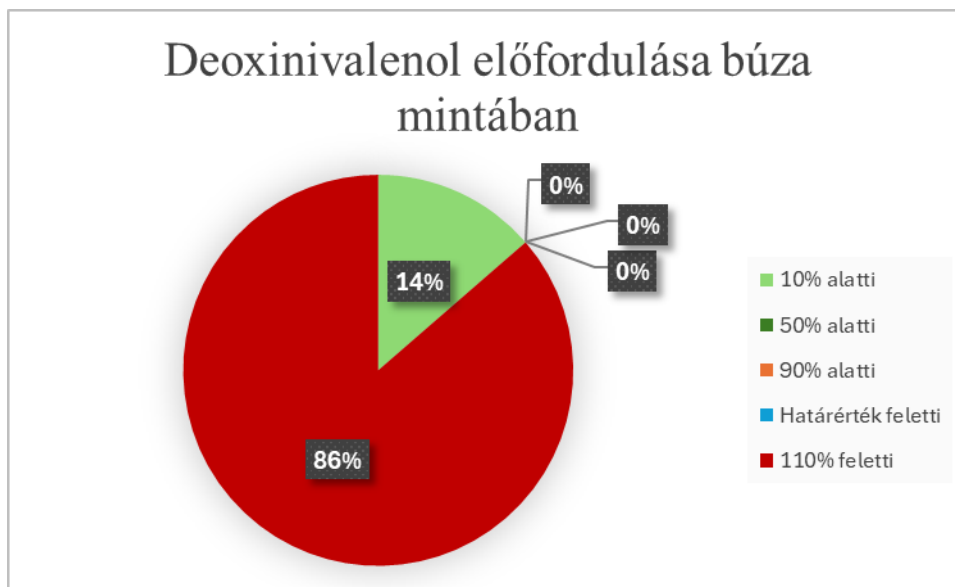


16. ábra DON származási helyeinek ábrázolása (árpa)

A térképeken jól látható, hogy a minták többsége a Dunántúlról és az ország déli részeiről származik, de szórványosan van az Alföld közepső és az ország északi területeiről is. Ami jól megfigyelhető, hogy az előforduló toxinok döntő többsége az *Fusarium*-fajok által termelt penészgombák, és azok közül a DON és a FUM fordul elő nagyobb arányban. Az B. és C. mellékletben szereplő táblázatokban jól látható, hogy van olyan település, ahonnan több minta érkezett, viszont nem lehet azt mondani, hogy az azonos helyről származó minták közel hasonló értékeket mutatnának. A búzát szemléltetni ehhez Bószénfát emeltem ki, amely a D. mellékletben látható, az árpát pedig az E. melléklet ábrázolja ehhez Ipolyerdőt választottam.

7.6. Egyes mikotoxinok értékelése

Az eredményeket mikotoxinok szerinti megoszlásban is vizsgáltam. Ezeket a 17-22. ábra szemlélteti. A búza és az árpa eredményei között is volt olyan minta, ahol 100%-ban a határérték 10%-a alatti érték volt csak mérve. Az egyes értékeket színekkel láttam el, ahol az adott csoportokat az alábbi színeket kapták: világoszöld a 10% alatti értéket, sötétzöld az 50% alatti értéket, narancs a 90% alatti értéket, kék a határérték feletti értéket, míg a piros a 110% feletti értékeket jelöli.



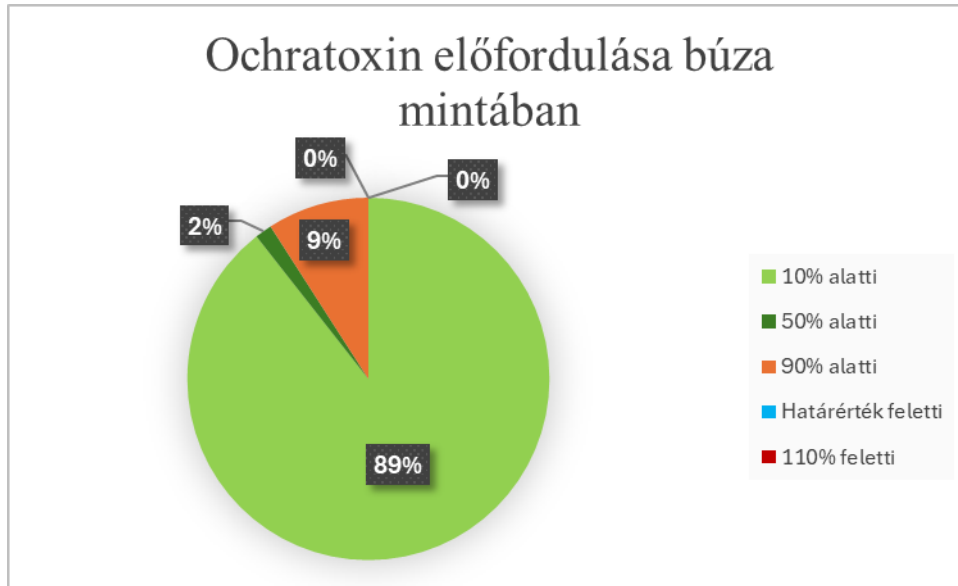
17. ábra Deoxinivalenol előfordulása búza mintában

A minták 14%-a a határérték 10%-a alatt volt, tehát toxinszintet mutatott, így ezek gyakorlatilag toxinmentesek. Ezzel szemben a minták 86%-a magasabb toxinszintet mutatott. A 110%-ot meghaladó értékek különös figyelmet érdemelnek, mivel jóval a határérték feletti értékeket mutatnak. Kettő minta esetében pedig extrém kiugrás történt, ugyanis a határérték körülbelül 651-szerese volt.



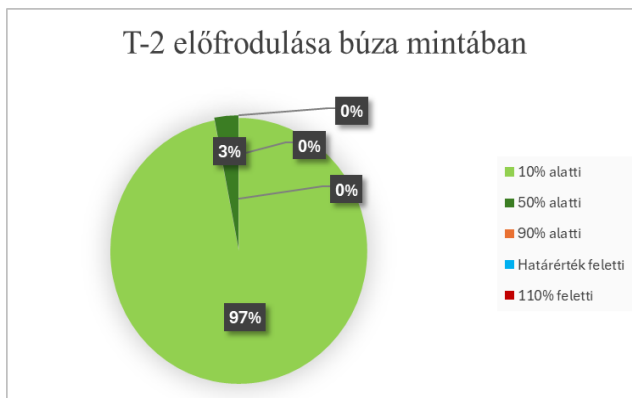
18. ábra Fumonizin előfordulása búza mintában

A fumonizin a minták döntő többségében (95%) a megengedett határérték felett volt. A minták 5%-a helyezkedett el a határérték alatti tartományban, ott is a 10% alatti csoportban. Tehát elmondható, hogy a minták szennyezettsége fumonizin által igen magas. A legmagasabb mért érték 166 volt.

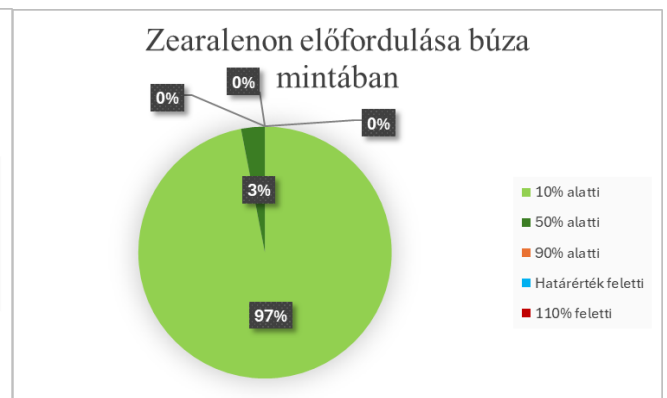


19. ábra Ochratoxin előfordulása búza mintában

Az ochratoxin nem volt mérhető a határérték felett, viszont a határérték alatti csoportokba került minden hova minta. A minták nagy része 10% alá került (59 darab minta), 1 darab minta a 10-50% közötti tartományba került, a többi minta (6 darab) 90% alatt volt.

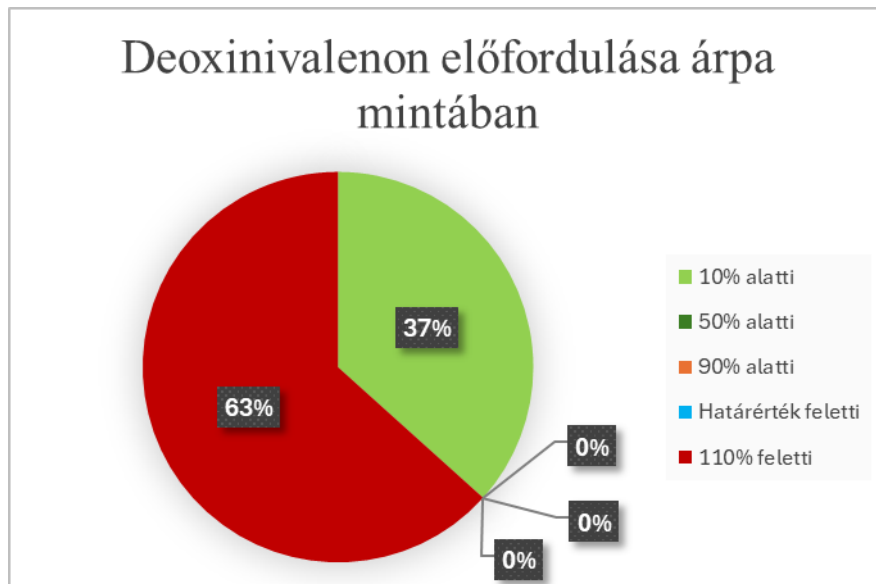


20. ábra T-2 előfordulása búza mintában



21. ábra Zearalenon előfordulása búza mintában

T-2-re és ZEA-ra mért értékek döntő többsége (97%) gyakorlatilag toxinmentesnek mondható, a maradék 3% is a határérték 50%-a alatt volt. Vagyis egyik minta sem közelítette meg, vagy haladta volna meg a határértéket.



22. ábra Deoxinivalenol előfordulása árpa mintában

Ha összevetjük a búza és az árpa DON tartalmát, az árpában több minta volt a határérték alatt. A búzánál 14%, míg az árpánál 37%-a a mintáknak esett 1,75 alá. Viszont a 110% feletti csoportban 3 minta is volt, ami extrém magas volt, még a búzában előforduló kimagasló értékeket is meghaladja.

8. Vizsgálati eredmények értékelése

8.2. Mérési módszer értékelése

A MycoFoss™ kiemelkedő jellemzője a gyors és precíz mérési képessége, amelynek révén hatékonyan alkalmazható a mikotoxinok azonosítására és szűrésére. A nagyszabású laboratóriumi elemzésektől eltérően, ez a módszer egyszerűen kivitelezhető helyszíni körülmények között. Ezen felül a módszer gazdaságosabb, nem károsítja a vizsgált anyagot, és lehetővé teszi, hogy több beltartalmi értéket egyidejűleg határozzunk meg. Az élelmiszer- és takarmányszektorban rendkívül praktikus, mivel lehetővé teszi a gyors és hatékony döntéshozatalt a szállítmányok minősítése során.

8.3. Toxinok előfordulásának értékelése

A vizsgálatok eredménye azt mutatta, hogy legmagasabb arányban a deoxinivalenol mellett a fumonizin B1+B2+B3 fordult elő. A vizsgált minták 2023-asak, és ebben az évben az időjárás ennek a két toxinnak kedvezett a leginkább. Ennek oka, hogy a DON-t termelő *Fusarium graminearum* a nedves, csapadékos időjárás mellett jelennek meg, míg a FUM-ot termelő *Fusarium verticillioides* főként meleg, párás körülmények között tud elszaporodni. 2023-ban meleg, kifejezetten csapadékos és magas páratartalmú időjárás volt. Így nem csoda, hogy ez a két toxin volt kiugróan magas. Arról már készült korábban kutatás, hogy ha a virágzás idején esős idő van, az magasabb toxinszintet tud eredményezni (Kecskésné és mtsai., 2016/a). Az

aflatoxin számára a száraz, meleg időjárás a kedvező. Az ochratoxin a mérsékelt, hűvös időjárást kedveli. A T-2 a nedves-hűvös körülmények között képes szaporodni. Illetve a zearalenon is a mérsékelt, nedves időjárási feltételek között tud a legjobban szaporodni. A 2023-as év viszont ezeknek a toxinoknak nem kedvezett.

8.4. Toxinok szerinti értékelés

Az eredmények vizsgálata során szemléltettük a mikotoxinok eloszlását a határértékek függvényében, valamint, hogy az ország egyes területein milyen koncentrációban fordulnak elő. Az megállapítható, hogy semelyik mikotoxin esetében nem lehet egyértelmű mintázatot felállítani. Ennek egyik oka, hogy a minták az ország más-más régióiból származnak, a másik, hogy az abiotikus környezeti tényezők is nagy mértékben különböznek, amik jelentős hatással vannak a penészgombák szaporodására és a mikotoxinok képződésére (Kovács, 2018). Mint azt a 7.4.1. pontban már említettük, több minta is van, amik ugyanazon településről érkeztek, mégsem figyelhető meg hasonlóság a mért értékek között. Több magyarázat is adódhat rá, mint például, hogy a településen belül más-más pontokról kerültek be minták, agronómiai tényezők (talajművelés, vetésforgó gyakorlati alkalmazása, öntözés stb.), valamint a mikroklimatikus különbségeknek is befolyásoló szerepe van (Mézes, 2023). A kapott adatok heterogenitása arra mutat rá, hogy a mikotoxinok előfordulása komplex, számos tényező által befolyásolt jelenség, amelyek következtében kihívást jelent egy átfogó, országos szintű mintázatot felállítani.

8.5. Minták veszélyességének értékelése

A mintákat veszélyesség szerint úgy értékeltem, hogy a csoportoknak adtam egy értéket 1 és 10 között. Az 1-es pontszámot az a minta kapta amelyik a legkevésbé veszélyes, tehát sem élelmezési, sem takarmányozási kockázata nincs. A 10-est értéket az kapta, amelynek értéke jóval a megengedett határérték felett volt. A mezőköz rendelt pontszámokat az F. mellékletben, az összesített pontszámokhoz rendelt színskála a G. mellékletben tekinthetők meg, míg a minták veszélyesség szerinti értékelését az H. és I. melléklet tartalmazza.

Az vizsgálat kimutatta a multimikotoxin hatást is. Jelenleg még ennek a kutatása korántsem teljes körű, annyi már ismert, hogy a mikotoxinok egymással kölcsönhatásba lépve képesek egymás hatását felerősíteni vagy éppen gyengíteni, vagyis szinergista és antagonisták módon hathatnak egymásra (Grenier és Oswald, 2011). A klímaváltozás által előidézett új klimatikus környezet lehetőséget teremt olyan penészgombák megjelenésére és terjedésére, amelyek eddig vagy nem voltak jellemzőek hazánkban, vagy csak nagyon csekély mértékben fordultak elő.

9. Következtetés

A vizsgálat során az alábbi következtetéseket vontam le:

- a mikotoxinprofil felállításakor a mikotoxinok együttes jelenlétét és mennyiségi viszonyait határoztam meg. A búza esetében az R^2 érték rendkívül alacsony (0,0008-0,0015) volt, ami azt jelzi, hogy a toxinok között semmilyen statisztikai összefüggés nem volt tapasztalható. Az árpánál bár magasabb volt a mutató, azonban továbbra is rendkívül alacsony értékeket mutatnak (0,0794-0,0992), így statisztikailag ugyanaz mondható el, mint a búza esetében. Mivel a búza mintában nem mutatkozott számottevő összefüggés, így ez azt mutatja, hogy a mikotoxinok egymástól függetlenül fordulnak elő, tehát nem lehet egyik alapján sem következtetni a másik jelenlétére vagy koncentrációjára. Bár az árpában csekély összefüggés mutatkozott a magasabb R^2 érték miatt, az nem elegendő ahhoz, hogy megalapozott előrejelzést lehessen belőle levonni. A további mérések során így elengedhetetlen, hogy a mintákat ne csak együttesen, hanem külön-külön is vizsgáljuk.
- ugyanazon településekről származó mintákról elmondható, hogy jól kirajzolódik az, a toxinok koncentrációja eltérhet a különböző mintavételi térségek miatt
- a multimikotoxin hatást tekintve fontos a vizsgálati módszerek folyamatos fejlesztése és használata. Az árpában 11 minta toxinmentes volt, 17 mintában csak egy toxin volt jelen és 2 olyan minta volt, amiben már két toxint is mértünk, így még nem mondható el, hogy jellemző rá ez a hatás. Búza tekintetében teljesen más képet kaptunk. 1 olyan minta volt, amiben nem mértünk toxint, 10 darab, amiben egy toxin fordult elő, és 51 olyan minta volt, amiben 2-6 toxin volt együttesen jelen.
- a felvetés, hogy a klímaváltozás hatással van a penészgombák megjelenésére és szaporodására beigazolódott. Sőt, mára már nem tehetünk különbséget raktári és szántóföldi penészgombák között, hiszen már a megváltozott körülmények miatt a raktári penészek megjelentek a szántóföldön is.
- fontos lépés, hogy a kialakult helyzetre megoldást találjunk a jövőben. Ki kell alakítani egy komplex védekezési stratégiát a mikotoxin-szennyezettség mérséklésére.
 1. A penészgombák ellenállóképessége nagy. Kedvezőtlen körülmények között, növényi maradványokon is fennmaradnak, így bármikor képesek fertőzni. Erre megoldás lehet, hogy betakarítás után a visszamaradt növényi részeket eltávolítjuk a földről.
 2. Agrotechnikai módszerek beépítése: például a vetésforgóba célszerű olyan növényeket beépíteni, amelyek ellenállóak a penészgombákkal szemben.

Ugyanazon kórokozó képes a spóráit a talajban hosszú távon fenntartani, így monokultúra esetén a fertőzésveszély nagyon magas.

3. A betakarítás és tárolás technológiája szintén kulcsfontosságú lehet. Ide tartozik a sérülésmentes betakarítás, amely megakadályozza a növényi szövetek mechanikai károsodását, hiszen a sebek utat nyitnak a fertőzésnek. A tárolás során pedig elengedhetetlen a megfelelő hőmérséklet, páratartalom és szellőzés biztosítása.
4. Érdekes korai előre jelző modellek kidolgozása. Olyan rendszerre van szükség, amelyek nem csak a toxinok egymás közötti kapcsolatát, hanem a klimatikus és ökológiai tényezőket is figyelembe veszi. Ez lehetővé teszi a fertőzésveszély időbeni jelzését és hatékonyabb megelőzését.
5. Rezisztens növényfajták nemesítése/termesztése meghatározó lehet a növényvédelem hatékony megoldásaiban. A *Fusarium* és egyéb gombás megbetegedésekkel szemben ellenálló növényfajták mérséklék a kórokozók által okozott termés kiesést, valamint gátolják a mikotoxinok felhalmozódást. A genetikailag rezisztens fajták használata segít a biztonságos élelmiszerkínálat fenntartásában, egyúttal csökkentve a vegyi növényvédelmi igényt. A klímaváltozás kihívásaival szemben kulcsfontosságú lesz olyan növényfajták nemesítése, amelyek képesek ellenállóképességüket minden körülmény között megtartani.

10. Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani elsősorban témavezetőimnek, Dr. Ferencziné Dr. Szőke Zsuzsannának és Lakatos Istvánnak, akiktől rengeteg segítséget, támogatást és iránymutatást kaptam ahhoz, hogy ez a szakdolgozat elkészüljön.

Köszönetet mondanék Partmann-Beles Anitának, aki hozzájárult ahhoz, hogy a topográfiai térképek elkészüljenek.

Végül de nem utolsó sorban a Soft Flow Kft. laboratóriumának, Dr. Czéh Árpádnak és munkatársainak a mérési folyamatok lebonyolításában és az adatok statisztikai feldolgozásában történt közreműködésükért.

11. Irodalmi jegyzék

1. Adhikari, M., Negi, B., Kaushik, N., Adhikari, A., Al-Khedhairy, A. A., Kaushik, N. K., & Choi, E. H. (2017). T-2 mycotoxin: Toxicological effects and decontamination strategies. *Oncotarget*, 8(20), 33933-33952.
2. Bao, L., Huang, Y., Gu, F., Liu, W., Guo, Y., Chen, H., Wang, K., Wu, Z., & Li, J. (2024). Zearalenone induces liver injury in mice through ferroptosis pathway. *Science of the Total Environment*, 952, 175875.
3. Barabás Z. (szerk.). (1987). A búzatermesztés kézikönyve. Király Z. (fejezet szerzője). Kórokozók – Fuzarózis. 267-269. [Mezőgazdasági Kiadó]
4. Barabás Z. (szerk.). (1987). A búzatermesztés kézikönyve. Magyar G. (fejezet szerzője). A búza világtermesztésben betöltött szerepe. 18-29. [Mezőgazdasági Kiadó]
5. Bartholy, J., & Pongrácz, R. (szerk.) (2013). Klímaváltozás. Barcza, Z., Bartholy, J., Bihari, Z., Lakatos, M., Mészáros, R., Pieczka, I., Pongrácz, R., Práger, T., & Radics, K. (Kézirat)
6. Bhatnagar, D., Ehrlich, K. C., & Cleveland, T. E. (2003). Molecular genetic analysis and regulation of aflatoxin biosynthesis. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 61, 83-93.
7. Bui-Klimke, T. R., & Wu, F. (2015). Ochratoxin A and human health risk: A review of the evidence. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(13), 1860-1869.
8. Bullerman, L. B., Schroeder, L. L., & Park, K. Y. (1984). Formation and control of mycotoxins in food. *Journal of Food Protection*, 47(8), 637-646.
9. Casu, A., Camardo Leggieri, M., Toscano, P., & Battilani, P. (2024). Changing climate, shifting mycotoxins: A comprehensive review of climate change impact on mycotoxin contamination. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 23(2), e13323.
10. Cooper, M & Messina, C. D. (2023). Breeding crops for drought-affected environments and improved climate resilience. *The Plant Cell*, 35(1), 162-186.
11. De Ruyck, K., De Boevre, M., Huybrechts, I., & De Saeger, S. (2015). Dietary mycotoxins, co-exposure, and carcinogenesis in humans: A short review. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research*, 766, 32-41.
12. Desjardins, A. E., & Proctor, R. H. (2011). Genetic diversity and trichothecene chemotypes of *Fusarium graminearum* from the United States. *Fungal Genetics and Biology*, 48(3), 317-323.

13. Domnariu, H., Trippe, K. M., Botez, F., Partal, E., & Postolache, C. (2025). Long-term impact of tillage on microbial communities of an Eastern European Chernozem. *Scientific Reports*, *15*, 642.
14. Dutton, M. F. (1996). Fumonisin, mycotoxins of increasing importance: Their nature and their effects. *Pharmacology & Therapeutics*, *70*, 137-161.
15. Edwards, S. G., Imathiu, S. M., Ray, R. V., Back, M., & Hare, M. C. (2012). Molecular studies for the identification of HT-2 and T-2 mycotoxin-producing *Fusarium* species in UK oats. *International Journal of Food Microbiology*, *156*, 168-175.
16. Ekwomandu, T. I., Akinola, S. A. & Mwanza, M. (2021). *Fusarium* mycotoxins, their metabolites (free, emerging, and masked), food safety concerns and health impacts. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(22), 11741.
17. el Khoury, A., & Atoui, A. (2010). Ochratoxin A: General overview and actual molecular status. *Toxins*, *2*(4), 461-493.
18. Fodor, J. (2007). *A fumonizin B1 kinetikájának vizsgálata sertés szervezetében* (Doktori disszertáció, Kaposvári Egyetem, Állattudományi Kar)
19. Fodor, J., (2004). *A haza gabonatermesztés gazdasági kérdései* (PhD értekezés, Soproni Egyetem)
20. Gelineau-van Waes, J., Voss, K. A., Stevens, V. L., Speer M. C., & Riley R. T. (2009). Maternal fumonisin exposure as a risk factor for neural tube defects. *Advances in Food and Nutrition Research*, *56*, 145-181.
21. Gong, Y. Y., Watson, S., & Routledge, M. N. (2016). Aflatoxin exposure and associated human health effects: A review of epidemiological studies. *Food Safety*, *4*(1), 14–27.
22. Grenier, B., & Oswald, I. (2011). Mycotoxin co-contamination of food and feed: Meta-analysis of publications describing toxicological interactions. *World Mycotoxin Journal*, *4*(3), 285–313.
23. Hamid, A. S., Tesfamariam, I. G., Zhang, Y., & Zhang, Z. G. (2013). Aflatoxin B1-induced hepatocellular carcinoma in developing countries: Geographical distribution, mechanism of action and prevention. *Oncology Letters*, *5*(4), 1087–1092.
24. Harrison, L. R., Colvin, B. M., Greene, J. T., Newman, L. E., & Cole, J. R. (1990). Pulmonary edema and hydrothorax in swine produced by fumonisin B1, a toxic metabolite of *Fusarium verticillioides*. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, *2*(3), 217–221.

25. Huzsvai, L., Juhász, C., Loujaine, S., Kovács, G., & Zsembeli, J. (2024). Az őszi búza és kukorica termés kiesésének valószínűsége Magyarországon hosszú távú időbeli mintázatok alapján. *Sustainability*, *16*(10), 3962.
26. Jámbor, A. (2008). *A világ gabonapiacainak átalakulása* (PhD értekezés, Budapesti Corvinus Egyetem).
27. Jia, B., Lin, H., Yu, S., Liu, N., Yu, D., & Wu, A. (2023). Mycotoxin deoxynivalenol-induced intestinal flora disorders, dysfunction and organ damage in broilers and pigs. *Journal of Hazardous Materials*, *451*, 131172.
28. Kachlek, M., Szabó-Fodor, J., & Kovács, M. (2016). Rabbits in mycotoxin research at Kaposvár University. In *28. Nyúltenyésztési Tudományos Nap* (pp. 71–72). Kaposvári Egyetem.
29. Kamala, A., Shirima, C., Jani, B., Bakari, M., Sillo, H., Rusibamayila, N., De Saeger, S., Kimanya, M., Gong, Y., Simba, A., et al. (2018). Outbreak of an acute aflatoxicosis event in Tanzania in 2016. *World Mycotoxin Journal*, *11*, 311–320.
30. Kamle, M., et al. (2019). Fumonisin: Impact on agriculture, food, and human health and their management strategies. *Toxins*, *11*(6), 328.
31. Kecskésné Nagy, E., Korzenszky, P., & Semberly, P. (2016). The role of color sorting machine in reducing food safety risks. *Potravinarstvo*, *10*(1), 354–358.
32. Khan, R., Anwar, F., & Mohamad Ghazali, F. (2024). A comprehensive review of mycotoxins: Toxicology, detection, and effective mitigation approaches. *Heliyon*, *10*, e28361.
33. Kos, J., Anić, M., Radić, B., Zadravec, M., Janić Hajnal, E., & Pleadin, J. (2023). Climate change—A global threat resulting in increasing mycotoxin occurrence. *Foods*, *12*(14), 2704.
34. Kovács, M. (2018). Mikotoxinok hatása az életminőségünkre. *Acta Agraria Kaposváriensis*, *22*(2), 33–45.
35. Kovács, Sz. (2020). *Az aflatoxin képződés vizsgálata mezőgazdasági termékeken* (Doktori értekezés, Debreceni Egyetem, Kerpely Kálmán Doktori Iskola).
36. Krska, R., & Schuhmacher, R. (2011). Determination of deoxynivalenol in cereals by immunoaffinity clean-up and UPLC-MS/MS. *Journal of Chromatography B*, *879*(17–18), 1223–1229.
37. Levente, S., Márkó, U., Apolka, S., Györgyi, F., Dóra, H., & Zsuzsanna, Sz. (2024). Mikotoxinok szerepe a női infertilitásban. *Magyar Nőorvosok Lapja*, *87*(6), 251–257.
38. Lewis, D. C., & Goodrich-Schneider, R. M. (2012). Mycotoxins in fruit and fruit products. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, *125*, 252–257.

39. 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.
40. Lippolis, V., Pascale, M., Maragos, C. M., & Visconti, A. (2008). Improvement of detection sensitivity of T-2 and HT-2 toxins using different fluorescent labeling reagents by high-performance liquid chromatography. *Talanta*, *74*(5), 1476–1483.
41. Magyar, D., Tischner, Z., Dancsházy, Z., & Páldy, A. (2021). A globális megatrendek – világválságok és globalizáció, technológiai fejlődés és klímaváltozás – hatása a mikroszkopikus gombák terjedésére Magyarországon. *Egészségtudomány*, *65*(1), 30–37.
42. Marasas, W. F. O., Kellerman, T. S., Gelderblom, W. C. A., Coetzer, J. A. W., Thiel, P. G., & Van der Lugt, J. J. (1988). Leukoencephalomalacia in a horse induced by fumonisin B1 isolated from *Fusarium verticillioides*. *Onderstepoort Journal of Veterinary Research*, *55*, 197–203.
43. Marasas, W. F. O., Thiel, P. G., Gelderblom, W. C. A., Shephard, G. S., Sydenham, E. W., & Rheeder, J. P. (1993). Fumonisin produced by *Fusarium verticillioides* in maize: Foodborne carcinogens of Pan African importance. *African Newsletter on Occupational Health and Safety*, *2*(Suppl.), 11–18.
44. Masingo, D. K. (2023). Coping strategies and vulnerability of farmers under the moderating effect of associative dynamics: Empirical evidence from farmers in the Highland Zone of the Baswagha Chiefdom in the Lubero Territory. *Applied Mathematical Sciences*, *17*(1–4), 109–127.
45. Máté, K. E. (2017). *Az élelmiszerek potenciális mikotoxin tartalma által jelentett egészségügyi kockázatok kisgyermekes és várandós édesanyák között* [Szakdolgozat, Állatorvostudományi Egyetem].
46. McCormick, S. P., Stanley, A. M., Stover, N. A., & Alexander, N. J. (2011). Trichothecenes: From simple to complex mycotoxins. *Toxins*, *3*(7), 802–814.
47. McKinnon, K. M. (2018). Flow cytometry: An overview. *Current Protocols in Immunology*, *120*(1), e40.
48. Meng, X., Sun, P., Zhu, L., Yang, Z., Zhang, Z., & Nie, D. (2021). Deoxynivalenol: Toxicology, metabolism, and mitigation strategies. *Frontiers in Microbiology*, *12*, 733799.
49. Mesterházy, Á. (2014). Búza genotípusok kalászfuzárium-ellenállósága és ellenállóságra nemesítése. *Növényvédelem*, *50*(10), 453–464.

50. Mesterházy, Á., Meszlényi, T., Szabó, B., & Langó, B. (2025). A gabonatermelés toxikus gombái, toxinjaik, és az ellenük való komplex védekezés a termelési lánc teljes reformjával. *Növényvédelem*, *61*(2), 45–62.
51. Mézes, M. (Szerk.). (2023). *Takarmánytoxikológia*. Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Élettani és Takarmányozástani Intézet, Takarmánybiztonsági Tanszék.
52. Nathanail, A. V., Varga, E., Meng-Reiterer, J., Bueschl, C., Michlmayr, H., Malachova, A., Fruhmann, P., Jestoi, M., Peltonen, K., Adam, G., & Krska, R. (2015). Metabolism of the *Fusarium* mycotoxins T-2 toxin and HT-2 toxin in wheat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *63*(35), 7862–7872.
53. 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.
54. Nguyen, M. T., Tozlovanu, M., Tran, T. L., & Pfohl-Leszkowicz, A. (2007). Occurrence of aflatoxin B1, citrinin, and ochratoxin A in rice in five provinces of the central region of Vietnam. *Food Chemistry*, *105*(1), 42–47.
55. Obura, A. (2013). Aflatoxicosis: Evidence from Kenya. In L. J. Unnevehr & D. Grace (Eds.), *Aflatoxins: Finding solutions for improved food safety* (pp. 13–26). International Food Policy Research Institute.
56. Perrone, G., Ferrara, M., Medina, A., Pascale, M., & Magan, N. (2020). Toxigenic fungi and mycotoxins in a climate change scenario: ecology, genomics, distribution, prediction and prevention of the risk. *Frontiers in Microbiology*, *11*, 1122.
57. Perrone, G., Ferrara, M., Medina, A., Pascale, M., & Magan, N. (2020). Toxigenic fungi and mycotoxins in a climate change scenario: Ecology, genomics, distribution, prediction and prevention of the risk. *Microorganisms*, *8*(10), 1496.
58. Pitt, J. I., & Hocking, A. D. (2014). Ochratoxin A and human health risk: A review of the evidence. *Food Additives & Contaminants: Part A*, *31*(11), 1777–1791.
59. Polychronaki, N., West, R. M., Turner, P. C., Amra, H., Abdel-Wahhab, M., Mykkänen, H. & El-Nezami, H. (2007). A longitudinal assessment of aflatoxin M1 excretion in breast milk of selected Egyptian mothers. *Food and Chemical Toxicology*, *45*(7), 1210–1215.
60. Probst, C., Njapau, H., & Cotty, P. J. (2007). Outbreak of acute aflatoxicosis in Kenya in 2004: Identification of the causal agent. *Applied and Environmental Microbiology*, *73*(8), 2762–2764.
61. Reddy, B. N., & Raghavender, C. R. (2007). Outbreaks of aflatoxicosis in India. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, *7*(5), 1–15.

62. Richard, J. L. (2007). Some major mycotoxins and their mycotoxicoses—An overview. *International Journal of Food Microbiology*, 119(1–2), 3–10.
63. Ropejko, K., & Twarużek, M. (2021). Zearalenone and its metabolites—General overview, occurrence, and toxicity. *Toxins*, 13(1), 35.
64. Shirima, C. P., Kimanya, M. E., Routledge, M. N., Srey, C., Kinabo, J. L., Humpf, H.-U., Wild, C. P., Tu, Y.-K., & Gong, Y. Y. (2014). A prospective study of growth and biomarkers of exposure to aflatoxin and fumonisin during early childhood in Tanzania. *Environmental Health Perspectives*, 122(7), 670–677.
65. Sohár, P. (2007). Mikotoxinok az élelmiszerekben és takarmányokban. In *EOQ MNB XXV. Nemzetközi Minőségügyi Konferencia* (Eger). EOQ MNB.
66. Sokolović, M., Garaj-Vrhovac, V., & Šimpraga, B. (2008). T-2 toxin: Incidence and toxicity in poultry. *Arhiv za Higijenu Rada i Toksikologiju*, 59(1), 43–52.
67. Solfrizzo, M., Avantaggiato, G., & Visconti, A. (1998). Use of various clean-up procedures for the analysis of ochratoxin A in cereals. *Journal of Chromatography A*, 815(1), 67–73
68. Szabóné Rajli, V. (2019). *A mikotoxinok humán egészségügyi kockázatai* [PhD értekezés, Magyar Tudományos Akadémia]. REAL-PhD.
69. Szegedi Egyetem. (2012). Tudományos közlemények: Mikotoxinok jelentősége. *Szegedi Egyetem Füzetek: Tudományos közlemények*, 24, 76–82.
70. Szeitzné Szabó, M. (2007). Előszó. *Élelmiszervizsgálati Közlemények*, 53(Különszám), 3–4.
71. Szeitzné Szabó, M. (2009). Bevezető. In *Gabonaalapú élelmiszerek fuzárium toxin szennyezettségének csökkentési lehetőségei* (pp. 5–7).
72. Szepessy, I. (1977). *Növénybetegségek – A búza toxikus fuzáriózisa* pp. 205-210. [Kézirat].
73. Tassis, P. D., Tsakmakidis, I. A., Nagl, V., Reisinger, N., Tzika, E., Gruber-Dorninger, C., Michos, I., Mittas, N., Basioura, A., & Schatzmayr, D. (n.d.). Individual and combined in vitro effects of deoxynivalenol and zearalenone on boar semen. *Toxins*, 12(8), 495.
74. Thiel, P. G., Marasas, W. F., Sydenham, E. W., Shephard, G. S., & Gelderblom, W. C. (1992). The implications of naturally occurring levels of fumonisins in corn for human and animal health. *Mycopathologia*, 117, 39–45.
75. Varró, P., Világi, I., Bódi, V., Schlett, K., Szűcs, A., Rátkai, E. A., Szentgyörgyi, V., Détári, L., Tóth, A., Hajnik, T., Pethő, M., Csikós, V., & Dobolyi, Á. (2018).

Fusarium toxinok idegrendszeri hatásának elemzése [Poster presentation]. *TOX2018 Conference, Lillafüred*.

76. Wu, F., & Munkvold, G. (2008). Economic and health perspectives of mycotoxins: A review. *ResearchGate*.
77. Yang, Y., Kong, W., Zhang, X., Xiao, X., Wang, Y., & Yang, M. (2021). T-2 toxin: Review of toxicity, metabolism, and analytical methods. *Molecules*, 26(21), 6868.
78. Yu, S., Jia, B., Liu, N., Yu, D., Zhang, S., & Wu, A. (2021). Fumonisin B1 triggers carcinogenesis via HDAC/PI3K/Akt signalling pathway in human esophageal epithelial cells. *Science of The Total Environment*, 787, 147405.
79. Zinedine, A., Soriano, J. M., Moltó, J. C., & Mañes, J. (2007). Review on the toxicity, occurrence, metabolism, detoxification, regulations and intake of zearalenone: An oestrogenic mycotoxin. *Food and Chemical Toxicology*, 45(1), 1–18.

Internetes források

1. Agroforum. (2024). Globális mikotoxin helyzet – 2024 trendek és jóslatok. <https://agroforum.hu/agrarhirek/nagyvilag/globalis-mikotoxin-helyzet-2024-trendek-es-joslatok/>
2. Kwizda Agro. (2024). Mikotoxinok – a láthatatlan gyilkosok. <https://kwizda.hu/hirek/mikotoxinok-a-lathatatlan-gyilkosok~b120175>
3. Magyar Mezőgazdaság. (2024, October 19). Mikotoxinok a baromfitartásban. <https://magyarmezogazdasag.hu/2024/10/19/mikotoxinok-a-baromfitartasban/>
4. Nébih. (2024). Kérdezz-felelek az élelmiszerláncban előforduló mikotoxinok jelentőségéről. <https://portal.nebih.gov.hu/-/kerdezz-felelek-az-elelmiszerlancban-elofordulo-mikotoxinok-jelentosegerol>
5. Nébih. (2009). Diplomadolgozat: Mikotoxinok a takarmányozásban. <https://portal.nebih.gov.hu/documents/10182/21392/diplomadolgozat.pdf/7eee1938-c168-4b75-94d4-803c7d569ecf>
6. Németh, B. (2019). Mikotoxinok az élelmiszerláncban. Docplayer.hu. <https://docplayer.hu/114168927-Mikotoxinok-az-elelmiszerlancban.html>
7. Nemzeti Agrárgazdasági Kamara (NAK). (2025). Fontos feladat a búza és a kukorica toxinfertőzésének megelőzése. <https://www.nak.hu/sajto/sajtokozlomenyek/108909-fontos-feladat-a-buza-es-a-kukorica-toxinfertozesenek-megelozese>

8. Nemzeti Agrárgazdasági Kamara (NAK). (2025). A mikotoxinok árnyékában: hogyan előzhető meg a gabonafélék toxinszennyeződése [Kiadvány].
<https://www.nak.hu/kiadvanyok/kiadvanyok/7971-a-mikotoxinok-arnyekaban-hogyan-elozheto-meg-a-gabonafelek-toxinszennyezodese/file>
9. Nemzeti Agrárgazdasági Kamara (NAK). (2025). Kalászfuzáriózis-veszély – elérkezett az idő a kalászvédelemre. <https://www.nak.hu/tajekoztatasi-szolgaltatas/mezogazdasagi-termeles/108776-kalaszfuzariozis-veszely-elerkezett-az-ido-a-kalaszvedelemre>
10. Nemzeti Népegészségügyi Központ (NNK). (2019). A penészgombák és a mikotoxinok. <https://www.nnk.gov.hu/index.php/nnk-projektek/human-biomonitoring/a-peneszgombak-es-a-mikotoxinok.html>
11. OMSZ. (2021). Klimatikus hatások a gabonatermesztésben. Országos Meteorológiai Szolgálat. https://www.met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=3261

Egyéb források

1. <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1000306.kor>
2. <https://njt.hu/jogszabaly/2014-54-20-0A.4>
3. https://www.agtechnavigator.com/Article/2024/07/10/review-predicts-increased-severity-in-mycotoxin-contamination/?utm_source=copyright&utm_medium=OnSite&utm_campaign=copyright
4. https://www.ksh.hu/stadat_files/kor/en/kor0037.html?utm_source=

12. Rövidítések

AFLA – aflatoxin

DON – deoxinivalenol

FUM – fumonizin

OTA – ochratoxin

T-2 – T2-toxin

ZEA – zearalenon

AFB1 – aflatoxin B1

AFB2 – aflatoxin B2

AFG1 – aflatoxin G1

AFG2 – aflatoxin G2

FB1 – fumonizin B1

FB2 – fumonizin B2

FB3 – fumonizin B3

BEN – Balkáni endemikus nephropathia

CIN – krónikus intersticiális nephropathia

NT – talajművelés nélküli

MP – forgó eke

13. Mellékletek

A. melléklet: Határérték tartományba tartozó értékek

Határértékek	1,75	2	5	100	200
Határérték 10%-a alatt (0-10%)	0-0,175	0-0,2	0-0,5	0-10	0-20
Határérték 50%-a alatt (10-50%)	0,175-0,875	0,2-1	0,5-2,5	10-50	20-100
Határérték 90%-a alatt (50-90%)	0,875-1,575	1-1,8	2,5-4,5	50-90	100-180
Határérték felett (100-110%)	1,75-1,925	2-2,2	5-5,5	100-110	200-220
Határérték 110%-a felett (110-200%)	1,925-3,5	2,2-4	5,5-10	110-200	220-400
Határérték 200%-a felett (>200%)	>3,5	>4	>10	>200	>400

B. melléklet: Az árpa minták adatai, mérési tartomány és határértékek.

		Mérési tartomány				
		0,2-5	0,2-5	5-100	50-500	30-500
		Határértékek				
		1,75	1,75	5	200	200
Azonosító	Település	DON (ppm)	DON (ppb)	OTA (ppb)	T2 (ppb)	ZEA (ppb)
22-33		0,13	130	0,00	0,00	0,72
23-3	Magyarkeszi	0,36	360	0,00	0,00	0,00
23-5	Miske	1,55	1550	0,00	0,00	0,01
23-7	Miske	1,45	1450	0,00	0,00	0,00
23-9	Hercegszántó	0,01	10	0,00	0,00	0,00
23-13	Dusnok	0,01	10	0,00	0,00	0,00
23-14	Dusnok	0,02	20	0,00	0,00	0,00
23-30-1	Órbottyán	0,00	0	0,00	0,00	0,00
23-30-2	Pápakovácsi	0,00	0	0,00	0,00	0,00
23-41	Kondoros	0,03	30	0,00	0,00	0,00
23-49	Csákvár	0,00	0	0,00	0,00	0,00
23-76	Tamási	0,40	400	0,00	0,00	0,00
23-80	Somogyvár	0,03	30	0,00	0,00	0,00
23-82	Szakcs	1,31	1310	0,00	0,00	0,00
23-86	Szigetvár	0,00	0	0,00	0,00	0,00
23-88	Véménd	0,06	60	0,00	0,00	0,00
23-90	Pécsvár	0,01	10	0,00	0,00	0,00
23-105	Balassagyarmat	0,00	0	0,00	0,00	0,00
23-110	Ipolyerdő	0,00	0	0,00	0,00	0,00
23-111	Ipolyerdő	0,19	190	0,00	0,00	0,00
23-112	Ipolyerdő	0,18	180	0,00	0,00	0,00
23-113	Ipolyerdő	0,00	0	0,00	0,00	0,00
23-114	Ipolyerdő	0,00	0	0,00	0,00	0,00
23-123	Kecskemét	0,04	40	0,00	0,00	0,00

23-130	Borsodszirák	0,00	0	0,00	0,00	0,00
23-110-1	Ipolyerdő	0,00	0	0,00	0,00	0,00
23-110-2	Ipolyerdő	0,30	300	0,00	0,00	0,00
23-110-3	Ipolyerdő	0,73	730	0,00	0,00	0,00
23-110-4	Ipolyerdő	0,01	10	0,00	0,00	0,00
23-1105-1	Ipolyerdő	0,00	0	0,00	0,00	0,00

C. melléklet: A búza minták adatai, mérési tartomány és határértékek.

		Mérési tartomány							
		0,2-5	0,2-5	4-100	0,5-5	0,5-5	5-100	50-500	30-500
		Határértékek							
		1,75	1,75	2	2	2	5	100	100
Azonosító	Település	DON (ppm)	DON (ppb)	AFLA (ppb)	FUM (ppm)	FUM (ppb)	OTA (ppb)	T2 (ppb)	ZEA (ppb)
23-4	Miske	0,83	830	0,00	0,11	106	0,00	0,00	17,06
23-8	Hercegszántó	0,03	30	0,00	0,07	67	0,00	0,00	1,15
23-17	Hajós	0,01	10	0,00	0,03	31	0,00	0,00	0,00
23-18	Báta	0,07	70	0,00	0,04	39	0,00	0,00	0,00
23-20	Kelebia	0,02	20	0,00	0,05	50	0,00	0,00	0,00
23-22	Döbrönte	0,42	420	0,00	0,07	65	0,00	0,00	0,00
23-24	Kup	0,00	0	0,00	0,04	42	0,00	0,00	0,00
23-26	Pétervására	0,16	160	0,00	0,07	68	0,00	0,00	15,97
23-35	Kisújszállás	0,02	20	0,00	0,04	38	0,00	0,00	0,00
23-38	Nagyberény	0,09	90	0,00	0,05	53	0,00	0,00	0,00
23-48	Csákvár	0,00	0	0,00	0,01	6	0,00	0,00	0,00
23-52	Tompa	0,00	0	0,00	0,06	59	0,00	0,00	0,00
23-53	Istenmezeje	0,04	40	0,00	0,09	94	2,39	0,00	1,01
23-55	Bőszénfa	0,08	80	0,00	0,10	103	2,64	0,00	0,86
23-56	Bőszénfa	0,10	100	0,00	0,12	123	2,64	0,00	0,05
23-58	Bőszénfa	0,07	70	0,00	0,14	141	2,78	0,00	2,77
23-60	Bőszénfa	0,29	290	0,01	0,05	51	0,00	0,00	0,00
23-61	Bőszénfa	0,20	200	0,00	0,07	69	0,00	0,00	0,00
23-62	Bőszénfa	0,14	140	0,00	0,05	46	0,00	0,00	0,00
23-63	Bőszénfa	0,08	80	0,00	0,07	68	0,00	0,00	0,00
23-64	Bőszénfa	0,09	90	0,00	0,06	63	0,00	0,00	0,00
23-65	Bőszénfa	0,12	120	0,00	0,06	59	0,00	0,00	0,00
23-67	Kecskemét	0,04	40	0,00	0,03	33	0,00	0,00	0,00
23-70	Polgárdi	0,06	60	0,00	0,02	23	0,00	0,00	0,00
23-78	Somogyvár	0,00	0	0,00	0,03	34	0,00	0,00	0,00
23-87	Véménd	0,06	60	0,00	0,06	55	0,00	0,00	0,00
23-89	Pécsvár	0,00	0	0,00	0,02	22	0,00	0,00	0,00
23-122	Bogyoszló	0,02	20	0,00	0,03	29	0,00	0,00	0,00
23-126	Bakonyerdő	0,00	0	0,00	0,03	26	0,00	0,00	0,00
23-129	Borsodszirák	0,05	50	0,00	0,06	56	0,00	0,00	0,00
23-1	Magyarkeszi	0,12	120	0,00	0,07	69	0,00	0,00	0,00
23-1-1	Magyarkeszi	0,02	20	0,00	0,03	31	0,00	0,00	0,00
23-1-1-x	Magyarkeszi	0,03	30	0,00	0,02	15	0,00	0,00	0,00

23-6	Miske	0,44	440	0,00	0,03	28	0,00	0,00	0,00
23-9	Hercegszántó	0,02	20	0,00	0,06	64	0,00	0,00	0,00
23-11	Dusnok	0,78	780	0,00	0,04	39	0,00	0,00	0,00
23-12	Dusnok	1,14	1140	0,00	0,03	33	0,00	0,00	0,00
23-15	Bátya	0,14	140	0,00	0,04	37	0,00	0,00	0,00
23-16	Bátya	0,09	90	0,00	0,02	16	0,00	0,00	0,00
23-19	Kelebia	0,01	10	0,00	0,08	82	0,00	0,00	0,00
23-29	Órbottyán	0,01	10	0,00	0,06	63	0,00	0,00	0,00
23-34	Pörböly	0,01	10	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00
23-37	Nagyberény	0,08	80	0,00	0,03	34	0,00	0,00	0,00
23-40	Kondoros	0,02	20	0,00	0,03	28	0,00	0,00	0,00
23-43	Füzesgyarmat ps	0,02	20	0,00	0,03	31	0,00	0,00	0,00
23-54	Bőszénfa	0,14	140	0,00	0,13	125	2,91	0,00	0,67
23-57	Bőszénfa	0,13	130	0,00	0,15	145	3,84	12,80	2,58
23-59	Bőszénfa	0,15	150	0,01	0,17	166	4,28	21,65	4,65
23-66	Füzesabony	0,01	10	0,00	0,01	14	0,00	0,00	0,00
23-71	Polgárdi	0,28	280	0,00	0,03	34	0,00	0,00	0,00
23-72	Csokonyavisonta #2	0,21	210	0,00	0,07	71	0,00	0,00	0,00
23-73	Csokonyavisonta	0,01	10	0,00	0,04	37	0,00	0,00	0,00
23-78-2	Nógrádmarcalt	0,01	10	0,00	0,04	38	0,00	0,00	0,00
23-79	Somogyvár	0,05	50	0,00	0,03	34	0,00	0,00	0,00
23-81	Szakcs	0,33	330	0,00	0,06	57	0,00	0,00	0,00
23-95	?	0,04	40	0,00	0,05	50	0,00	0,00	0,00
23-107	Ipolyerdő	0,00	0	0,00	0,01	9	0,00	0,00	0,00
23-108	Ipolyerdő	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00
23-109	Ipolyerdő	0,27	270	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00
23-117	Nyírmártonfalva	0,03	30	0,01	0,07	68	0,00	0,00	1,52
23-119	Debrecen - Haláp	0,01	10	0,00	0,08	80	0,00	0,00	0,00
23-120	Debrecen - Haláp	0,05	50	0,00	0,04	37	0,00	0,00	0,00
23-121	Debrecen - Haláp	0,00	0	0,00	0,02	24	0,00	0,00	0,00

D. melléklet: Bószénfai minták adatai, mérési tartomány és határérték.

		Mérési tartomány								
		0,2-5	0,2-5	4-100	0,5-5	0,5-5	5-100	50-500	30-500	
		Határérték								
		1,75	1,75	2	2	2	5	100	100	
Azonosító	Település	DON (ppm)	DON (ppb)	AFLA (ppb)	FUM (ppm)	FUM (ppb)	OTA (ppb)	T2 (ppb)	ZEA (ppb)	Megjegyzés
23-55	Bószénfa	0,08	80	0,00	0,10	103	2,64	0,00	0,86	Juta
23-56	Bószénfa	0,10	100	0,00	0,12	123	2,64	0,00	0,05	Juta
23-58	Bószénfa	0,07	70	0,00	0,14	141	2,78	0,00	2,77	Juta
23-60	Bószénfa	0,29	290	0,01	0,05	51	0,00	0,00	0,00	Baté
23-61	Bószénfa	0,20	200	0,00	0,07	69	0,00	0,00	0,00	Baté
23-62	Bószénfa	0,14	140	0,00	0,05	46	0,00	0,00	0,00	Baté
23-63	Bószénfa	0,08	80	0,00	0,07	68	0,00	0,00	0,00	Baté
23-64	Bószénfa	0,09	90	0,00	0,06	63	0,00	0,00	0,00	Baté
23-65	Bószénfa	0,12	120	0,00	0,06	59	0,00	0,00	0,00	Baté
23-54	Bószénfa	0,14	140	0,00	0,13	125	2,91	0,00	0,67	Juta
23-57	Bószénfa	0,13	130	0,00	0,15	145	3,84	12,80	2,58	Juta
23-59	Bószénfa	0,15	150	0,01	0,17	166	4,28	21,65	4,65	Juta

E. melléklet: Ipolyerdei minták adatai, mérési tartomány és határérték.

		Mérési tartomány					
		0,2-5	0,2-5	5-100	50-500	30-500	
		Határérték					
		1,75	1,75	5	200	200	
		DON (ppm)	DON (ppb)	OTA (ppb)	T2 (ppb)	ZEA (ppb)	
23-110	Ipolyerdő	0,00	0	0,00	0,00	0,00	
23-111	Ipolyerdő	0,19	190	0,00	0,00	0,00	
23-112	Ipolyerdő	0,18	180	0,00	0,00	0,00	
23-113	Ipolyerdő	0,00	0	0,00	0,00	0,00	
23-114	Ipolyerdő	0,00	0	0,00	0,00	0,00	
23-123	Kecskefém	0,04	40	0,00	0,00	0,00	
23-110-1	Ipolyerdő	0,00	0	0,00	0,00	0,00	
23-110-2	Ipolyerdő	0,30	300	0,00	0,00	0,00	
23-110-3	Ipolyerdő	0,73	730	0,00	0,00	0,00	
23-110-4	Ipolyerdő	0,01	10	0,00	0,00	0,00	
23-1105-1	Ipolyerdő	0,00	0	0,00	0,00	0,00	

F. melléklet: A mezők értékeit a veszélyességi szintjük alapján határoztuk meg. A határérték-tartományokhoz rendelt színeknek megfelelően különböző pontszámokat kaptak (lásd H. és I. melléklet). 1 pontot kapott a legkevésbé veszélyes, míg 10 pontot a legveszélyesebb minta.

Kategória	Pont
Határérték 10%-a alatt (0-10%)	1
Határérték 50%-a alatt (10-50%)	3
Határérték 90%-a alatt (50-90%)	5
Határérték felett (100-110%)	7
Határérték 110%-a felett (110-200%)	8
Határérték 200%-a felett (>200%)	10

G. melléklet: Az összesített értékek, amelyek a H. és I. mellékletben található táblázat utolsó oszlopaiban van feltüntetve.

Minősítés	pontozás
Nagyon alacsony kockázat	6–10
Alacsony kockázat	11–15
Közepes kockázat	16–20
Magas kockázat	21–25
Nagyon magas kockázat	26–28
Éxtrem kockázat	29–30

H. melléklet: Az árpa minták veszélyesség szerinti pontszámai. Az értékelést segíti az F. és a G. melléklet.

Azonosító	Település	DON (ppb)	OTA (ppb)	T2 (ppb)	ZEA (ppb)	Összesen
22-33		10	1	1	1	13
23-3	Magyarkeszi	10	1	1	1	13
23-5	Miske	10	1	1	1	13
23-7	Miske	10	1	1	1	13
23-9	Hercegszántó	10	1	1	1	13
23-13	Dusnok	10	1	1	1	13
23-14	Dusnok	10	1	1	1	13
23-30-1	Órbottyán	1	1	1	1	4
23-30-2	Pápakovácsi	1	1	1	1	4
23-41	Kondoros	10	1	1	1	13
23-49	Csákvár	1	1	1	1	4
23-76	Tamási	10	1	1	1	13
23-80	Somogyvár	10	1	1	1	13

23-82	Szakcs	10	1	1	1	13
23-86	Szigetvár	1	1	1	1	4
23-88	Véménd	10	1	1	1	13
23-90	Pécsvárad	10	1	1	1	13
23-105	Balassagyarmat	1	1	1	1	4
23-110	Ipolyerdő	1	1	1	1	4
23-111	Ipolyerdő	10	1	1	1	13
23-112	Ipolyerdő	10	1	1	1	13
23-113	Ipolyerdő	1	1	1	1	4
23-114	Ipolyerdő	1	1	1	1	4
23-123	Kecskemét	10	1	1	1	13
23-130	Borsodszirák	1	1	1	1	4
23-110-1	Ipolyerdő	1	1	1	1	4
23-110-2	Ipolyerdő	10	1	1	1	13
23-110-3	Ipolyerdő	10	1	1	1	13
23-110-4	Ipolyerdő	10	1	1	1	13
23-1105-1	Ipolyerdő	1	1	1	1	4

I. melléklet: A búza minták veszélyesség szerinti pontszámai. Az értékelést segíti az F. és a G. melléklet.

Azonosító	Település	DON (ppb)	AFLA (ppb)	FUM (ppb)	OTA (ppb)	T2 (ppb)	ZEA (ppb)	Összesen
23-4	Miske	10	1	10	1	1	3	26
23-8	Hercegszántó	10	1	10	1	1	1	24
23-17	Hajós	10	1	10	1	1	1	24
23-18	Báta	10	1	10	1	1	1	24
23-20	Kelebia	10	1	10	1	1	1	24
23-22	Döbrönte	10	1	10	1	1	1	24
23-24	Kup	1	1	10	1	1	1	15
23-26	Pétevársára	10	1	10	1	1	3	26
23-35	Kisújszállás	10	1	10	1	1	1	24
23-38	Nagyberény	10	1	10	1	1	1	24
23-48	Csákvár	1	1	10	1	1	1	15
23-52	Tompa	1	1	10	1	1	1	15
23-53	Istenmezeje	10	1	10	3	1	1	26
23-55	Böszénfa	10	1	10	5	1	1	28
23-56	Böszénfa	10	1	10	5	1	1	28
23-58	Böszénfa	10	1	10	5	1	1	28
23-60	Böszénfa	10	1	10	1	1	1	24
23-61	Böszénfa	10	1	10	1	1	1	24
23-62	Böszénfa	10	1	10	1	1	1	24
23-63	Böszénfa	10	1	10	1	1	1	24
23-64	Böszénfa	10	1	10	1	1	1	24
23-65	Böszénfa	10	1	10	1	1	1	24
23-67	Kecskemét	10	1	10	1	1	1	24
23-70	Polgárdi	10	1	10	1	1	1	24
23-78	Somogyvár	1	1	10	1	1	1	15
23-87	Véménd	10	1	10	1	1	1	24

23-89	Pécsvárad	1	1	10	1	1	1	15
23-122	Bogyoszló	10	1	10	1	1	1	24
23-126	Bakonyerdő	1	1	10	1	1	1	15
23-129	Borsodszirák	10	1	10	1	1	1	24
23-1	Magyarkeszi	10	1	10	1	1	1	24
23-1-1	Magyarkeszi	10	1	10	1	1	1	24
23-1-1-x	Magyarkeszi	10	1	10	1	1	1	24
23-6	Miske	10	1	10	1	1	1	24
23-9	Hercegszántó	10	1	10	1	1	1	24
23-11	Dusnok	10	1	10	1	1	1	24
23-12	Dusnok	10	1	10	1	1	1	24
23-15	Bátya	10	1	10	1	1	1	24
23-16	Bátya	10	1	10	1	1	1	24
23-19	Kelebia	10	1	10	1	1	1	24
23-29	Órbottyán	10	1	10	1	1	1	24
23-34	Pörböly	10	1	1	1	1	1	15
23-37	Nagyberény	10	1	10	1	1	1	24
23-40	Kondoros	10	1	10	1	1	1	24
23-43	Füzesgyarmat ps	10	1	10	1	1	1	24
23-54	Böszénfa	10	1	10	5	1	1	28
23-57	Böszénfa	10	1	10	5	3	1	30
23-59	Böszénfa	10	1	10	5	3	1	30
23-66	Füzesabony	10	1	10	1	1	1	24
23-71	Polgárdi	10	1	10	1	1	1	24
23-72	Csokonyavisonta #2	10	1	10	1	1	1	24
23-73	Csokonyavisonta	10	1	10	1	1	1	24
23-78-2	Nógrádmarcfal	10	1	10	1	1	1	24
23-79	Somogyvár	10	1	10	1	1	1	24
23-81	Szakcs	10	1	10	1	1	1	24
23-95	?	10	1	10	1	1	1	24
23-107	Ipolyerdő	1	1	10	1	1	1	15
23-108	Ipolyerdő	1	1	1	1	1	1	6
23-109	Ipolyerdő	10	1	1	1	1	1	15
23-117	Nyírmárbufalva	10	1	10	1	1	1	24
23-119	Debrecen - Haláp	10	1	10	1	1	1	24
23-120	Debrecen - Haláp	10	1	10	1	1	1	24
23-121	Debrecen - Haláp	1	1	10	1	1	1	15

MATE Szervezeti és Működési Szabályzat

III. Hallgatói Követelményrendszer

III.1. Tanulmányi és Vizsgaszabályzat

6.13. sz. függelék: A MATE egységes szakdolgozat / diplomadolgozat / záródolgozat / portfólió készítési útmutatója

4.2. sz. melléklete: Nyilatkozat a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről (módosítva: 2025. október 16.)

NYILATKOZAT

a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió¹ nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Mendi Martina
A Hallgató Neptun kódja: A67ULE
A dolgozat címe: Kalászos gabonafélék toxinterheltsége Magyarország egyes területein: Elemzés és állapotfelmérés
A megjelenés éve: 2025.
A konzulens intézetének neve: Genetika és Biotechnológia Intézet
A konzulens tanszékének a neve: Állatbiotechnológia Intézet

Kijelentem, hogy az általam benyújtott záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió² egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem. Továbbá kijelentem, hogy a dolgozat elkészítése során alkalmazott mesterséges intelligencia-eszközök (pl. szöveggenerálás, nyelvi javítás, fordítás, adatelemzés) használata nem helyettesítette a saját kutatási és alkotói munkámat, azok alkalmazását a források között vagy a módszertani részben feltüntettem, és a szakmai-etikai elvárásoknak megfelelően jártam el.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

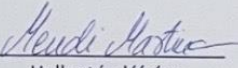
A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkor szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitori rendszerében.

Kelt: Füvészi, 2025 év 11 hó 3 nap


Hallgató aláírása

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

NYILATKOZAT

_Mendi Martina___ (név) (hallgató Neptun azonosítója: A67ULE) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót¹ áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő védésre javaslom / nem javaslom².

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*3}

Kelt: 2025 év 11 hó 02 nap



Dr. Szőke Zsuzsanna
tud. főmunkatárs

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő aláhúzendó.

³ A megfelelő aláhúzendó.

Hallgatók, doktoranduszok nyilatkozata mesterséges intelligencia (MI) alkalmazásáról

1. Általános adatok

Hallgató neve:	Mendi Martina
Neptun-kódja:	A67ULE
Képzési szint (a megfelelőt jelölje X-szel):	<input checked="" type="checkbox"/> BSc/BA <input type="checkbox"/> MSc/MA <input type="checkbox"/> Doktori (PhD) <input type="checkbox"/> Egyéb:
Tantárgy neve/kódja*:	Mezőgazdasági mérnök – B-KES-N-HU-MGMER
A munka címe:	Kalászos gabonafélék toxinterheltsége Magyarország egyes területein: Elemzés és állapotfelmérés

* doktori értekezés esetén nem kitöltendő

2. Nyilatkozat az MI használatáról

Alulírott, etikai felelősségem teljes tudatában az alábbi nyilatkozatot teszem:

(Kérjük, válasszon egyet az alábbi lehetőségek közül!)

A) Nem alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Amennyiben ezt jelölte, a további táblázatok kitöltése nem szükséges.)

B) Alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Kérjük, töltsse ki a vonatkozó táblázatokat!)

3. A mesterséges intelligencia használatának részletezése

I. TÁBLÁZAT: Asszisztensi vagy kisebb mértékű felhasználás (pl. fordítás, nyelvi korrektúra, ötletelés stb.)

(Ezen felhasználások esetében a konkrét promptok és válaszok csatolása nem szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott MI-eszköz neve és verziója	Érintett rész (ha nem a szöveg egészére vonatkozik)
Szöveg átfogalmazása	ChatGPT 4.5	A szakdolgozat elkészítése során mesterséges intelligencia alapú nyelvi segédeszközt (ChatGPT) használtam egyes szövegrészek megfogalmazásához vagy épp átfogalmazásához. Az MI által javasolt szövegeket

		minden esetben átolvastam, ellenőriztem és saját szakmai megítélésem szerint módosítottam. A tartalom szakmai részeit és az elemzéseket teljesen önállóan készítettem.
--	--	--

II. TÁBLÁZAT: Jelentős tartalmi hozzájárulás (pl. egy teljes ábra vagy egy hosszabb szövegrész generálása)

(Ezekben az esetekben a felhasznált kulcsfontosságú promptok és az MI által adott nyers válaszok dokumentálása és a munka mellékletében való csatolása szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott eszköz verziója, elérhetősége	MI-neve,	Az érintett fejezet / ábra / táblázat pontos sorszáma	A prompt-naplót tartalmazó melléklet bejegyzésének sorszáma

3/A. Oktató által előírt kiegészítő szabályok (ha vannak)

Amennyiben az adott tantárgy oktatója vagy témavezetője az MI-eszközök használatára vonatkozóan külön szabályokat vagy elvárásokat határozott meg, kérjük, az alábbi mezőben foglalja össze ezeket:

Pl. az MI használatának tilalma bizonyos feladattípusokra; csak konkrét eszköz használata engedélyezett; eltérő hivatkozási elvárások; dokumentációs forma stb.

Oktató vagy témavezető által előírt szabályok:

.....

.....

.....

.....

4. Minden hallgatóra vonatkozó nyilatkozat:

Kijelentem, hogy az MI által esetlegesen generált tartalmakat minden esetben kritikailag felülvizsgáltam, szerkesztettem és a munkába illesztettem. A leadott munka minden eleméért, annak eredetiségéért és tudományos helyállóságaért teljes körű felelősséget vállalok. Tudomásul veszem, hogy a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem a benyújtott munkát mesterséges intelligencia detektorral ellenőrizheti, és eljárást kezdeményezhet, amennyiben a nyilatkozatom valótlan vagy hiányos.

Kelt: Tamási....., 2025. 11..... hó 3..... nap

Keudi Mastica.....

Hallgató aláírása

C. L. Te.....

Konzulens/Témavezető aláírása