

Debreceni Egyetem
Mezőgazdasági-, Élelmiszertudományi és Környezettudományi kar
Növényvédelmi intézet
Dr. Nagy Antal
egyetemi docens, intézetvezető

A FUZÁRIUM FERTŐZÖTTSÉG ÉS FUZÁRIUM TOXIN SZENNYEZETTSÉG KUKORICÁBAN A MŰVELÉSMÓDOK ÉS FAJTAHAJLAM TÜKRÉBEN

Készítette:
Pápai Adrián
Növényorvosi MSc

Témavezető:
Csótó András
Tanszéki mérnök

Külső konzulens:
Kecskés István
Fejlesztőmérnök, KITE Zrt.

Debrecen
2022

Tartalomjegyzék

BEVEZETÉS	4
SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS	7
A <i>Fusarium</i> általános bemutatása.....	7
<i>Fusarium graminearum</i> Schwabe	9
<i>Fusarium fujikuroi</i> fajkomplex.....	9
<i>Fusarium culmorum</i> (Wm.G. Sm.) Sacc.	10
<i>Fusarium equiseti</i> (Corda) Sacc.....	11
<i>Fusarium avenaceum</i> (Fr.) Sacc.	11
Fontosabb fuzáriumtoxinok bemutatása.....	11
Fumonizinek	11
Trichotecének	12
Zearalenon	14
Moniliformin	14
A <i>Fusarium</i> fajok környezeti igényei	15
Agrotechnikai védekezés	16
ANYAG ÉS MÓDSZER	18
A kísérletben használt hibridek bemutatása.....	18
A kísérlet elrendezése	18
Talajművelési eljárások	18
Endofuzáriózis vizsgálat módszere	19
PCR vizsgálatok módszere.....	20
Fumonizin B ₁ , B ₂ , B ₃ , B ₄ , és DON tartalom mérésének módszere	21
Statisztikai elemzés	22
EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK.....	23
A talajművelések DON tartalomra gyakorolt hatása 2020-ban.....	23
A hibridek és a talajművelések fumonizintartalomra gyakorolt hatása 2021-ben.....	24
A hibridek és a talajművelések endofuzáriózissra gyakorolt hatása 2020-ban.....	26
A hibridek és a talajművelések endofuzáriózissra gyakorolt hatása 2021-ben.....	28
A hibridek és a talajművelések nem fuzárium belső gombafertőzöttségre gyakorolt hatása 2020-ban	30
A hibridek és a talajművelések nem fuzárium belső gombafertőzöttségre gyakorolt hatása 2021-ben	33
A PCR vizsgálat eredménye.....	34

KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK	37
ÖSSZEFOGLALÁS	39
IRODALOMJEGYZÉK	41
TÁBLÁZATOK ÉS ÁBRÁK JEGYZÉKE	50

Rövidítések jegyzéke

DON	deoxynivalenol
FUM	fumonizin
ZEA	zearalenon
BEA	beauvericin
MON	moniliformin
NIV	nivalenol

BEVEZETÉS

Az alábbi mondattal kezdődik MENYHÉRT 1985-ben kiadott kukoricatermesztésről szóló könyvének első fejezete: „*Amikor Kolumbusz felfedezte Amerikát, a kontinens felfedezése mellett megismertette Európát egy olyan növényvel, amelyről talán nem is sejtették, hogy értékeesebb az összes elrabolt aranyból, értékeesebb az azóta is keresett Eldorádó összes kincsénél (MENYHÉRT, 1985, p.15)*”. Ma áttekintve a kukorica jelentőségét azt mondhatjuk, hogy a kijelentés megállja a helyét.

Egy hektár kukorica megtermeli 50-60 ember éves oxigénszükségletét, egy hektár kukorica termésével pedig elő lehet állítani 3000 kg sertéshúst, vagy 2000 kg marhahúst vagy 15 ezer liter tejet. A kukoricából előállítható termékek száma 4000 körüli, alapanyaga a szesz, az étkezési (izo-) cukor és keményítőgyártásnak. A változó táplálkozási szokások következtében emelkedett az élelmiszerelőállításban a kukoricaszem felhasználása, különböző puffasztott termékeket állítanak elő belőle, valamint hasznosítják a kukoricaolajat és a csírákat. Alapanyaga a kukorica az etanolnak, egyes műanyagoknak, ipari vegyszereknek, alkoholos italoknak, akár hamburgereknek, a csokiszeleteknek. A kukoricaszárnak jelentős szerepe van a talajok tápanyaggazdálkodásában, de használható fűtésre, takarmányozásra is (NAGY, 2007; NAGY, 2012; NAGY, 2021).

A FAO adatai alapján 2020-ban több, mint 200 millió hektárról takarítottak be 1162 millió tonna kukoricát a világon. A legnagyobb termelők az Amerikai Egyesült Államok, Kína – akik közösen a világon megtermelt mennyiségnek körülbelül a felét állítják elő – valamint Brazília és Argentína (FAO, 2020).

Európában 2020-ban közel 124 millió tonnát takarítottak be 19,4 millió hektárról. Magyarország ebben az évben Európa 5. legnagyobb kukoricatermesztője volt 8,4 millió tonnás eredményével, megelőzött minket Ukrajna (30,29 millió tonna), Oroszország (13,88 millió tonna), Franciaország (13,42 tonna) és Románia (10,94 millió tonna). Az Európai Unió 27 tagállama közösen 67,84 millió tonnát állított elő. (FAO, 2020).

Hazánkban a KSH adatközlése alapján 2021-ben 1,054 millió hektárról takarítottak be kukoricát, amely 6,13 t/ha termésátlaggal közel 6,5 millió tonna termést eredményezett. A legmagasabb termésátlagokat a Nyugat-Dunántúli (7,66 t/ha), az Észak Magyarországi (6,91 t/ha) és az Észak-Alföldi Régióban (6,51 t/ha) realizálták. A legtöbb termést az Észak-Alföldi (1,69 millió tonna), Dél-Alföldi (1,21 millió tonna) és Dél-Dunántúli Régióban (1,17 millió tonna) takarították be (KSH, 2021). A KSH adatai alapján Magyarországon 2020-ban

kukoricából ipari feldolgozásra került 2,539 millió tonna, takarmányként hasznosítottak 2,536 millió tonnát, közel 30 ezer tonna volt a vetőmagfelhasználás, 72 ezer tonna veszteség keletkezett, illetve 4,24 millió tonna kivitelre került (KSH, 2020).

Bevezetésre került hazánkban is 10%-ban bioetanolt tartalmazó E10 nevet viselő üzemanyag (NAGY, 2021), ennek is szerepe van abban, hogy körülbelül 1,6 millió tonna kukoricát etanolgyártásra használunk fel évente (OLÁH – POPP, 2018).

A kukorica legfontosabb, leggyakoribb növénybetegségeinek kiváltói közé tartoznak a kukorica csőpenész kórokozói. A kár fő oka a minőségromlás, amely magába foglalja az emberekre és állatokra egyaránt káros toxinok termelődését (MESTERHÁZY et al., 2019).

TÉMAFELVETÉS

A kukorica csőfuzáriózisa globális jelenség, amely jelentős termés kiesést okoz, valamint az emberek és állatok egészségét veszélyezteti. Ez a betegség világszerte aggodalomra ad okot a kukoricatermesztők körében, mivel nagy hatása van a kukoricatermesztésre, csökkenti a potenciális bevételt (MASIBONGE et al., 2015). A legnagyobb kockázatot a *Fusarium* fajok mikotoxinjai, a fumonizinek, trichotecének és a zearalenon jelentik (KOVÁCS, 2010).

Az állati takarmányban lévő mikotoxinok gazdasági hatásait nehéz mérni, egy tanulmány az Amerikai Egyesült Államok takarmányozásra szánt kukoricájának fumonizin tartalmára vonatkozóan a veszteségek két különböző kategóriáját vette figyelembe: az állatok egészségével kapcsolatos veszteségeket és a piacon visszautasított gabonával kapcsolatos kereskedelmi veszteségeket. A becslések szerint egy átlagos évben a takarmányban lévő fumonizin okozta veszteségek 1-20 millió USD-t, egy jelentős csőfuzáriózissal járó évben 31-46 millió USD-t tesznek ki (WU, 2007).

Az Európai Bizottság által megállapított toxin határértékeket élelmiszerekre vonatkozóan a 1881/2006/EK rendelet, és az ezt módosító 1126/2007/EK rendelet tartalmazza, amely alapján feldolgozatlan kukoricára vonatkozóan deoxinivalenol esetében 1750 µg/kg, zearalenon esetében 350 µg/kg, fumonizin B₁ és B₂ esetében együttesen 4000 µg/kg határértéket szabtak meg (SZEITZNÉ SZABÓ, 2009). A takarmányok esetében EU Bizottsági 2006/576/EK és 2013/165/EU ajánlás az iránymutató, valamint az MTA Agrártudományok Osztályának 2021-es javaslata, amely a gazdasági állatok fajtát és életkorát figyelembe véve alacsony, közepes, illetve nagy kockázatú mikotoxin szennyezettségi tartományokat határozott meg (BALÁZS, 2021). A mezőgazdasági gyakorlattal tehetünk azért, hogy csökkentsük a *Fusarium* fertőzöttséget, talajelőkészítés esetén javasolt szántással végezni az alapművelést, vagy a

toxintermelő gombák számára kedvező közeget nyújtó tarlómaradványok eltávolítását követően készíteni magágyat (SZEITZNÉ SZABÓ, 2009).

Hagyományos talajművelés során a szármaradványokat a teljes felületről szántással beforgatják a talajba. A konzerváló művelés lényege a minél nagyobb mértékű talajfedettség elérése az elővetemény gyökér és szármaradványaival, minimális menetszámmal. Sávós (strip-till) művelés esetén csak sávokban végeznek talajművelést – körülbelül a talajfelszín 25-35 %-án – a szármaradványokkal borított tarlón speciális talajművelő eszközökkel, a vetés a megművelt sávba történik. A szármaradványoknak csak kis része kerül a talajba, nagyobb hányaduk a felszínen marad a talajtakarást szolgálva. Direktvetés (no-till) alkalmazásakor az elővetemény betakarítása után a következő lépés a vetés, köztük a talajt nem művelik (HUSTI, 2015).

A no-till és strip-till művelési rendszerek esetén a növénymaradványok a felszínen maradnak, jelen dolgozatban ennek hatásait vizsgáljuk a fuzárium megjelenésére, a toxintartalom növekedésére.

SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

A *Fusarium* általános bemutatása

Az első, ma már a *Fusarium* nemzetségbe tartozó gombát Johann Heinrich Friedrich Link német természettudós és botanikus határozta meg és írta le 1809-ben. A *Fusarium* egy nagy, összetett nemzetség, amelynek tagjai világszerte kimutathatóak a növényekből és a talajból, mint kórokozók, endofitonok, és szaprofiták (SUMMERELL et al., 2010).

Sok közülük biológiailag aktív másodlagos anyagcseretermékeket termel, amelyekről megállapították, hogy vannak köztük alacsonyabb rendű szervezetekre erős gátlóhatásúak (antibiotikumok), repellens, azaz riasztó hatásúak (pl.: peramine, mint rovarriasztó), vagy a magasabb rendű szervezetekre mérgező hatásúak, ezek a rendkívüli kémiai változatossággal rendelkező mikotoxinok. Mikotoxikózis akkor fordul elő, amikor fogékony állatok mérgező mennyiségű gombatoxint fogyasztanak. A *Fusarium* mikotoxinok biológiai aktivitása káros lehet a növényekre, és összefüggésbe hozható az ember és a házasított állatok rákos és egyéb betegségeivel (MORETTI, 2009; VELLUTI et al., 2000).

A nemzetség tagjai hírhedtek növénykórokozói képességeikről, bár a háborítatlan területeken őshonos növényekkel és talajjal végzett munka azt sugallja, hogy az ismert betegségekhez nem kapcsolódó fajok száma messze meghaladja a betegségeket okozó fajok számát (DESJARDINS, 2006).

A *Fusarium* gombanemzetség jól ismert taxonómiai nehézségeiről. A fuzárium-kutatók körében a fajok meghatározásának két gyökeresen eltérő megközelítése működött az Amerikai Egyesült Államokban és Európában, így fordulhatott elő az, hogy amíg a legtöbb tengerentúli kutató a publikációiban csak 9 *Fusarium* fajra hivatkozott, addig Európában 65 fajt ismertek el (SUMMERELL – LESLIE, 2011).

Jelenleg körülbelül 150 faj tartozik a *Fusarium* nemzetségbe, ez azonban a pillanatnyilag is gyorsan változik a molekuláris biológia gyors fejlődésének következtében. Számos nemrég felfedezett *Fusarium* fajt filogenetikai módszerekkel fedeztek fel, majd ezt követően történt meg a faj leírása, ahol a bemutatásuk mellett széleskörű leírások érhetőek el az ökológiájukról és toxintermelésükről is. Az egyik taxonómiai rendszeren alapuló információt nehéz átfordítani a másikra a nevezéktan eltérései miatt, fokozottan jelentkezik ez a probléma régebbi irodalmak vonatkozásában, ami sok félreértést okoz. A legrosszabb eset valószínűleg a mikotoxin-termelésben található, ahol számos mikotoxin-termelésről szóló beszámoló rosszul azonosított törzseken alapszik, mivel gyakran lehetetlen a mai taxonómiai rendszerekben történő

azonosításuk, továbbá sok mikológiai kísérlethez olyan törzseket használtak, amelyek nem találhatók meg nemzetközileg hozzáférhető gyűjteményekben (THRANE, 2014).

Bár a fő taxonómiai rendszereket olyan szekciókkal szervezték meg, amelyeknek fajai közös morfológiai tulajdonságokkal rendelkeznek, és így feltehetőleg genetikailag rokonok, nem minden kutató fogadja el ezt az elgondolást, mióta néhány gyakran használt morfológiai tulajdonság evolúciós szempontból gyenge megbízhatóságúnak minősült a legújabb molekuláris vizsgálatok alapján (MORETTI, 2009).

Mivel sok gombafaj ivaros és ivartalan szaporodást is mutat, amelyek egymástól függetlenül is előfordulhatnak, elfogadott volt, hogy külön anamorf és külön teleomorf nevet viseljenek az életciklusaik különböző szakaszaiban. A DNS-vizsgálatok elterjedésével felfedezésre kerültek genetikai kapcsolatok olyan organizmusok között, amelyeket korábban külön szervezetekként tartottak számon. A múltban a fajok anamorf és teleomorf neveinek tisztázott kapcsolatai mára meglehetősen zavarossá váltak. A nevezéktanban bekövetkező változásoknak köszönhetően 2013 januárjától minden gombafajhoz csak egy név tartozhat. Általában előnyben részesítik a teleomorf nevet, de vannak kivételek, például a *Heamonectria* és *Gibberella* ivaros nevek esetében, ahol a növénypatológia, mikotoxinok, valamint a humán és állategészségügy területéről összegyűlt szakértők fenntartották az ismertebb – vagy talán a számos káros hatása következtében hírhedtebb – *Fusarium* nevet (VAN DIEPENINGEN et al., 2014).

A *Fusarium* fajok a kukoricában csírapusztulást, gyökér- és szárrothadást, valamint csőpenészt okoznak. Mérsékelt övben kukoricából leggyakrabban a *Fusarium graminearum*, *Fusarium moniliforme* (jelenlegi névhasználatban *F. verticillioides* vagy *F. fujikuroi*), illetve a *Fusarium culmorum*, *Fusarium subglutinans*, *Fusarium proliferatum* és *Fusarium equiseti* fajokat izolálták (VELLUTI et al., 2000).

Más forrás szerint Európa hűvösebb éghajlati övezeteiben a vörös csőpenészt okozó és nedves-mérsékelt területeket kedvelő *Fusarium graminearum*, *Fusarium culmorum* és *Fusarium avenaceum* elterjedtebbek, mint a *Fusarium verticillioides*, *Fusarium proliferatum* és *Fusarium subglutinans* amelyek melegebb, szárazabb területeket kedvelnek, és a rózsaszín csőpenészsért felelősek (DOOHAN et al., 2003; GOERTZ et al., 2010; LOGRIECO et al., 2002; MUNKVOLD 2003a; SCAUFLAIRE et al., 2011a).

Fumero et al. szerint a *Fusarium subglutinans* és *Fusarium temperatum* általánosan izolált kukorica kórokozók (FUMERO et al., 2020).

Az NCBI és MycoBank alapján a *Fusarium* nemzetségben számontartott gombákat az NCBI, MycoBank és Index Fungorum adatbázisai egységesen a Gombák (*Fungi*) országába, Tömlősgombák (*Ascomycota*) törzsébe, *Pezizomycotina* altörzsbe, *Sodariomycetes* osztályba, *Hypocreomycetidae* alosztályba, *Hypocreales* rendbe, Nectriaceae családba sorolják (ROBERT et al, 2013; CROUS et al., 2004; SCHOCH et al., 2020; INDEXFUNGORUM, 2022a).

***Fusarium graminearum* Schwabe**

A kukoricát számos korokozó megtámadja, beleértve mikotoxint termelő gombákat is, mint például a *Fusarium graminearum* Schwabe, amely meghatározó tagja a fuzáriumos csőpenészt, szárkorhadást és csírapusztulást okozó gombáknak (GOSWAMI – KISTLER, 2004; SUTTON, 1982).

Az NCBI, a MycoBank, és az Index Fungorum adatbázisai alapján a faj jelenlegi legitim neve *Fusarium graminearum* Schwabe, az NCBI adatbázisa a *Fusarium sambucinum* fajkomplexbe listázza. A hajdani teleomorf *Gibberella zeae* névre szinonim névként hivatkoznak az adatbázisok (ROBERT et al, 2013; CROUS et al., 2004; SCHOCH et al., 2020; INDEXFUNGORUM, 2022a).

A termésmennyiség és -minőség jelentős csökkenése miatti jelentős gazdasági veszteségek mellett a gomba iránti érdeklődést elsősorban az általa termelt mikotoxinok táplálják. Ezek a mikotoxinok közé tartozik a zearalenon (ZEA) és számos trichotecén, amelyek egy nagy vegyületcsaládot alkotnak, pl. deoxinivalenol (DON), 15-acetildeoxinivalenol (15-ADON), 3-acetildeoxinivalenol (3-acDON) és nivalenol (NIV) (DESJARDINS – PROCTOR, 2007).

Egy *Fusarium graminearum*-ra vonatkozó adatbázis szerint, hogy Európában a 15-ADON kemo típus az uralkodó a búzában és kukoricában az elmúlt években, a gabonafélékben való általános elterjedtsége 83%-ig terjedt (PASQUALI et al., 2016).

***Fusarium fujikuroi* fajkomplex**

A kukoricát megbetegítő, az NCBI adatbázisa alapján *Fusarium fujikuroi* fajkomplexbe tartozó gombák közül 4-et emelnek ki a szakirodalmak (SCHOCH et al., 2020).

A fajkomplex talán legjelentősebb tagját az NCBI és MycoBank *Fusarium verticillioides* (Sacc.) Nirenberg néven tartja számon, az Index Fungorum azonban a fajkomplex néven, *Fusarium fujikuroi* Nirenberg néven jegyzi. Az adatbázisok a korábbi *Fusarium moniliforme* névről szinonim névként tesznek említést (ROBERT et al, 2013; CROUS et al., 2004; SCHOCH et al., 2020; INDEXFUNGORUM, 2022b). A kukorica rendszeresen szennyezett fumonizin mikotoxinok által is. A fumonizineket elsősorban a *Fusarium verticillioides* termeli,

a toxin neve is a gomba egykori nevéből származik: *Fusarium moniliforme* (BLACUTT et al., 2018).

A fajkomplex tagja továbbá a *Fusarium subglutinans*, melyet az NCBI és Mycobank *Fusarium subglutinans* (Wollenw. & Reinking) P.E. Nelson, Toussoun & Marasas, az Index Fungorum *Fusarium fujikuroi* néven tart számon. (ROBERT et al, 2013; CROUS et al., 2004; SCHOCH et al., 2020; INDEXFUNGORUM, 2022b). A *Fusarium subglutinans* beauvericin (BEA), moniliformin (MON), fusaproliferin (FUP) és fumonizin termeléssel hozható kapcsolatba (LOGRIECO et al., 2002; MUNKVOLD, 2016).

Következő a *Fusarium proliferatum*, melyet a MycoBank, az NCBI és az Index Fungorum egységesen *Fusarium proliferatum* (Matsush.) Nirenberg néven jegyeznék (ROBERT et al, 2013; CROUS et al., 2004; SCHOCH et al., 2020; INDEXFUNGORUM, 2022c). A *Fusarium proliferatum* legfontosabb toxinjai a fumonizinek és moniliformin, továbbá termel még néhány kevésbé jelentős anyagcsereterméket, mint pl. a beauvericin (LOGRIECO et al., 2002; MUNKVOLD 2016).

2011-ben Belgiumban a *Fusarium subglutinans*-hoz morfológiailag hasonló és filogenetikailag szoros rokonságban álló fuzárium törzseket izoláltak kukoricából, amelyeket új fajként írtak le *Fusarium temperatum* Scauflaire & Munaut néven (SCAUFLAIRE et al., 2011b). Az NCBI, a MycoBank, és az Index Fungorum adatbázisai alapján a faj neve *Fusarium temperatum* Scaufl. és Munaut (ROBERT et al, 2013; CROUS et al., 2004; SCHOCH et al., 2020; INDEXFUNGORUM, 2022d). A kórokozó által termelt toxinok fumonizinek és moniliformin, valamint beauvericin és fusaproliferin (MUNKVOLD, 2016).

***Fusarium culmorum* (Wm.G. Sm.) Sacc.**

Az NCBI, a MycoBank, és az Index Fungorum adatbázisa alapján a faj neve *Fusarium culmorum* (Wm.G. Sm.) Sacc., az NCBI a *Fusarium sambucinum* fajkomplexben listázza (ROBERT et al, 2013; CROUS et al., 2004; SCHOCH et al., 2020; INDEXFUNGORUM, 2022e).

Oldenburg és Ellner 2015-ös vizsgálata során *Fusarium culmorum* által fertőzött kukoricaszemekből legnagyobb mennyiségben DON 3-acDON és ZEN toxint, valamint egy alkalommal kis mennyiségben NIV toxint mutattak ki (OLDENBURG – ELLNER, 2015).

***Fusarium equiseti* (Corda) Sacc.**

Az NCBI, a MycoBank, és az Index Fungorum adatbázisa alapján a faj neve *Fusarium equiseti* (Corda) Sacc., az NCBI a *Fusarium incarnatum-equiseti* fajkomplexbbe listázza. Az adatbázisok alapján a faj heterotípusos és taxon szinonim neve *Gibberella intricans* (ROBERT et al, 2013; CROUS et al., 2004; SCHOCH et al., 2020; INDEXFUNGORUM, 2022f).

A *Fusarium equiseti* moniliforminnel, turchotecénekkkel, és zearalenonnal szennyezi a gabonákat (MUNKVOLD, 2016).

***Fusarium avenaceum* (Fr.) Sacc.**

Az NCBI, a MycoBank, és az Index Fungorum adatbázisa alapján a faj neve *Fusarium avenaceum* (Fr) Sacc., az NCBI a *Fusarium tricinctum* fajkomplexbbe listázza. heterotípusos szinonim névként a *Gibberella avenacea* nevet (ROBERT et al, 2013; CROUS et al., 2004; SCHOCH et al., 2020; INDEXFUNGORUM, 2022g).

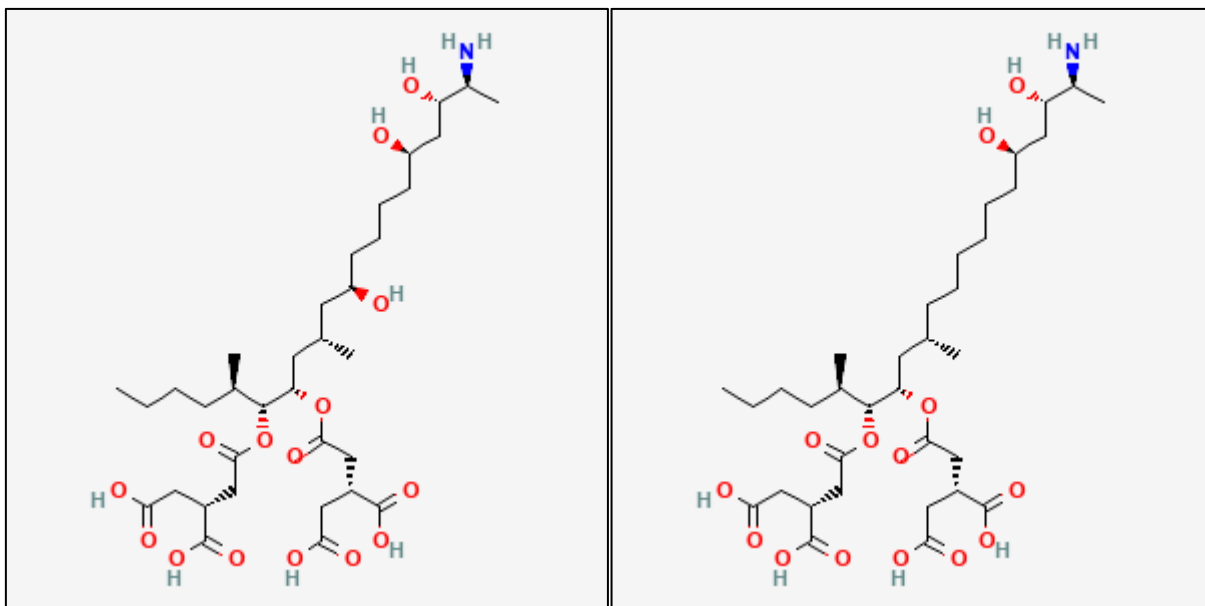
A kórokozó moniliformin, beauvericin és fusarinok mellett néhány kevésbé jelentős anyagcsereterméket állít elő (LOGRIECO et al., 2002; MUNKVOLD 2016).

Fontosabb fuzáriumtoxinok bemutatása

Fumonizinek

A fumonizineket, az élelmiszerekben előforduló rákkeltő mikotoxinok családját először 1988-ban izolálták a *Fusarium verticillioides* MRC 826 törzsének tenyészeiből a dél-afrikai Tygerbergben (GELDERBLOM et al., 1988).

Sok fumonizin homológ ismert, legalább 28 (HUMPF – VOSS, 2004), ezek közül a B-sorozatú fumonizinek (FB₁, FB₂, FB₃ és FB₄) a legáltalánosabban vizsgáltak, köszönhetően gyakori előfordulásuknak (PROCTOR et al., 2008; TAMURA et al., 2015), toxikológiai értékelésük pedig a legtöbb esetben fumonizin B1-re (1. ábra), a természetben legelterjedtebb izomerre összpontosított (VOSS et al., 2001).



1. ábra: **Fumonizin B₁ (balra) és B₂ (jobbra) szerkezeti képlete**

Forrás: National Center for Biotechnology Information, 2022a; National Center for Biotechnology Information 2022b

A fumonizinek mérgezőek az állatokra, agylágyulást okoznak a lóféléknél, tüdőödémát a sertéseknél, továbbá a vesét, májat, tüdőt, idegrendszert, szív- és érrendszert károsítják a legtöbb állatnál. (HASCHEK – VOSS, 2013; VOSS et al., 2007). Fumonizinnel szennyezett kukorica és kukorica alapú termékek fogyasztását humán nyelőcső és májdaganattal hozták összefüggésbe (UENO et al., 1997).

Fumonizint termelő fuzárium fajok a kukoricában a *Fusarium verticillioides*, *Fusarium subglutinans*, *Fusarium proliferatum*, és a *Fusarium temperatum* (LOGRIECO et al., 2002; MUNKVOLD 2016).

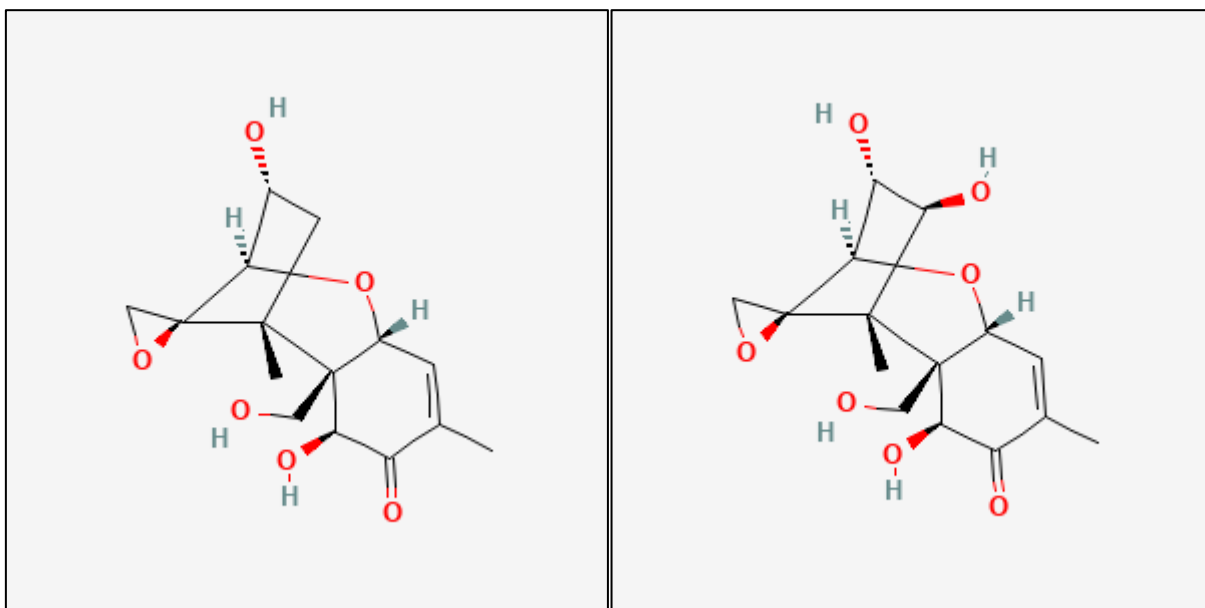
Trichotecének

A trichotecének a toxicitásukat a fehérjék, RNS és DNS szintézis gátlásával fejtik ki. Egyéb toxikus hatásai közé tartozik a membránok működésének és transzportjának megzavarása, az immunválasz elfojtása, rendellenes vérfunkciók okozása (HUSSEIN – BRASEL, 2001; NESIC et al., 2014).

Az élelmiszerekben szennyező anyagként jelen lévő trichotecének étvágytalanságot, hányingert, hányást, fejfájást, hasi fájdalmat, hasmenést, hidegrázást, szédülést és görcsöket okoznak (DE LUCCA, 2007). A trichotecének gyorsan kiválasztódnak az állatokból és a

toxinoknak az állatokból származó állati eredetű élelmiszereken keresztül az emberbe történő átvitele csekély jelentőségűnek tekinthető (BEASLEY – LAMBERT, 1990).

Több mint 200 különböző trichotecént és trichotecén-származékot izoláltak (ERIKSEN – PETTERSSON, 2004). Négy csoportba sorolták őket, A-típusú, pl.: T-2; B-típusú, pl.: nivalenol (NIV), deoxinivalenol (DON) (2. ábra); C- típusú, pl.: crotocin; és D-típusú, pl.: roridin (MCCORMICK et al., 2011).



2. ábra: **DON (balra) és NIV (jobbra) szerkezeti képlete**

Forrás: National Center for Biotechnology Information, 2022c; National Center for Biotechnology Information 2022d

A DON a riboszómához kötődve gátolja a fehérjeszintézist, hányást és étvágytalanságot, immunrendszeri, növekedési, szaporodási zavarokat okoz, valamint teratogén hatása van az emlősökre. A sertéseknél jelentkező erős hányást okozó hatása miatt a köznyelvben „vomitoxinként” (hányást okozó toxin) is ismerik (PESTKA, 2010). A NIV mérgezőbb az állatokra, mint a DON; nyelőcső- és gyomordaganat megnövekedett előfordulási gyakoriságával hozták összefüggésbe (HSIA et al., 2004).

A kukoricában előforduló fajok közül DON és NIV-toxint termel a *Fusarium graminearum* és *Fusarium culmorum*, illetve nivalenolt termel még a *Fusarium equiseti* (LOGRIECO et al., 2002; MUNKVOLD 2016).

Zearalenon

A zearalenon (3. ábra) hiperösztrogenizmust okoz laboratóriumi és háziállatokban. A prepubertális sertéseket találták a legérzékenyebb állatoknak zearalenon toxicitásra (KUIPER-GOODMAN et al., 1987).

Néhány jelentés beszámolt róla, hogy a kukoricában gazdag étrenddel rendelkező lány gyerekek hajlamosak a korai nemi érése (MASSART et al., 2008). Egy másik vizsgálat magas zearalenon-szintet mutatott ki korai serdülésben szenvedő gyerekek vérében (MASSART – SAGESSE, 2010).

Mivel a kukorica és a kukoricában gazdag élelmiszerek hajlamosak a zearalenon-szennyeződésre, a zearalenon lehet a korai pubertás egyik lehetséges oka a gyermekeknél. A zearalenont kimutatták olyan nők méhnyálkahártyájában is, akiknek olyan reprodukív rendellenességei vannak, amelyek ösztrogénhatással hozhatók összefüggésbe (TOMASZEWSKI et al., 1998).

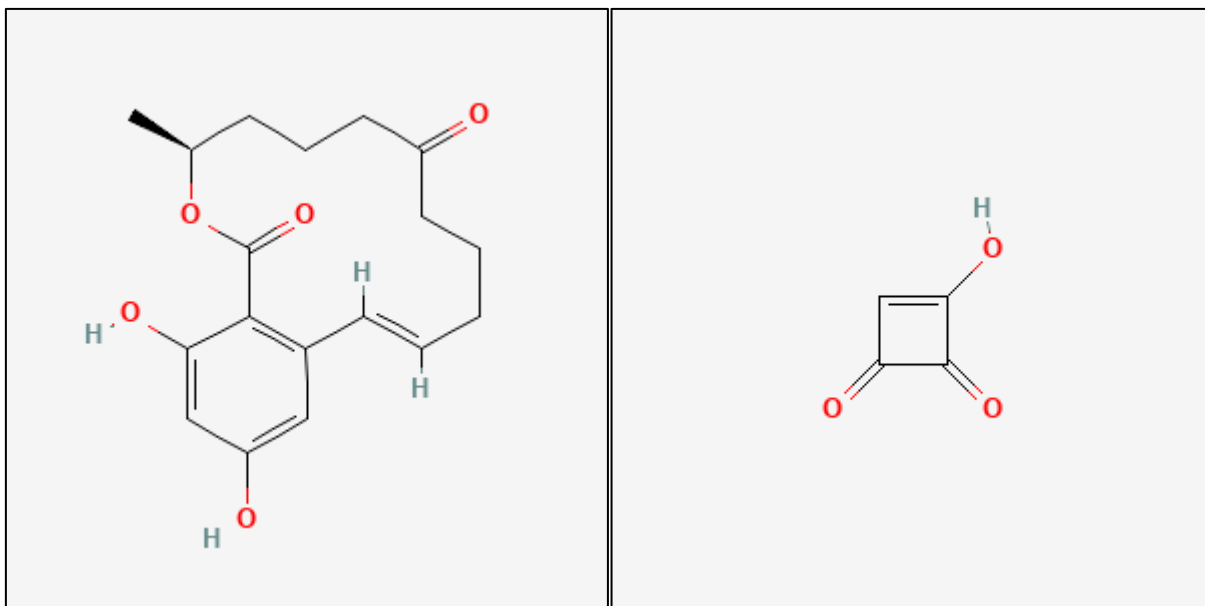
Kukoricában előforduló zearalenont termelő fajok a *Fusarium graminearum*, *Fusarium culmorum* és a *Fusarium equiseti* (LOGRIECO et al., 2002; MUNKVOLD 2016).

Moniliformin

Az Európai Élelmiszerbiztonsági Hatóság (EFSA) élelmiszerláncban előforduló szennyező anyagokkal foglalkozó testülete (CONTAM) szerint a kardiotoxicitás és a hepatotoxicitás a moniliformin fő egészségkárosító hatása (EFSA, 2018). Úgy tűnik, hogy a MON fő célpontjai a tiamint tartalmazó enzimek. Mivel ezek az enzimek a légzési lánc részei, aktivitásuk bármilyen károsodása energiahiányt eredményez, légzési stresszhez és a szívízom funkcióvesztéséhez vezet (FILIPPO et al., 2020).

A MON toxicitására vonatkozó tanulmányok alacsony száma miatt az EFSA CONTAM testülete nem tudott eltűrhető napi beviteli mennyiséget (TDI – Tolerable Daily Intake) megállapítani erre a toxinra. Továbbá egy nemrégiben készült tanulmány a MON és az FB-k interaktív toxicitásáról számolt be (FREMY et al., 2019).

A kukoricában előforduló *Fusarium* fajok közül moniliformint termel a *Fusarium subglutinans*, *Fusarium proliferatum*, *Fusarium equiseti*, *Fusarium avenaceum* és *Fusarium temperatum* (LOGRIECO et al., 2002; MUNKVOLD 2016; FILIPPO et al., 2020).



3. ábra: **Zearalenon (balra) és moniliformin (jobbra) szerkezeti képlete**

Forrás: National Center for Biotechnology Information, 2022e; National Center for Biotechnology Information 2022f

A *Fusarium* fajok környezeti igényei

A kukorica csőfuzáriózist és fuzáriumos szárkorhadást okozó *Fusarium* fajok számára a környezeti tényezők közül a nedvesség és a hőmérséklet a legfontosabb paraméterek. A *Fusarium graminearum* és a *Fusarium culmorum* gombák fertőzésének számára az alacsonyabb hőmérséklet és magas csapadékmennyiség a kedvező időjárási körülmény, míg a *Fusarium verticillioides*, *Fusarium subglutinans* és *Fusarium proliferatum* fertőzése magas hőmérsékleten és száraz körülmények között alakul ki nagyobb valószínűséggel (BOTTALICO, 1998; MUNKVOLD, 2003a).

Az előbbi állítással megegyező eredményre jutott az a kísérlet, amely a környezeti feltételek és agronómiai gyakorlatok hatását vizsgálta a kukorica szár és cső fuzáriumos megbetegedését okozó fuzárium fajok előfordulásának vonatkozásában Németországban. A kísérlet során a 2016 és 2017 évek tenyészidőszakát mérsékelt, 18,8 °C-os átlaghőmérséklet, és magas, 110 mm-es júliusi csapadékmennyiség jellemezte, ezekben az években a *Fusarium graminearum* és *Fusarium culmorum* fajok voltak az uralkodók, a vizsgált csövek több, mint 70 %-án, a vizsgált szárazak 80 %-án volt megtelepedve a két faj. 2018-ban az átlaghőmérséklet magasabb, 20,6 °C, a júliusi csapadék pedig jelentősen kevesebb, 40 mm volt, a leggyakrabban előforduló

faj, a *Fusarium verticillioides* pedig a vizsgált csövek közel 40 %-át kolonizálta (PFORDT et al., 2020).

Agrotechnikai védekezés

A termények mikotoxin-szennyezettségének csökkentésére irányuló termesztési gyakorlatok a növénybetegségek járványtanában gyökereznek. Az általános stratégia a termesztés körülményeinek megváltoztatása, hogy a károsító gomba vagy gombák általi fertőzés elkerülhető legyen. Az ebben a küzdelemben alkalmazott taktikák közé tartoznak azok, amelyeket a legtöbb növénybetegség elleni küzdelemben alkalmaznak: talajművelési gyakorlat, trágyázási gyakorlat, vetésforgó, növény-sűrűség, vetés időpontja és öntözés. Ezenkívül a gabona tárolási gyakorlatát is meg lehet változtatni a betakarítás utáni mikotoxinok kialakulásának valószínűségének csökkentése érdekében (MUNKVOLD, 2003b).

A legtöbb toxigén gombafaj a növényi maradványokban él túl, és a felszíni maradványok vetésforgó vagy talajművelés révén történő kezelését a mikotoxinok csökkentésének taktikájaként vizsgálták. Számos kutatás a *Fusarium graminearum* búzában okozott kalászfuzáriózissal kapcsolatos. Egy vizsgálatban a DON-koncentrációt jelentősen befolyásolta a vetésforgó, a DON szennyezettség több mint kétszer magasabb volt, amikor a búza a kukoricát követte a vetésforgóban (SCHAAFSMA et al., 2001). Hasonló kutatásban a csökkent a kalászfuzáriózis és DON tartalom a búzában a növénymaradványok szántással történő aláforgatásával (DILL-MACKY – JONES, 2000). Kukorica esetében több vizsgálat is arról számol be, hogy a fuzárium fertőzöttséget nem befolyásolja a talajművelési gyakorlat (FLETT – WEHNER, 1991; FLETT – MCLAREN, 1998). Egy frissebb vizsgálat szintén arra az eredményre jutott, hogy a hagyományos talajműveléssel és direktvetéssel termesztett kukoricák átlagos FB₁ és FB₂ szennyezettsége között nem volt szignifikáns különbség, és a nitrogéntrágyázásnak sem volt hatása arra (MAROCCO et al., 2009). A kutatók ezen eredménye részben megegyezik egy korábbi vizsgálatukkal, ahol a konvencionális talajművelésnek és a no-till-nek nem volt jelentős hatása a fumonizin szennyezettségre, részben viszont ellenkezik: ebben a tanulmányban azt az eredményt kapták, hogy a nitrogéntrágyázás szignifikánsan növeli a szemek fumonizintartalmát (MAROCCO et al., 2008). VÁRI és PEPÓ (2011) kutatásukban szintén találtak összefüggést a trágyázás mértéke, és a csőfuzárium-fertőzöttség között, a tőszám viszont nem mutatott kapcsolatot a betegség elterjedésével. Ausztriában 17 cm, 24 cm, 30 cm mély szántással, azonos mélységű lazítással, valamint 10 cm mély talajmaróval végzett talajművelés esetén vizsgálták a kukorica csőfuzáriózist

megjelenését, valamint a DON tartalmat, a tanulmány itt sem mutatta ki a talajművelés hatását (STEINKELLNER et al., 2002).

ANYAG ÉS MÓDSZER

A kísérletben használt hibridek bemutatása

Három különböző érésidejű hibrid alkalmazásával történt a kísérlet beállítása. A legkoraibb a Loupiac nevet viseli, FAO száma 380, terméspotenciálja 15-16 t/ha, növénymagassága az átlagostól kissé alacsonyabb, a csövek alacsonyan helyezkednek el, állóképessége kitűnő, a csöveken 16-18 sor található. A következő a FAO 420-as Fornad, amely 16 t/ha fölötti terméspotenciállal rendelkezik, átlagos növénymagasságú, a csövek az átlagostól alacsonyabban helyezkednek el, kitűnő állóképességű, csövein 16-18 sor helyezkedik el. A légkésőbbi érésidejű hibrid az Armagnac, FAO száma 490, terméspotenciálja meghaladja a 16 t/ha-t, növénymagassága az átlagnál magasabb, a csövek elhelyezkedése átlagos, kitűnő állóképességgel rendelkezik, csövein 14-16 sort számolhatunk meg (KITE, 2022).

A kísérlet elrendezése

Minden művelésben a hibridekből 4 gépalj (mely a statisztikai ismétléseket adja) került vetésre randomizálva, amelyek elrendezése az 1. táblázatban látható. Egy parcella területe 4,5m*120m.

1. táblázat: A parcellák elrendezése

Szántás		Redukált lazítás		Talajvédő lazítás		Sávos művelés	
1	Fornad	1	Loupiac	1	Armagnac	1	Fornad
2	Armagnac	2	Fornad	2	Loupiac	2	Loupiac
3	Loupiac	3	Armagnac	3	Fornad	3	Armagnac
4	Loupiac	4	Armagnac	4	Fornad	4	Fornad
5	Fornad	5	Loupiac	5	Loupiac	5	Armagnac
6	Armagnac	6	Fornad	6	Armagnac	6	Loupiac
7	Armagnac	7	Fornad	7	Fornad	7	Loupiac
8	Loupiac	8	Loupiac	8	Armagnac	8	Fornad
9	Fornad	9	Armagnac	9	Loupiac	9	Armagnac
10	Fornad	10	Fornad	10	Loupiac	10	Armagnac
11	Loupiac	11	Armagnac	11	Fornad	11	Loupiac
12	Armagnac	12	Loupiac	12	Armagnac	12	Fornad

Forrás: Saját szerkesztés, 2022

Talajművelési eljárások

A talajművelések elnevezéséhez tartozó elvégzett műveleteket és alkalmazott művelőeszközöket a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat: A talajművelési eljárások

	Szántás	Redukált lazítás	Talajvédő lazítás	Sávós művelés
Alapművelés ősszel	Rabe Kormoran eke	Disk Ripper 2720 tárcsás lazító	Rabe Digger egyenes késes lazító	Orthman sávós talajművelő
Magágykészítés tavasszal	Rabe Sturmvogel kombinátor	Rabe Sturmvogel kombinátor	Rabe Sturmvogel kombinátor	Rabe Sturmvogel kombinátor

Forrás: Saját szerkesztés, 2022

Endofuzáriózis vizsgálat módszere

A minták belső fuzáriumfertőzöttségét a Debreceni Egyetem Növényvédelmi Intézetének táptalaj laborjában vizsgáltuk. Minden mintából 20 szemet helyeztünk le külső fertőtlenítést követően nagy méretű üveg Petri-csészébe kiöntött PDA táptalajra (4. ábra). A kukoricaszemeket 5 percre Neomagnol tablettát és Tween 20 felületi feszültség csökkentő oldatot tartalmazó desztillált vízben áztattuk, majd a táptalajra helyezést megelőzően steril vízben átmostuk. A baktériumok tenyésztését megelőzve a visszahűtött táptalajhoz streptomycin-szulfát antibiotikumot adtunk. Egyes mintákban inkubálás során felszaporodott a *Fusarium* fajoknál intenzívebben növekedő valamely *Mucoraceae* faj, amely ellehetetlenítette volna a tiszta tenyészetek előállítását, ennek kiküszöbölésére pentaklór-nitrobenzolt (PCNB) oldottunk a táptalajba, amely gátolja a *Mucor* fajok növekedését, de nincs hatása a toxintermelő gombákra (PAPAVIZAS, 1967). A magok táptalajra történő lehelyezését követően a Petri-csészéket Parafilm fóliával lezártuk, és 5 napra laboratóriumi termosztát szekrénybe helyeztük, ahol 25 °C-on inkubáltuk. Inkubálást követően megszámloltuk, hogy az egyes mintákban hány darab *Fusarium* és egyéb gomba növekedett a kukoricaszemekből.

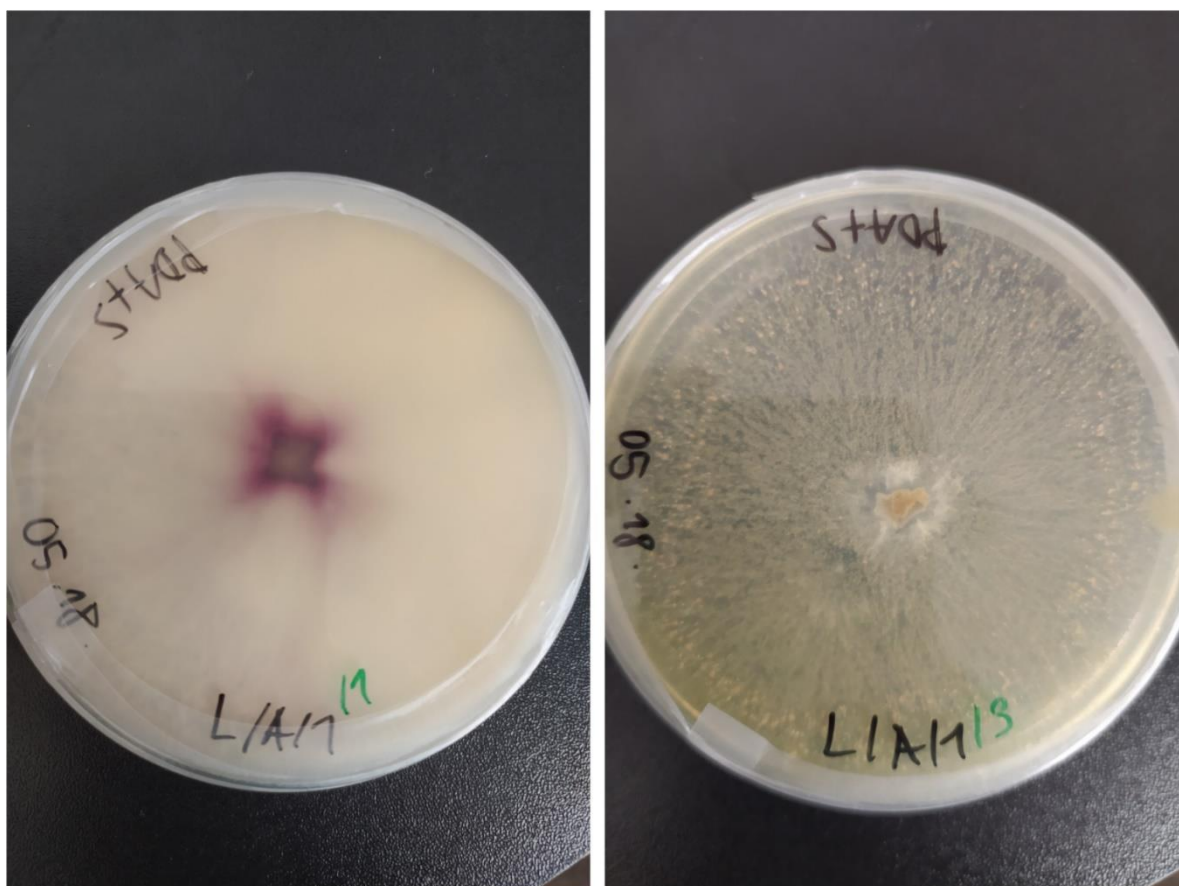


4. ábra: **Endofuzáriózis vizsgálat**

Forrás: Saját képek, 2022

PCR vizsgálatok módszere

A kukoricaszemekből fejlődött különböző telepmofológiájú *Fusarium* és egyéb gombákból tiszta tenyészeteket készítettünk (5. ábra). A kiválasztott telepekből egy körülbelül 0,5 cm x 0,5 cm nagyságú négyzetet kimetszettünk, és a hifákkal benőtt felével egy kis méretű műanyag Petri-csészébe kiöntött PDA táptalajra helyeztük, ezt követően 8 napig 25 °C-on laboratóriumi termosztát szekrényben inkubáltuk. A gombákból a DNS-t Macherey-Nagel NucleoSpin Plant II készlettel vontuk ki. A kivonást követően a minták genomi koncentrációját NanoDrop 2000/2000c spektrofotométerrel mértük. A reakcióhoz a gombák esetén általánosan alkalmazott ITS1-ITS4 primereket használtuk (LUO – MITCHELL, 2002). A genom meglétét és tisztaságát gélelektroforézissel ellenőriztük. A felszaporított szekvenciák bázissorendjét az ausztriai Microsynth Austria határozta meg génszekvenálással.



5. ábra: *Fusarium* (balra) és *Aspergillus* (jobbra) tiszta tenyészet

Forrás: Saját képek, 2022

Fumonizin B₁, B₂, B₃, B₄, és DON tartalom mérésének módszere

A kukoricaminták fumonizin B₁, B₂, B₃, B₄ és DON tartalmának mérését HPLC-ESI-MS módszerrel végeztük. Mintaelőkészítés során 5 g kukoricamintát mértünk be 5 ml-es centrifugacsőbe, majd erre 60:40 arányú acetonitril:víz elegyből töltöttünk 20 ml-t. Összeráztuk a centrifugacső tartalmát, 10 percig ultrahangoztuk, amelyet 2 óra átfordulós keverővel történő extrakció követett, majd ismét 10 percig ultrahangoztuk, végezetül a mintákat 10000 RPM fordulatszámon 10 percen keresztül centrifugáltuk. A well plate-be való kiszerelés után a felülúszóból közvetlenül injektáltunk. A következő lépés a kalibrációs minták elkészítése volt. DON törzsoldat készítéséhez 500 ng DON-t tartalmazó szűkített, 300 µl-es fiolába 200 µl vakmintát raktunk, amely olyan előkészített kukorica felülúszója, amely előzetesen megvizsgálva nem tartalmazott DON-t. A fiolát összeráztuk, 5 percig ultrahangoztuk, majd ismételtelen összeráztuk. Koncentrációja 10 ng/4µl. Ebből kétszeres hígításokkal - 100 µl aktuális oldat + 100 µl vakminta - szűkített fiolákba a következő kalibrációs pontokat

készítettük el: 5 ng/4µl; 2,5 ng/4µl; 1,25 ng/4µl; 0,625 ng/4µl; 0,3125 ng/4µl. Ezekből készült a kalibrációs görbe. Belső st: 500 ng ¹³C DON + 100 µl oldószer (MeCN:H₂O 1:1). Ebből 1 µl lett hozzászívva minden egyes mintához a mintaadagoló segítségével, injektáláskor (5 ng/µl). Fumonizin B₁-B₄ törzsoldat készítése során 100 µg fumonizin B₁-B₄-et tartalmazó 1,5 ml-es fiolába 1 ml vakmintát tettünk, a fiolát összeráztuk, 5 percig ultrahangoztuk, majd ismét összeráztuk. Koncentráció: 400 ng/4µl. Ebből kétszeres és tízszeres hígítással majd a tízszeresen hígított oldatok szintén kétszeres és tízszeres hígításaival a következő kalibrációs pontokat készítettük el: 200 ng/4µl; 40 ng/4µl; 20 ng/4µl; 4 ng/4µl; 2 ng/4µl; 0,4 ng/4µl 0,2 ng/4µl. Belső st: 500 ng ¹³C FB₁ + 100 µl oldószer (MeCN:H₂O 1:1). Ebből 1 µl lett hozzászívva minden egyes mintához a mintaadagoló segítségével, injektáláskor (5 ng/µl). Mérési módszer: HPLC-ESI-MS (HPLC: Agilent 1100; MS: Agilent 1946D)

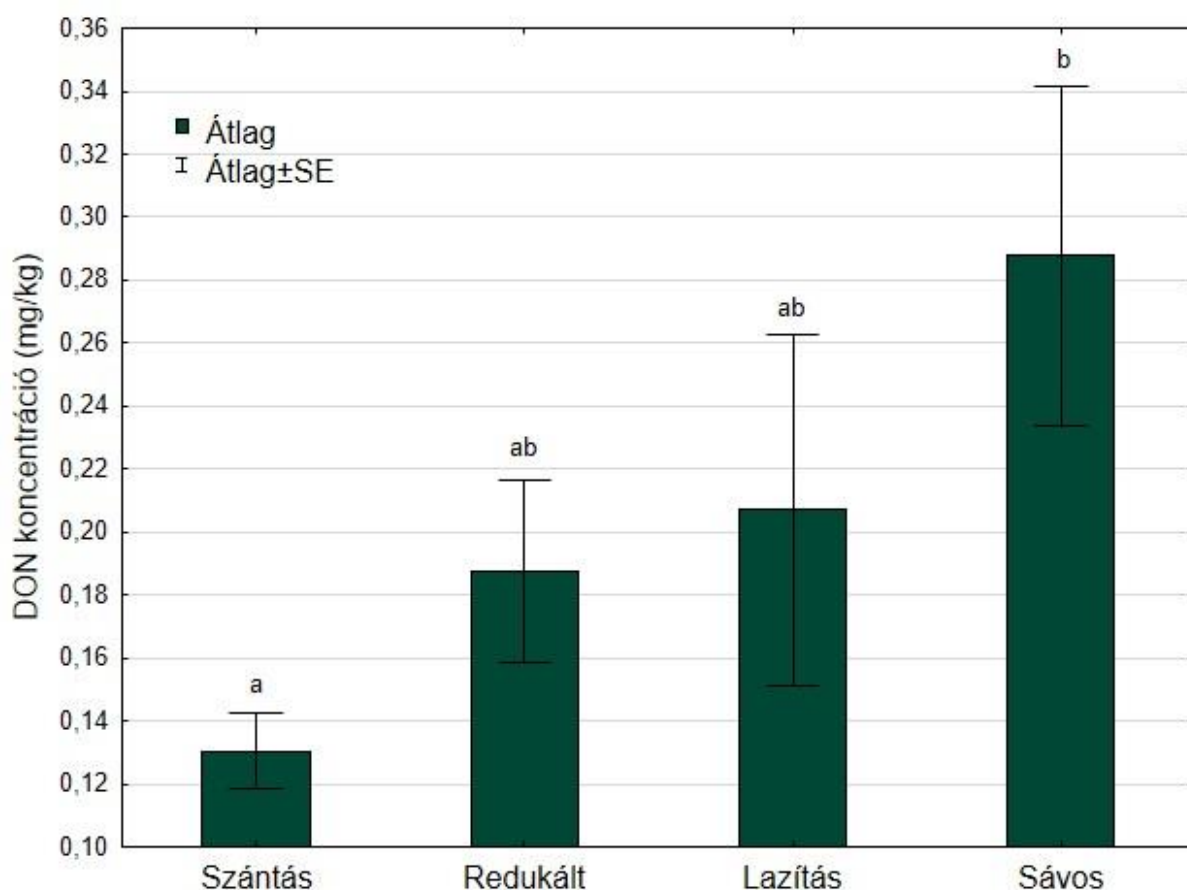
Statisztikai elemzés

Az adatok rendezéséhez a MS Excel 2016 és a Statsoft Statistica 10 szoftvereket, a statisztikai vizsgálatok elvégzéséhez és az eredmények megjelenítéséhez a Statsoft Statistica 10 programot használtuk. Mért adataink nem mutattak normáeloszlást, így nem parametrikus vizsgálatot, Kruskal-Wallis tesztet alkalmaztunk, melyet Mann-Whitney U tesztel erősítettünk meg páronkénti összevetésként.

EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

A talajművelések DON tartalomra gyakorolt hatása 2020-ban

2020-ban nem volt számottevő a minták fumonizin tartalma, a DON viszont értékelhető nagyságrendű, ezért erre vizsgáltuk az adatokat. A hibridek DON tartalma között statisztikailag igazolható különbség nem volt kimutatható.



6. ábra: A DON koncentráció és a művelések függvényében 2020-ban

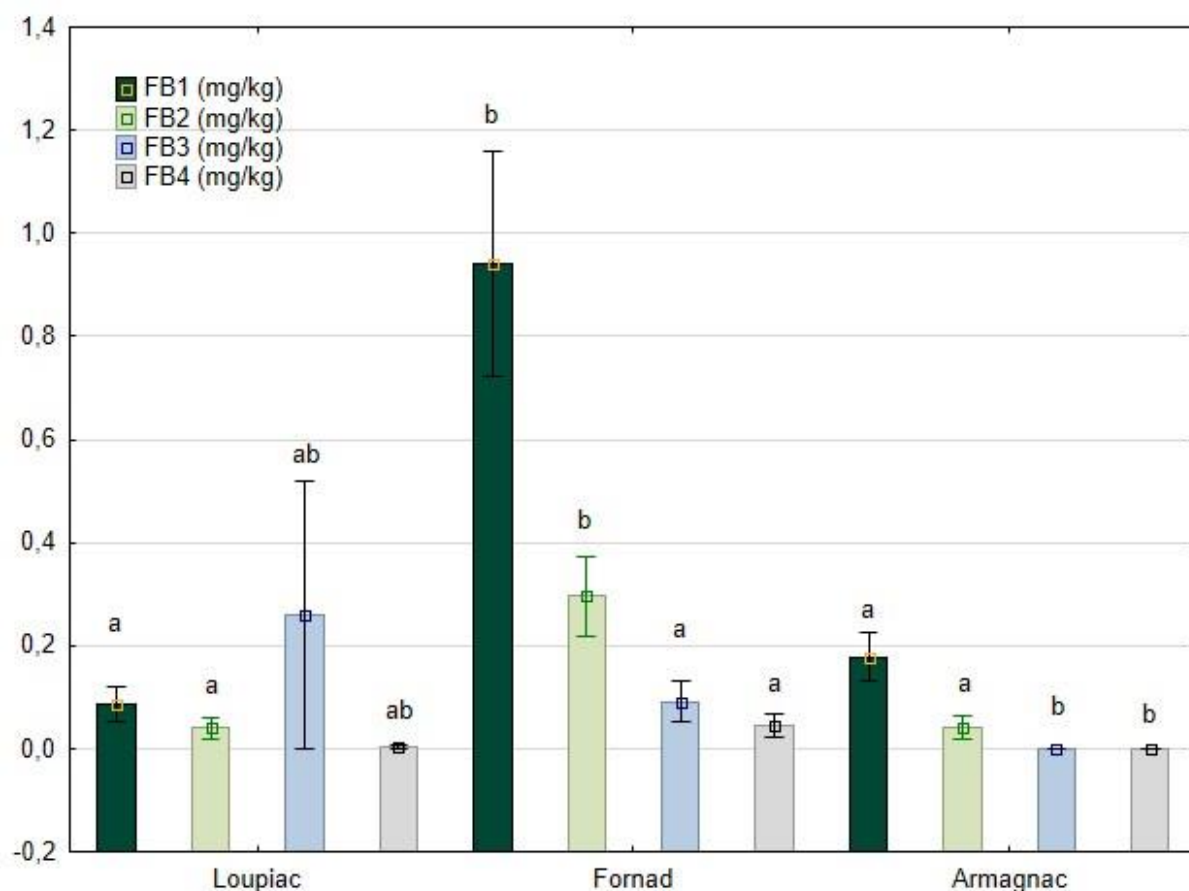
Forrás: Saját szerkesztés, 2022

A 2020-as DON szintek nem mutattak normál eloszlást, ezért nemparametrikus vizsgálatként Mann-Whitney U tesztet végeztünk páronkénti összevetésben, melynek eredményeit betűkkel szemléltetjük 6. ábrán. A legalacsonyabb DON szinteket a szántásra alapozott talajművelésből származó mintákból mértük, amelyek statisztikailag igazolhatóan alacsonyabbak voltak, mint a sávós művelésből származó kukoricaminták toxinszintjei. A redukált és sávós talajművelésből származó kukoricák DON szintjei statisztikailag igazolhatóan nem különböznek egymástól, sem a forgatásos, és a sávós talajműveléstől, a redukált kis mértékben szennyezettebb volt a lazítással kezeltnél, a sávós volt a legszennyezettebb. Ez az

eredmény ellent mond STEINKELLNER et al. 2002-es kutatásának, ahol a talajművelésnek nem volt hatása a kukoricaszemek DON szennyezettségére. A vizsgált minták mindegyike alatta volt a feldolgozatlan kukoricára vonatkozó 1750 µg/kg határértéknek. A hibridek között nem volt szignifikáns különbség a DON tartalomra vonatkozóan.

A hibridek és a talajművelések fumonizintartalomra gyakorolt hatása 2021-ben

2021-ben nem volt figyelemre méltó a DON szennyezettség mértéke, a fumonizinszintek azonban értékelhetők, ezért ebben az évben a B-csoportba sorolt fumonizinekre szintjeit vizsgáltuk a hibridek és a művelésmódok tükrében.

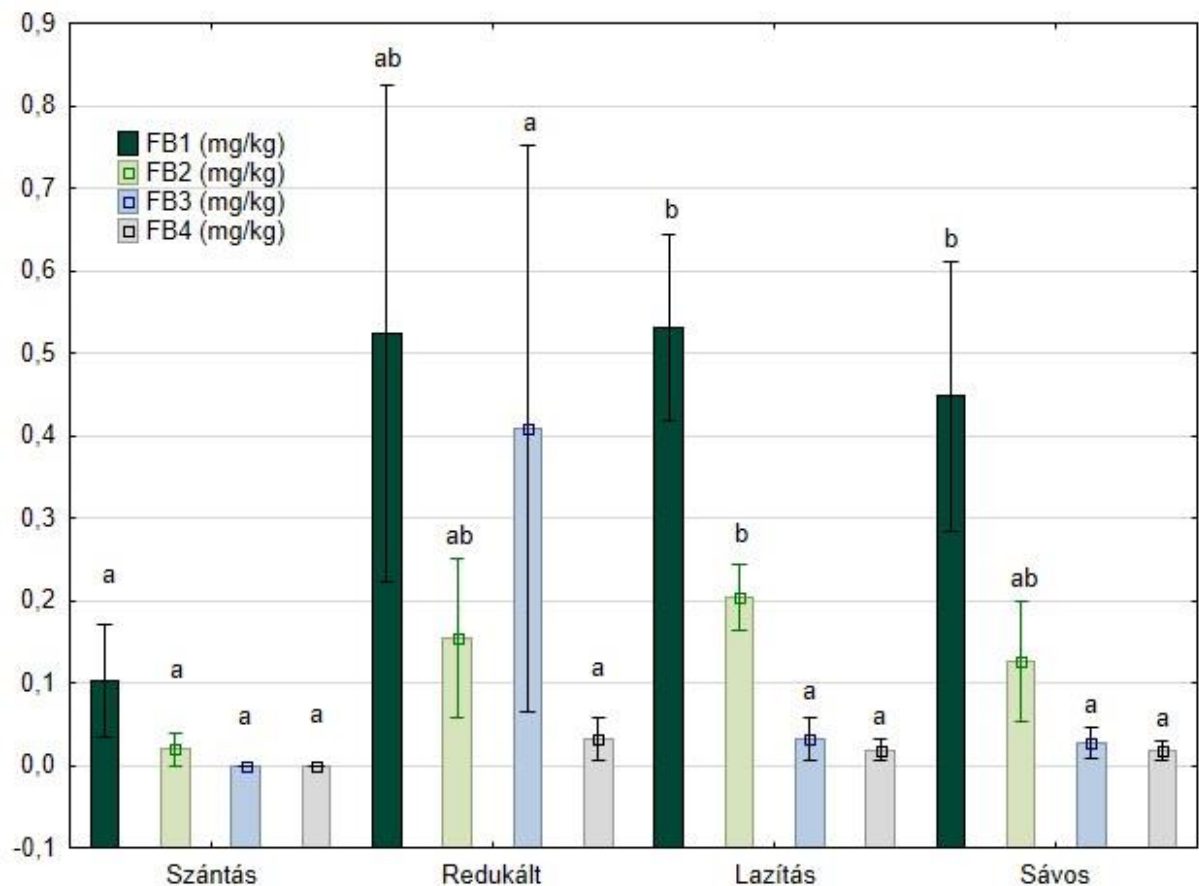


7. ábra: A FUM koncentráció a hibridek összevetésében 2021-ben

Forrás: Saját szerkesztés, 2022

A 2021-es fumonizinszintek nem mutattak normál eloszlást, ezért Mann-Whitney U tesztet végeztünk páronkénti összehasonlításban mind a hibridek, mind a művelések hatásának összevetésénél, ennek eredményeit betűkel jelöljük a 7. és 8. ábrán. Először a hibridek érzékenységét hasonlítottuk össze a talajműveléseket állandónak véve, aminek az eredményét a 7. ábra mutatja. Fumonizin B₁ esetében a Loupiac és Armagnac szennyezettsége

statisztikailag igazolhatóan alacsonyabb volt a Fornadnál, egymástól statisztikailag igazolhatóan nem különböztek. Fumonizin B₂ vonatkozásában a B₁-hez hasonlóan a Loupiac és Armagnac toxinszintjei voltak a legalacsonyabbak, egymástól statisztikailag igazolhatóan nem különböztek, a Fornad szintjei statisztikailag igazolhatóan magasabbak voltak a kísérletben vizsgált másik két hibridnél. Fumonizin B₃ estében az Armagnac hibridből gyűjtött minták toxintartalma statisztikailag igazolhatóan alacsonyabb volt a Fornadnál. A Loupiac toxintartalma volt a legmagasabb, az adatok nagy szórása miatt azonban statisztikailag igazolhatóan nem különbözött a kísérletben vizsgált másik két hibridtől. Fumonizin B₄ esetében az Armagnac toxintartalma statisztikailag igazolhatóan alacsonyabb volt a Fornadnál, a Loupiacot összevetve az Armagnaccal és Fornaddal nem mutatható ki statisztikailag igazolható különbség.



8. ábra: A FUM koncentráció és a művelések összevetésében 2021-ben

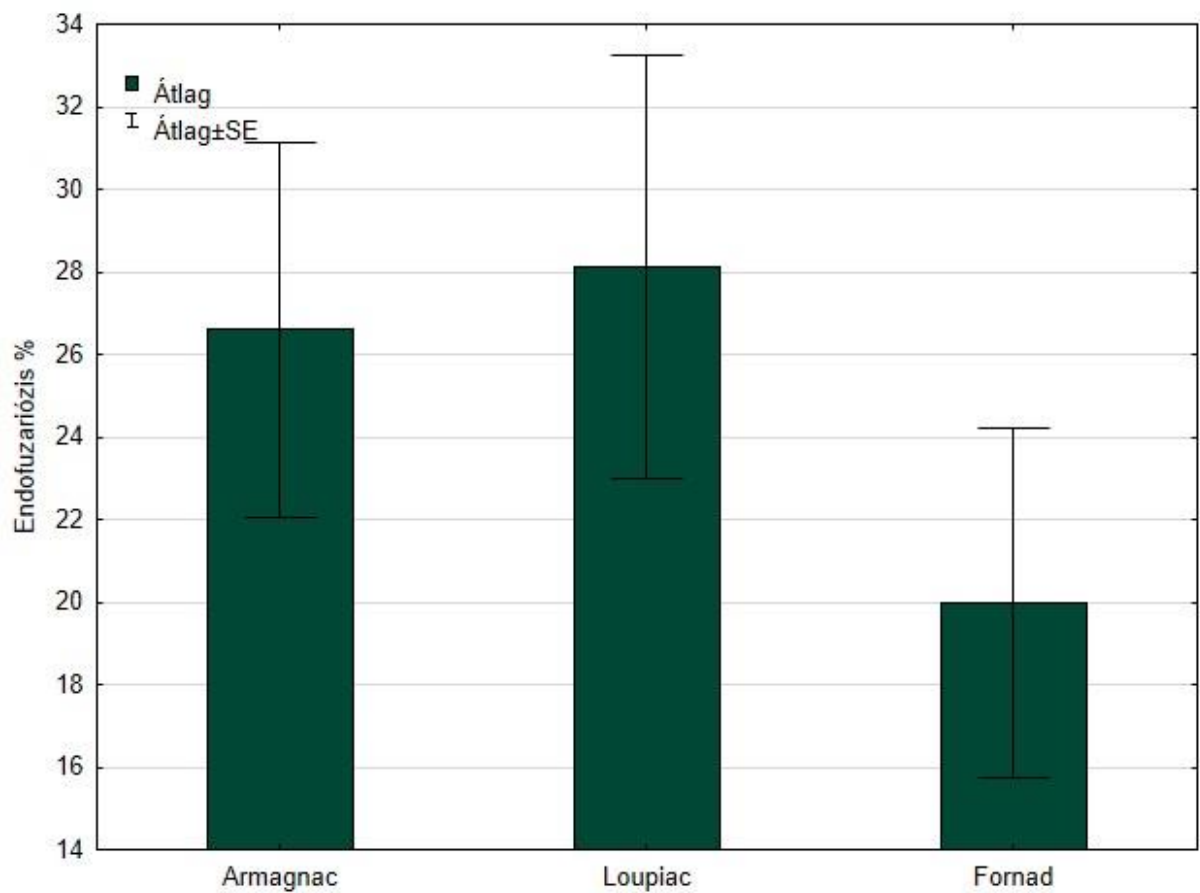
Forrás: Saját szerkesztés, 2022

A hibridek fumonizintartalommal kapcsolatos érzékenységének vizsgálatát követően a talajművelések hatását értékeltük. Ahogyan a 8. ábrán is látható, az alkalmazott kezelések közül a szántás eredményezte a legalacsonyabb toxintartalmakat a vizsgált fumonizinek esetében. A

lazítással és a sávós műveléssel kezelt kukoricák fumonizin B₁ szintjei statisztikailag igazolhatóan magasabbak voltak a szántás toxintartalmánál, egymástól nem különböztek, a redukált talajművelés fumonizin B₁ tartalma a szántásnak több, mint ötszöröse volt, azonban az adatok nagy szórása miatt statisztikailag igazolhatóan nem különbözött attól, sem a kísérletben vizsgált másik két talajműveléstől. Fumonizin B₂ vonatkozásában a szántás a lazításra alapozott talajműveléstől statisztikailag igazolhatóan alacsonyabb toxintartalmat ért el, a redukált és sávós művelés egymástól, illetve a másik két talajműveléstől statisztikailag igazolhatóan nem különbözött. A kísérletben vizsgált minden minta FUM tartalma a feldolgozatlan kukoricára vonatkozó határérték, FB₁ és FB₂ együttesen 4000 µg/kg alatt volt. A Fumonizin B₃ esetében a redukált műveléssel kezelt kukoricák szennyezettsége többszöröse volt a másik három talajművelésnek, statisztikai vizsgálattal alátámasztható különbség azonban nem mutatható ki közöttük. Fumonizin B₄ vonatkozásában minden talajművelés alacsony toxinszinteket ért el, közöttük statisztikailag igazolható különbség nem mutatható ki. Vizsgálatunk ezen eredménye ellentmond azoknak a szakirodalomban megjelent cikkeknek, amelyek arról számolnak be, hogy a különböző talajművelések nem befolyásolták a kukoricaszemek FB₁ és FB₂ tartalmát (MAROCCO et al., 2008; MAROCCO et al., 2009).

A hibridek és a talajművelések endofuzáriózisa gyakorolt hatása 2020-ban

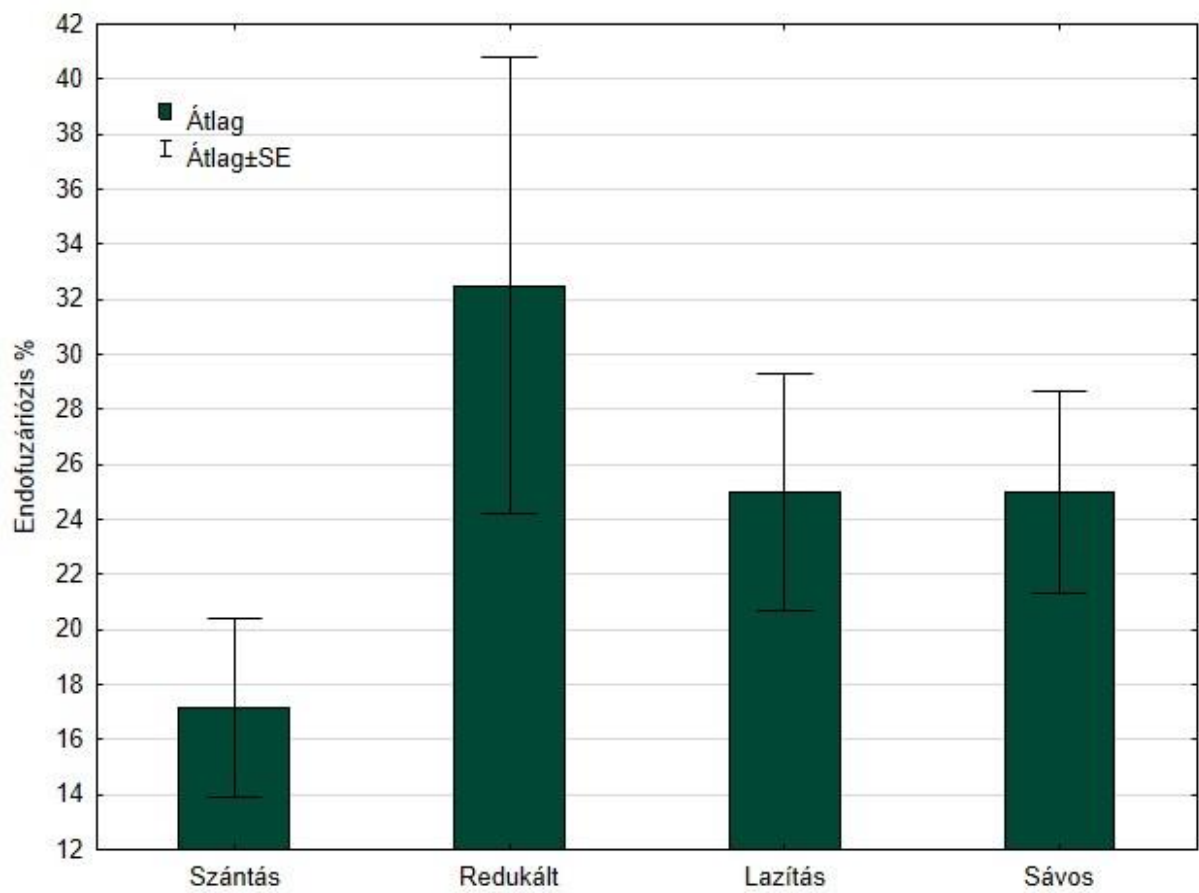
A 2020-as minták belső fuzárium fertőzöttségi szintjei és DON tartalmai között nem volt korreláció.



9. ábra: **Az endofuzáriózis mértéke a különböző hibridekben 2020-ban**

Forrás: Saját szerkesztés, 2022

A kísérletben használt hibridek érzékenysége között az endofuzáriózissal kapcsolatban a 2020-as adatok alapján nem volt statisztikailag igazolható különbség, a legalacsonyabb fertőzöttségi százalékot a Fornad érte el, nála magasabb, közel azonos szintet produkált a Loupiac és az Armagnac (9. ábra).



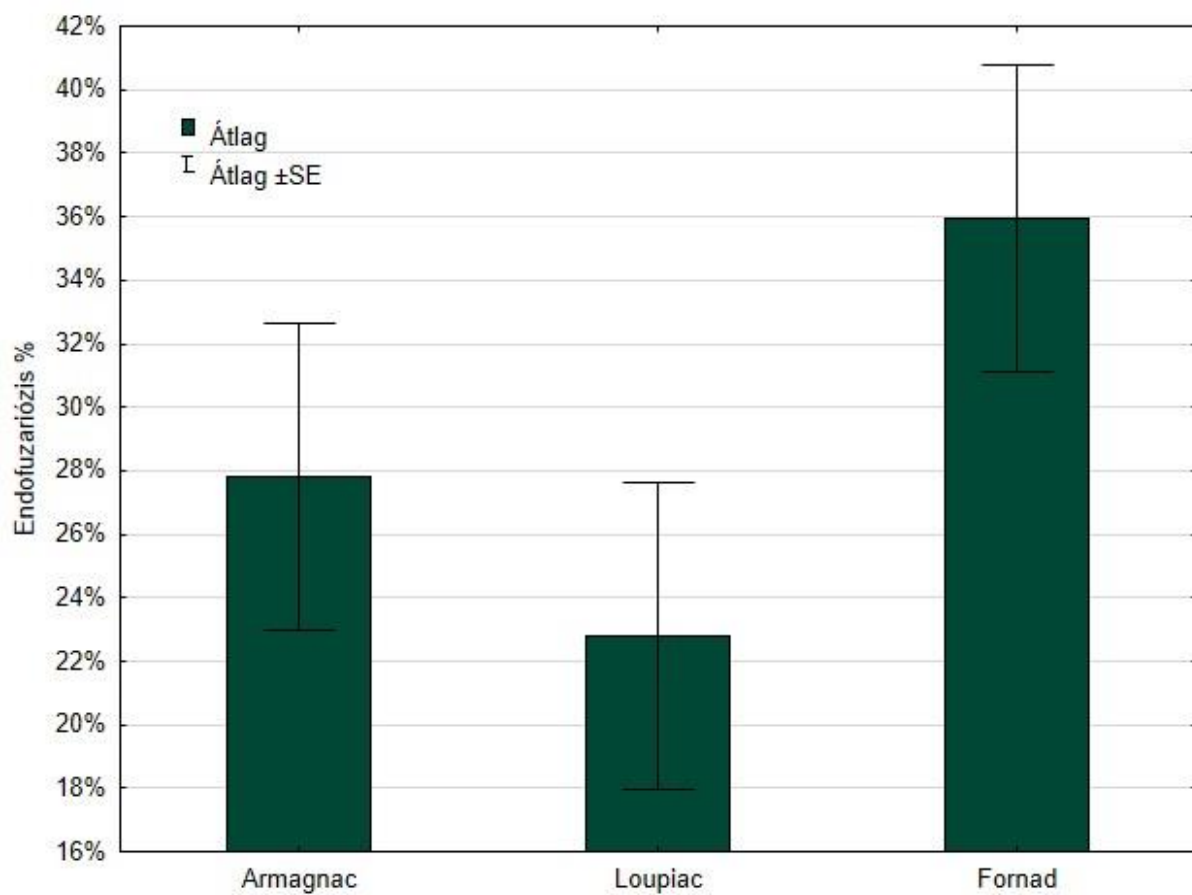
10. ábra: **Az endofuzáriózis mértéke a különböző művelésekben 2020-ban**

Forrás: Saját szerkesztés, 2022

A talajművelések közül a szántásra alapozott kezelés érte el a legalacsonyabb arányú endofuzárium fertőzöttséget, magasabb, közel azonos szintet produkált a lazítás és a sávós művelés, a legszennyezettebb pedig a redukált műveléssel kezelt kukorica volt, azonban statisztikailag igazolható különbség a művelések között az endofuzáriózis tekintetében nem volt (10. ábra).

A hibridek és a talajművelések endofuzáriózusra gyakorolt hatása 2021-ben

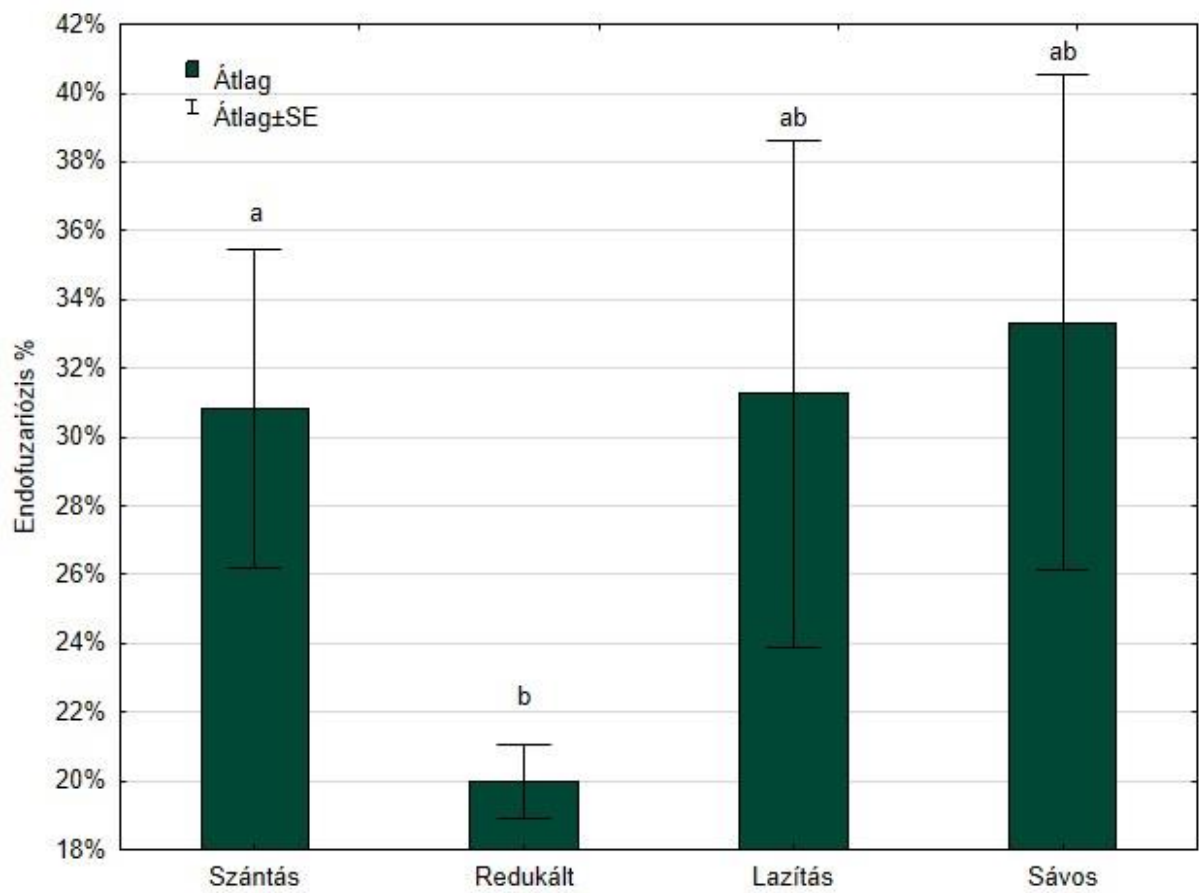
2021-ben fumonizin toxinokkal voltak szennyezettek a minták, ezeket az eredményeket összevetettük a belső fuzárium fertőzöttségi arányokkal, közöttük korrelációt nem találtunk.



11. ábra: **Az endofuzáriózis mértéke a különböző hibridekben 2021-ben**

Forrás: Saját szerkesztés, 2022

Ahogy azt a 11. ábra mutatja, 2021-ben a Fornad hibrid endofuzárium fertőzöttségi százaléka volt a legmagasabb, alacsonyabb volt az Armagnac, legalacsonyabb arányt pedig a Loupiac érte el, statisztikailag igazolható különbséget azonban nem mutatott ki a Kruskal-Wallis teszt a hibridek érzékenysége között.



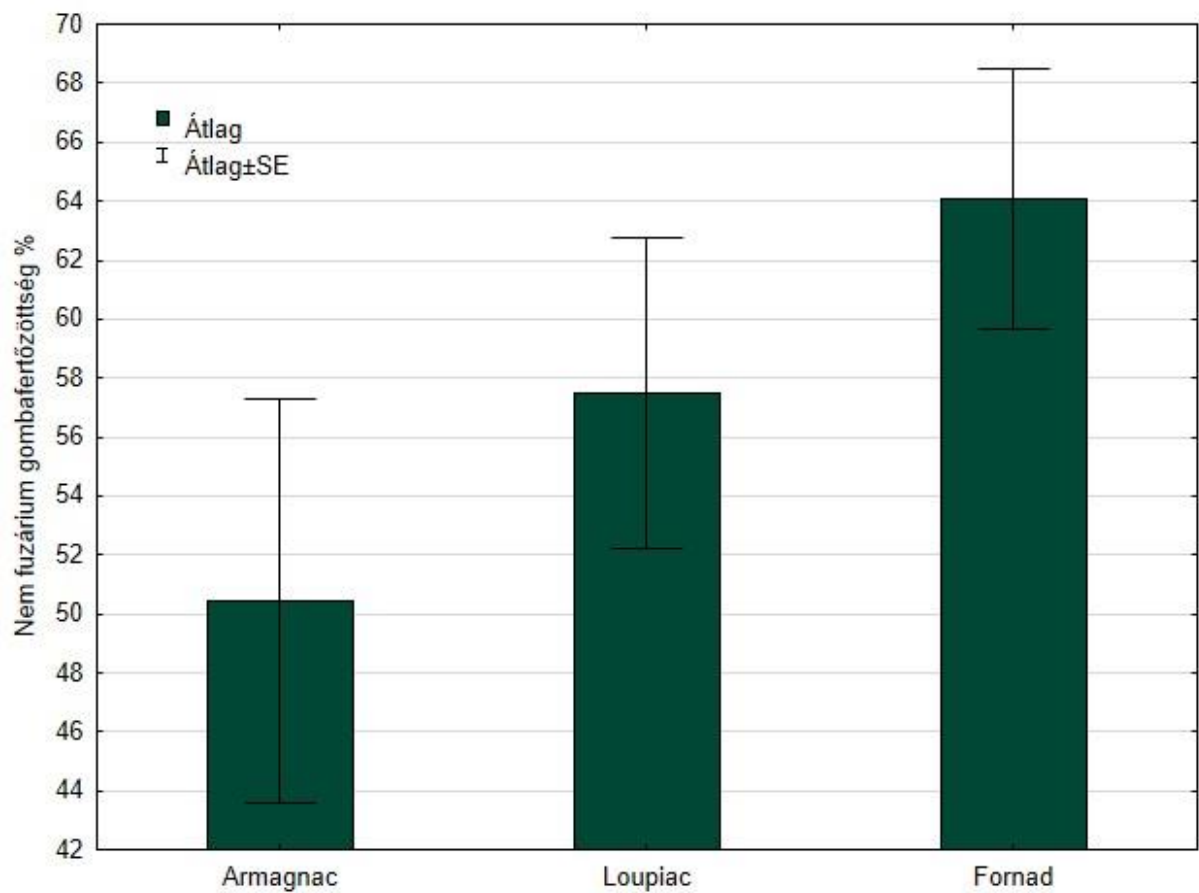
12. ábra: **Az endofuzáriózis mértéke a különböző művelésekben 2021-ben**

Forrás: Saját szerkesztés, 2022

Az endofuzáriózis vonatkozásában a talajművelések közül 2021-ben a redukált kezelés érte el a legalacsonyabb fertőzöttséget, ami statisztikailag igazolhatóan alacsonyabb volt, mint a szántás eredménye (12. ábra). A lazítás, sávós művelés és szántás statisztikailag igazolható módon nem különböztek egymástól.

A hibridek és a talajművelések nem fuzárium belső gombafertőzöttségre gyakorolt hatása 2020-ban

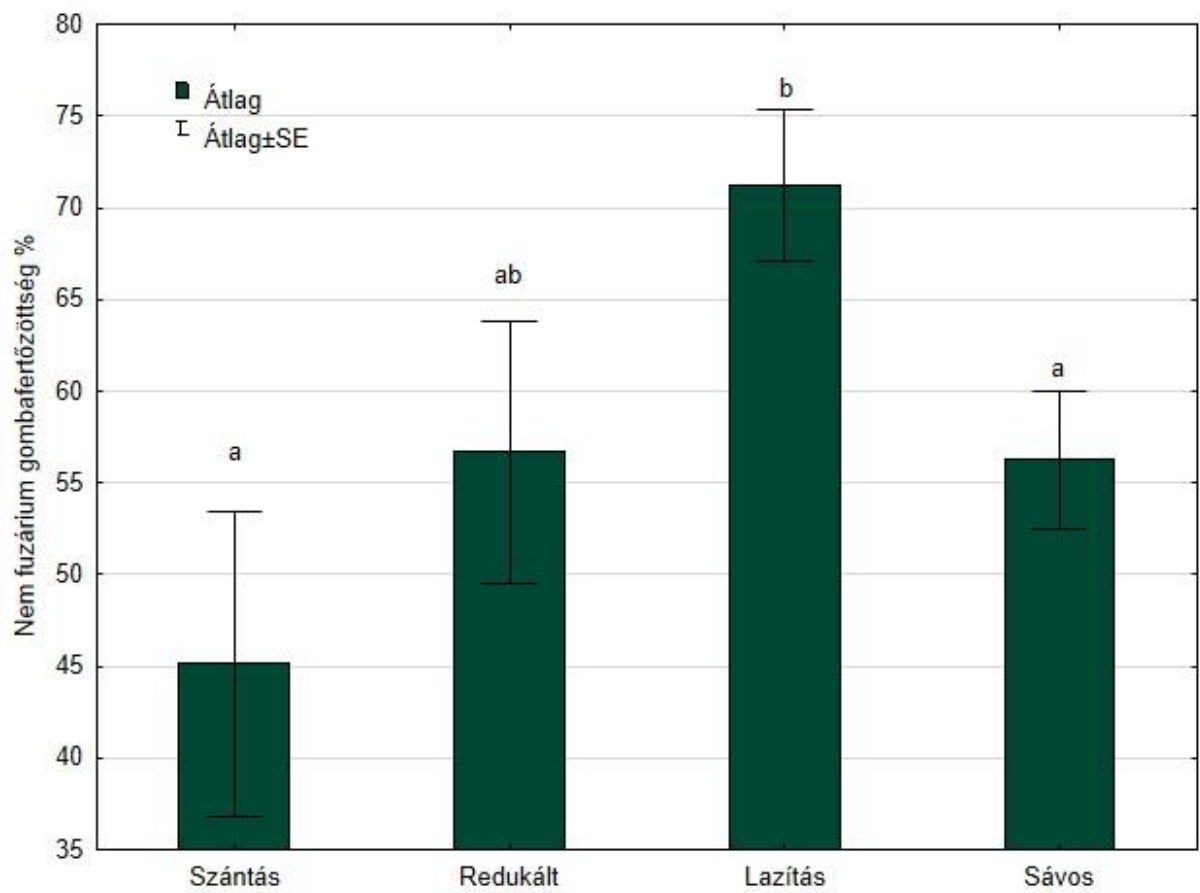
A fuzáriumon kívül megszámoltuk a mintákból kinövő egyéb gombákat is, amelyek közül telep morfológiai határozás, majd PCR vizsgálat alapján is az *Aspergillus* fajok voltak az uralkodóak.



13. ábra: **A nem fuzárium belső gombafertőzöttség a különböző hibridekben 2020-ban**

Forrás: Saját szerkesztés, 2022

A nem fuzárium gombafertőzöttség esetében a hibridek érzékenységében ahogyan a 13. ábra mutatja nem volt statisztikailag igazolható különbség, a legalacsonyabb fertőzöttségi százalékot magas szórással az Armagnac érte el, nála fertőzöttebb volt a Loupiac, a legfertőzöttebb pedig a Fornad.

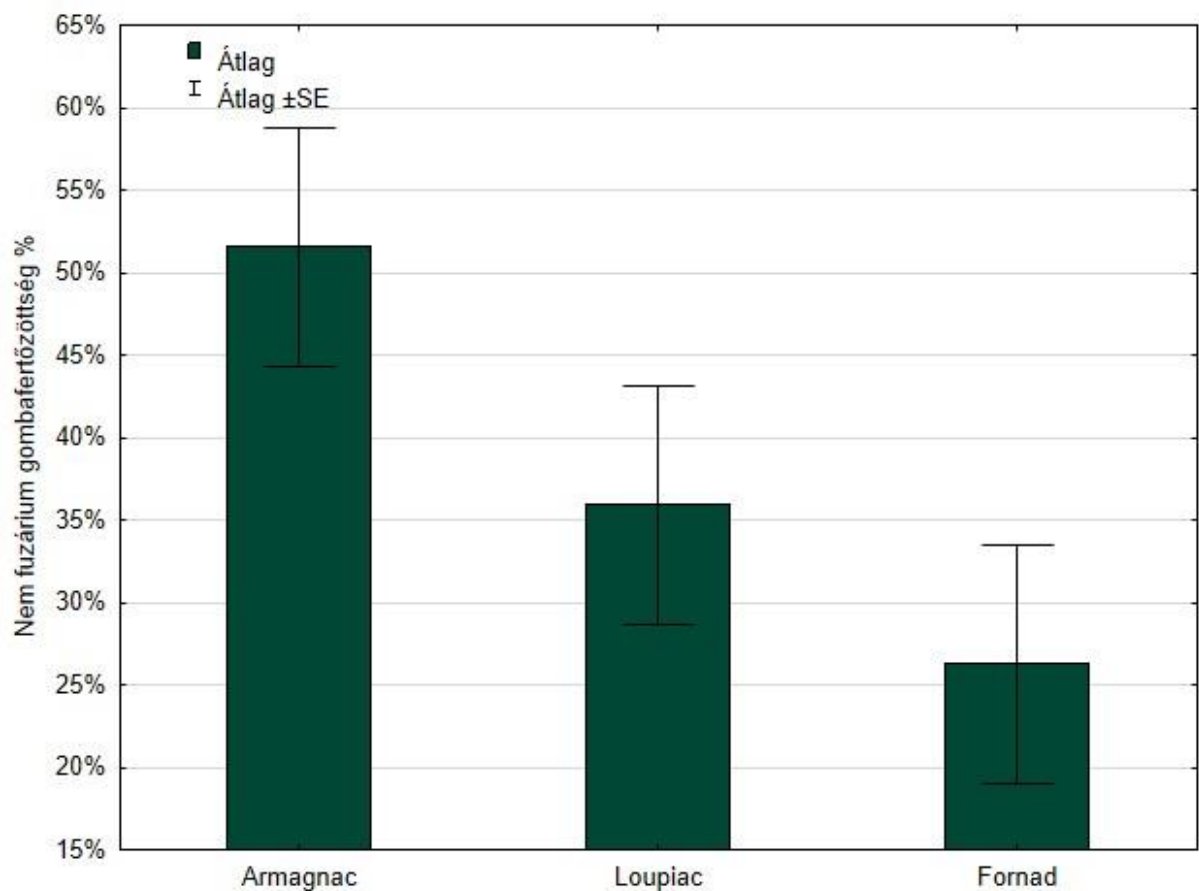


14. ábra: A nem fuzárium belső gombafertőzöttség a különböző művelésekben 2020-ban

Forrás: Saját szerkesztés, 2022

A talajművelések esetében a szántással és sávós műveléssel kezelt kukoricák statisztikailag igazoltan kevésbé voltak fertőzöttek nem fuzárium gombákkal, mint a lazítással kezelték, egymástól nem különböztek (14. ábra). A redukált művelés statisztikailag igazolhatóan nem különbözött a kísérletben vizsgált többi talajműveléstől.

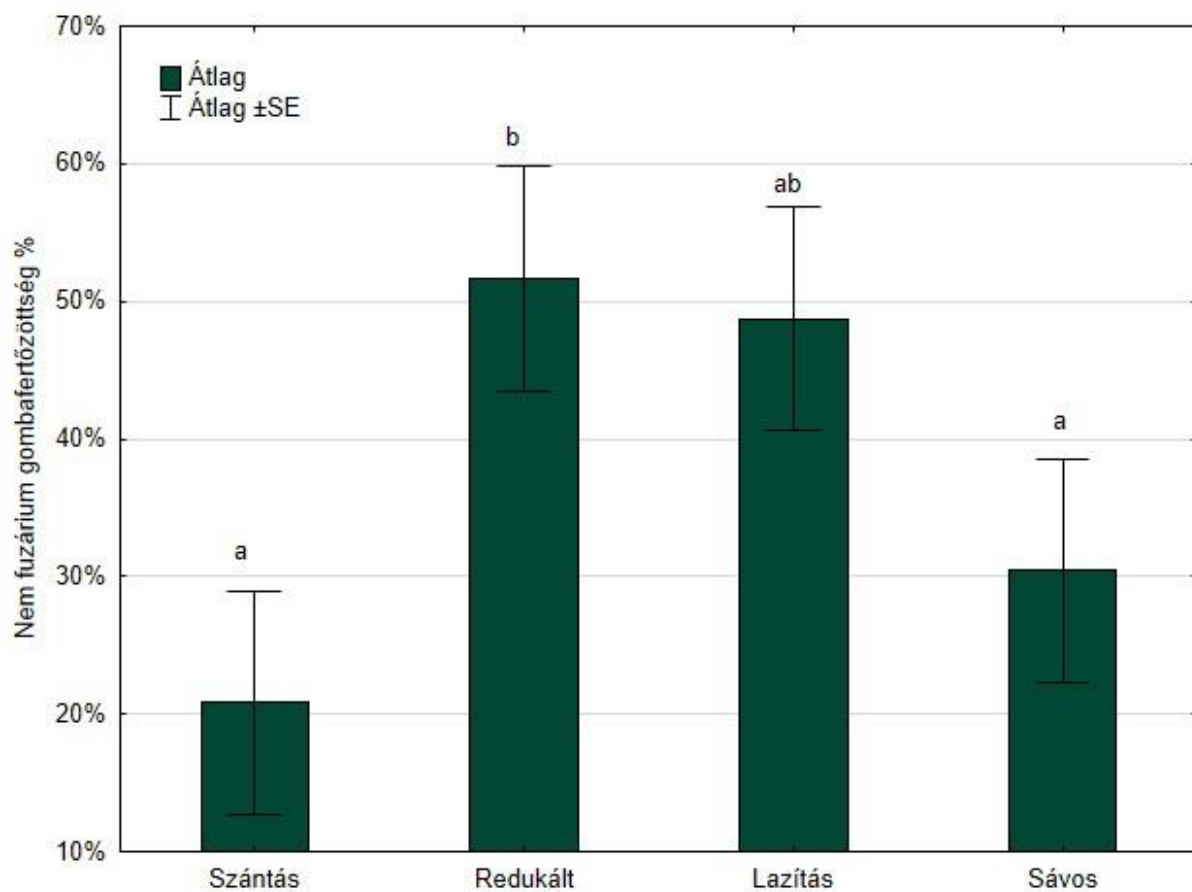
A hibridek és a talajművelések nem fuzárium belső gombafertőzöttségre gyakorolt hatása 2021-ben



15. ábra: A nem fuzárium belső gombafertőzöttség a különböző hibridekben 2021-ben

Forrás: Saját szerkesztés, 2022

A hibridek közül a szemek belső nem fuzárium gombafertőzöttsége a Fornad esetében volt a legalacsonyabb, magasabb volt a Loupiac, legmagasabb pedig az Armagnac, ezek a különbségek azonban nem statisztikailag igazolható szintűek (15. ábra).



16. ábra: A nem fuzárium belső gombafertőzöttség a különböző művelésekben 2021-ben

Forrás: Saját szerkesztés, 2022

Ahogy az a 16. ábra szemlélteti, 2021-ben a talajművelések közül 2020-hoz hasonlóan a szántás teremtette a legkedvezőtlenebb feltételeket a nem fuzárium gombák belső fertőzésére. A szántás és a sávós művelés fertőzöttségi százaléka statisztikailag igazolhatóan alacsonyabb volt a redukált műveléstől, egymástól nem különböztek. A lazítás statisztikailag igazolható módon nem különbözött a másik három kezeléstől.

A PCR vizsgálat eredménye

A kukoricamintákból kinövő gombák egy részéből PCR vizsgálatot végeztünk, felszaporított szekvenciák meglétét és tisztaságát gélelektroforézissel ellenőriztük. A szekvenálás eredményét az NCBI GenBank adatbázisában (SAYERS et al., 2022) BLAST kereséssel identifikáltuk (BORATYN, 2019), aminek a kimenetét, valamint a DNS kivonás produktumát a 3. táblázat tartalmazza. Az RF32, RL42, SF1 és SF2 izolátumoknál nincs azonosított faj feltüntetve, náluk nem sikerült a PCR reakció.

3. táblázat: A DNS kivonás eredménye és az azonosított fajok/fajcsoportok

Izolátum neve	Nukleinsav koncentráció (ng/μl)	Azonosított faj(ok)
LA11	8,1	<i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Fusarium sp.</i>
LA12	12	<i>Aspergillus clavatus</i>
LA13	30,5	<i>Aspergillus flavus</i> , <i>A. oryzae</i>
LA14	79,4	<i>Aspergillus clavatus</i> , <i>A. terreus</i> , <i>A. amstelodami</i>
LA21	4,5	<i>Aspergillus clavatus</i>
LA22	10,1	<i>Aspergillus clavatus</i>
LA23	25,2	<i>Fusarium sp.</i>
LA24	20,3	<i>Aspergillus clavatus</i> , <i>A. terreus</i> , <i>A. niger</i>
LA25	7,2	<i>Aspergillus clavatus</i> , <i>A. terreus</i> , <i>A. amstelodami</i>
LA26	6,4	<i>Fusarium sp.</i>
LA31	29,6	<i>Aspergillus flavus</i> , <i>A. oryzae</i> , <i>A. austwickii</i>
LA32	11,3	<i>Aspergillus terreus</i>
LA4	20,3	<i>Aspergillus niger</i>
LF2	25,2	<i>Fusarium sp.</i>
LF41	6,1	<i>Aspergillus flavus</i> , <i>A. oryzae</i> , <i>A. austwickii</i>
LF42	52,1	<i>Fusarium sp.</i>
LL11	9,2	<i>Fusarium sp.</i>
LL12	42	<i>Talaromyces pinophilus</i> , <i>T. flavus</i>
LL13	147,4	<i>Talaromyces purpureogenus</i>
LL14	132,2	<i>Talaromyces purpureogenus</i> , <i>T. funiculosus</i> , <i>Penicillium funiculosum</i>
LL2	24,5	<i>Fusarium sp.</i> , <i>Gibberella sp.</i>
LL3	91,3	<i>Talaromyces pinophilus</i> , <i>T. flavus</i> , <i>Penicillium pinophilum</i>
LR2	38,6	<i>Aspergillus flavus</i>
LR31	80,8	<i>Fusarium oxysporum</i> , <i>F. verticillioides</i>
LR32	16,7	<i>Fusarium sp.</i>
LR33	16,9	<i>Fusarium sp.</i>
RA31	194,7	<i>Fusarium oxysporum</i> , <i>F. verticillioides</i>
RA32	17,7	<i>Fusarium sp.</i>
RF31	132,7	<i>Fusarium verticillioides</i>
RF32	0,2	
RF4	26,2	<i>Fusarium sp.</i>
RL41	16	
RL42	48,4	<i>Chaetomium elatum</i>
SA4	145,1	<i>Talaromyces pinophilus</i>
SF1	527,6	
SF2	40	

SF3	88,8	<i>Talaromyces purpureogenus</i> , <i>T. funiculosus</i> , <i>Penicillium funiculosum</i>
SZF2	1,3	<i>Mucor sp.</i> , <i>Mucor fragilis</i>
SZF3	35,4	<i>Fusarium sp.</i>
SZL1	5,6	<i>Fusarium sp.</i> , <i>Gibberella sp.</i>
SZL2	35,9	<i>Aspergillus clavatus</i>

Forrás: Saját szerkesztés, 2022

A PCR vizsgálat megerősíti, hogy az endofuzárium fertőzöttségbe valóban a *Fusarium* fajokat számoltuk bele, továbbá, hogy a nem fuzárium gombák jelentős része valamilyen *Aspergillus* faj.

KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Vizsgálatunk során az endofuzárium fertőzöttség gyakorisága és a toxintartalom között nem találtunk korrelációt. Az általunk használt módszer a szemek külső fertőtlenítésével történt, mivel ennek hiányában a fuzáriumnál intenzívebben növekedő gombák nőttek be a Petri-csészéket, így azonban csak a magok belső fertőzöttségét tudtuk felmérni. Érdeemes lehet egy hatékonyabb módszerrel, amelyhez nem szükséges a magok felületi fertőtlenítése újra megvizsgálni a szemek teljes fuzárium fertőzöttségét, majd ezek eredményét összevetni a toxinszennyezettséggel.

Ahogy 2020-ban a DON esetében, úgy 2021-ben a fumonizinek esetében is a szántásra alapozott talajművelés eredményezte a legalacsonyabb toxintartalmakat. Kísérletünk során a toxinszintek minden kezelés esetében a feldolgozatlan kukoricára vonatkozó megengedett határértékek, DON esetében 1750 µg/kg, fumonizin B₁ és B₂ esetében együttesen 4000 µg/kg alatt voltak, azonban olyan területeken, ahol probléma szokott lenni a toxintartalommal, vagy ha lehetőség van az alacsony toxintartalmú kukoricát magasabb áron eladni, a talajművelés tervezése során célszerű lehet számításba venni a szántás toxinszennyezettséggel kapcsolatos kedvező hatását.

Vizsgálatunk nem terjedt ki az aflatoxin szennyezettség mérésére, az endofuzáriózis vizsgálata során azonban számba vettük a nem fuzárium gombákat is, amelyek közül morfológiai tulajdonságok, majd PCR vizsgálat alapján is meghatározóak voltak az *Aspergillus* fajok. A belső nem fuzárium gombafertőzöttség a szántással és sávos műveléssel kezelt minták esetében volt a legalacsonyabb, ez összefüggésben lehet az aflatoxin szennyezettséggel, ennek az igazolására a toxintartalom mérése szükséges.

A kísérletben használt hibridek között egyedül 2021-ben a fumonizin szennyezettségek esetében találtunk statisztikailag igazolható különbséget, a Fornad FB₁ és FB₂ tartalma kiugróan magasabb volt a Loupiacnál és Armagnacnál. A szennyezettség a Fornad esetében is határérték alatt maradt. A fajták érzékenységéről ez alapján messzemenő következtetést nem vonhatunk, az több évjárat elemzését követelné, ugyanis a FAO számmal összefüggően az érzékenyebb fenofázisok tenyészidőszakon belül máskor fordulhatnak elő a kórokozók vagy a propagációban szerepet játszó molyok életciklusához képest.

A kukoricaszemekből kifejlődő gombatelepek egy részéből ITS1-ITS4 primerekkel PCR vizsgálatot végeztünk, ezek, a gombák esetében általánosan használt primerek a legtöbb esetben nem alkalmasak faj szintű meghatározásra. Fajspecifikus primerekkel elvégezve a

reakciót pontosan meghatározhatóak lennének a kukoricát megtámadó fuzárium és egyéb gombák, ezzel elemezni lehetne, hogy 2020-ban a toxin szennyezettségnek megfelelően túlsúlyban voltak-e a DON termelő, 2021-ben a FUM termelő fajok, továbbá, hogy van-e eltérés a hibridek érzékenysége között az egyes fajokra vonatkozóan, valamint, hogy hogyan befolyásolja az egyes fajok megjelenését az alkalmazott talajművelés.

A kísérlet eredményeiből levonható legfontosabb következtetés, hogy a hagyományos, forgatásra alapozott talajművelés csökkenti a kukorica DON és FUM szennyezettségét.

ÖSSZEFOGLALÁS

Magyarországon jellemzően a szántóterület negyedén minden évben kukoricát termesztünk, a búza mellett a legjelentősebb termesztett gabonanövényünk. Napjainkban a hagyományos, forgatásra alapozott talajművelést már sok helyen felváltotta a lazítás és a sávművelés, amelyek ellen előnyeik elismerése mellett ellenérvként szokott felmerülni, hogy alkalmazásuk esetén fokozott a különböző növényvédelmi problémák megjelenése. A kukorica egyik legjelentősebb növényvédelmi problémája a toxintermelő gombák, ezen belül a *Fusarium* fajok által okozott csőpenész, amelyek nem is a közvetlen mennyiségi termés kiesést okozó hatásuk, hanem az általuk termelt toxinok révén okozott minőségi veszteség miatt hírhedtek.

Diplomadolgozatomban három különböző kukoricahibrid, a Fornad, Loupiac, és Armagnac, valamint négy különböző talajművelési eljárás, szántás, redukált lazítás, talajvédő lazítás és sávos művelés endofuzárium fertőzöttséggel, illetve DON és FUM toxinok szennyezésével kapcsolatos összefüggéseit vizsgáltam.

2020-ban nem volt számottevő a minták FUM szennyezettsége, ellenben a DON-nal, ezért a statisztikai elemzéseket a „vomitoxinra” végeztük. A legalacsonyabb toxinszinteket a szántással művelt kukoricaminták tartalmazták, ez statisztikai vizsgálat által igazolhatóan alacsonyabb volt, mint a sávos műveléssel kezelt kukoricaminták toxintartalma. A hibridek érzékenysége között szignifikáns különbség nem volt.

2021-ben a DON nem, de a FUM szennyezettség értékelhető volt, a talajművelésekre vonatkozóan az FB₁ és FB₂ esetében voltak jelentős különbségek. A szántás FB₁ és FB₂ szennyezettsége szembeötlően töredéke a kísérletben vizsgált másik három talajművelésnek, az FB₁ esetében statisztikailag igazolható módon a talajvédő lazításnál és sávos művelésnél, FB₂ esetében a talajvédő lazításnál volt alacsonyabb. Ebben az évben a hibridek érzékenysége között is kimutatható volt statisztikailag igazolható különbség, az Armagnac FB₁, FB₂, FB₃ és FB₄ tartalma, a Loupiac FB₁ és FB₂ tartalma alacsonyabb volt a Fornadnál.

A kísérlet időtartama alatt a legmagasabb toxintartalmú minták szintje is határérték alatt volt, azonban azon gazdálkodók számára, akik a modernebb, lazításra alapozott talajművelést részesítik előnyben és problémát szokott okozni a kukoricájuk DON és FUM tartalma érdemes lehet számításba venni a szántás kedvező hatását ezekre a toxinokra vonatkozóan, illetve FUM esetében az Armagnac hibrid relatív ellenállóságát.

Az endofuzárium fertőzöttség vonatkozásában a hibridek érzékenysége között a két év alatt nem volt statisztikailag igazolható különbség kimutatható, a talajművelések között 2021-

ben a redukált lazítás fertőzöttségi százaléka statisztikailag igazolhatóan alacsonyabb volt a szántásnál. Az endofuzárium fertőzöttségi százalékok és a toxin szintek között nem volt korreláció a kísérlet ideje alatt, ez valószínűleg a teljes fuzárium fertőzöttséggel áll kapcsolatban, aminek igazolásához további vizsgálatok szükségesek olyan módszerrel, amely nem csak a belső fertőzöttség kimutatására alkalmas.

Számba vettük a belső nem fuzárium gomba fertőzöttségi arányt is, ezen gombák közül az *Aspergillus* fajok voltak az uralkodók. A hibridek érzékenysége között nem volt kimutatható statisztikailag igazolható különbség. A talajművelések közül mindkét évben a szántás érte el a legalacsonyabb arányt, 2020-ban a szántás és sávós művelés fertőzöttségi százaléka statisztikailag igazolhatóan alacsonyabb volt a talajvédő lazításnál, 2021-ben a redukált lazításnál. További vizsgálattal érdemes lehet megmérni a minták aflatoxin tartalmát, és összevetni azokat a belső nem fuzárium gomba fertőzöttségi százalékok eredményével.

A szemeket megfertőző gombák egy részéből PCR vizsgálatot végeztünk a gombák esetében általánosan használt ITS1-ITS4 primerekkel, aminek az eredményeként megállapítható, hogy a telepmorfológiai határozásunk pontos volt, továbbá, hogy a belső fertőzést okozó nem fuzárium gombák túlnyomó része valamilyen *Aspergillus* faj.

IRODALOMJEGYZÉK

- BALÁZS, E. (2021): Az MTA Agrártudományok Osztálya javaslata a gazdasági állatok keveréktakarmányainak maximális mikotoxin koncentrációjára. <https://mta.hu/iv-osztaly/az-mta-agrartudomanyok-osztalya-javaslat-a-gazdasagi-allatok-keverektakarmanyainak-maximalis-mikotoxin-koncentraciojara-111285> Letöltve: 2022. 09. 06.
- BEASLEY, V. R. – LAMBERT, R. J. (1990): The apparently minimal hazard posed to human consumers of products from animals fed trichothecene-contaminated grains. *Veterinary and Human Toxicology*. 32. 27-39.
- BLACUTT, A. A. – GOLD, S. E. – VOSS, K. A. – GAO, M. – GLENN, A. E. (2018): *Fusarium verticillioides*: Advancements in Understanding the Toxicity, Virulence, and Niche Adaptations of a Model Mycotoxigenic Pathogen of Maize. *Phytopathology*, 108. 3. 312–326. DOI:10.1094/phyto-06-17-0203-rvw
- BORATYN, G.M. – THIERRY-MIEG, J. – THIERRY-MIEG, D. – BUSBY, B. – MADDEN, T. L. (2019): Magic-BLAST, an accurate RNA-seq aligner for long and short reads. *BMC Bioinformatics*. 20. 1. 405. DOI: 10.1186/s12859-019-2996-x.
- BOTTALICO, A (1998): *Fusarium* diseases of cereals: Species complex and related mycotoxin profiles in Europe. *Journal of Plant Pathology*. 80. 2. 85-103.
- CROUS, P. W. - GAMS, W. - STALPERS, J. A. - ROBERT, V. – STEGEHUIS, G. (2004): MycoBank: an online initiative to launch mycology into the 21st century. *Studies in Mycology*. 50. 19-22.
- DE LUCCA, A. J. (2007): Harmful fungi in both agriculture and medicine. *Rev Iberoam Micol*. 24. 1. 3-13.
- DESJARDINS, A. E. – PROCTOR, R. H. (2007): Molecular biology of *Fusarium* mycotoxins. *Int J Food Microbiol*. 20. 119. 47-50. DOI:10.1016/j.ijfoodmicro.
- DESJARDINS, A. E. (2006): *Fusarium* mycotoxins. Chemistry, genetics, and biology. APS Press, St. Paul, MN, USA. 260 p.
- DILL-MACKY, R. – JONES, R. K. (2000): The Effect of Previous Crop Residues and Tillage on *Fusarium* Head Blight of Wheat. *Plant Disease*, 84. 1. 71–76. DOI:10.1094/pdis.2000.84.1.71

- DOOHAN, F. M. – BRENNAN, J. – COOKE, B. M. (2003): Influence of climatic factors on *Fusarium* species pathogenic to cereals. *European Journal of Plant Pathology*. 109. 755–768, DOI:10.1023/A:1026090626994
- EFSA Panel Contam., (2018): Risks to human and animal health related to the presence of moniliformin in food and feed. *EFSA Journal* 16. 3. 5082. DOI 10.2903/j.efsa.2018.5082
- ERIKSEN, G. S. – PETTERSSON, H. (2004). Toxicological evaluation of trichothecenes in animal feed. *Animal Feed Science and Technology*. 114. 1-4. 205–239. DOI:10.1016/j.anifeedsci.2003.08.
- FAO (2020): <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> Letöltve: 2022. 08. 26.
- FILIPPO, R. – ANTONIO, G. – TERENCEIO, B. (2020): Emerging mycotoxins in the food chain. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*. 13. 7-27. DOI:10.3233/mnm-190345
- FLETT, B. C. – MCLAREN, N. W. – WEHNER, F. C. (1998): Incidence of Ear Rot Pathogens Under Alternating Corn Tillage Practices. *Plant Disease*. 82. 7. 781–784. DOI:10.1094/pdis.1998.82.7.781
- FLETT, B. C. – WEHNER, F. C. (1991): Incidence of *Stenocarpella* and *Fusarium* Cob Rots in Monoculture Maize under Different Tillage Systems. *Journal of Phytopathology*, 133. 4. 327–333. DOI:10.1111/j.1439-0434.1991.tb00168.x
- FREMY, J. M. – ALASSANE-KPEMBI, I. – OSWALD, I. P. – COTTRILL, B. – VAN EGMOND, H. P. (2019): A review on combined effects of moniliformin and co-occurring *Fusarium* toxins in farm animals. *World Mycotoxin Journal*. 12. 3. 281–291. DOI:10.3920/wmj2018.2405
- FUMERO, M. V. – VILLANI, A. – SUSCA, A. – HAIDUKOWSKI, M. – CIMMARUSTI, M. T. – TOOMAJIAN, C. – LESLIE, J. F. – CHULZE, S. N. – MORETTI, A. (2020): Fumonisin and Beauvericin Chemotypes and Genotypes of the Sister Species *Fusarium subglutinans* and *Fusarium temperatum*. *Applied and Environmental Microbiology*. DOI:10.1128/aem.00133-20
- GELDERBLUM, W. C. – JASKIEWICZ, K. – MARASAS, W. F. – THIEL, P. G. – HORAK, R. M. – VLEGGAAR, R. – KRIEK, N. P. (1988): Fumonisin--novel mycotoxins with cancer-promoting activity produced by *Fusarium moniliforme*. *Appl Environ Microbiol*. 54. 7. 1806-1811. DOI:10.1128/aem.54.7.1806-1811.1988

- GOERTZ, A. – ZUEHLKE, S. – SPITELLER, M. – STEINER, U. – DEHNE, H. W. – WAALWIJK, C. – VRIES, I. DE – OERKE, E. C. (2010): Fusarium species and mycotoxin profiles on commercial maize hybrids in Germany. *European Journal of Plant Pathology*. 128. 1. 101–111. DOI:10.1007/s10658-010-9634-9
- GOSWAMI, R.S. – KISTLER, H.C. (2004): Heading for disaster: *Fusarium graminearum* on cereal crops. *Mol. Plant Pathol.* 1. 5. 515-525. DOI:10.1111/j.1364-3703.2004.00252.x
- HASCHEK, W. M. – VOSS, K. A. (2013). *Mycotoxins. Haschek and Rousseaux's Handbook of Toxicologic Pathology*, Academic Press, New York. 1258 p. DOI:10.1016/b978-0-12-415759-0.00039-x
- HSIA, C. – WU, Z. – LI, Y. – ZHANG, F. – SUN, Z. (2004). Nivalenol, a main Fusarium toxin in dietary foods from high-risk areas of cancer of esophagus and gastric cardia in China, induced benign and malignant tumors in mice. *Oncology Reports*. 12. 449-456. DOI:10.3892/or.12.2.449
- HUMPF, H. U. – VOSS, K. A. (2004). Effects of thermal food processing on the chemical structure and toxicity of fumonisin mycotoxins. *Molecular Nutrition & Food Research*. 48. 4. 255–269. DOI:10.1002/mnfr.20040003
- HUSSEIN, H. S. – BRASEL, J. M. (2001): Toxicity, metabolism, and impact of mycotoxins on humans and animals. *Toxicology*. 167. 2. 101-134. DOI:10.1016/s0300-483x(01)00471-1.
- HUSTI, I. (2015): A sávművelés néhány műszaki-ökonómiai kérdése hazánkban. *Mezőgazdasági Technika*. 61. 8. 26-29.
- INDEXFUNGORUM (2022b):
<http://www.indexfungorum.org/names/NamesRecord.asp?RecordID=314213> Letöltve: 2022.08.13.
- INDEXFUNGORUM (2022c):
<http://www.indexfungorum.org/names/NamesRecord.asp?RecordID=362256> Letöltve: 2022.08.13.
- INDEXFUNGORUM (2022d):
<http://www.indexfungorum.org/names/NamesRecord.asp?RecordID=518089> Letöltve: 2022.08.13.

INDEXFUNGORUM (2022e):

<http://www.indexfungorum.org/names/NamesRecord.asp?RecordID=196997> Letöltve:
2022.08.13.

INDEXFUNGORUM (2022f):

<http://www.indexfungorum.org/names/NamesRecord.asp?RecordID=199819> Letöltve:
2022.08.13.

INDEXFUNGORUM (2022g):

<http://www.indexfungorum.org/names/NamesRecord.asp?RecordID=161610> Letöltve:
2022.08.13.

INDEXFUNGORUM, (2022a):

<http://www.indexfungorum.org/names/NamesRecord.asp?RecordID=200256> Letöltve:
2022.08.13.

KITE, (2022): <https://www.kite.hu/vetomag-palanta-oltvany/kukorica/23?termek=13> Letöltve:
2022.09.10.

KOVÁCS F. (2010): Agrártermelés – Tápláléklánc – Mikotoxinok. 7-11. In: Aktualitások a mikotoxin kutatásban. (Szerk. KOVÁCS M.) Agroinform Kiadó, Budapest. 156 p. ISBN 978-963-502-912-9

KSH, (2020): A fontosabb gabonafélék termesztése és felhasználása.

https://www.ksh.hu/stadat_files/mez/hu/mez0021.html Letöltve: 2022. 08. 26.

KSH, (2021): A kukorica termelése megye és régió szerint.

https://www.ksh.hu/stadat_files/mez/hu/mez0072.html Letöltve: 2022. 08. 26.

KUIPER-GOODMAN, T. – SCOTT, P. M. – WATANABE, H. (1987): Risk assessment of the mycotoxin zearalenone. Regulatory Toxicology and Pharmacology. 7. 3. 253–306. DOI:10.1016/0273-2300(87)90037-7.

LOGRIECO, A. – MULÈ, G. – MORETTI, A. – BOTTALICO, A. (2002): Toxigenic Fusarium species and mycotoxins associated with maize ear rot in Europe. Mycotoxins in Plant Disease. 108. 597–609. DOI:10.1007/978-94-010-0001-7_1

LUO, G. – MITCHELL, T. G. (2002): Rapid Identification of Pathogenic Fungi Directly from Cultures by Using Multiplex PCR. Journal of Clinical Microbiology. 40. 8. 2860–2865. DOI:10.1128/jcm.40.8.2860-2865.2002

MAROCCO, A. – GAVAZZI, C. – PIETRI, A. – TABAGLIO, V. (2008). On fumonisin incidence in monoculture maize under no-till, conventional tillage and two nitrogen

- fertilisation levels. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 88. 7. 1217–1221. DOI:10.1002/jsfa.3205
- MAROCCO, A. – TABAGLIO, V. – PIETRI, A. – GAVAZZI, C. (2009): Monoculture Maize (*Zea mays* L.) Cropped Under Conventional Tillage, No-tillage and N Fertilization: (II) Fumonisin Incidence on Kernels. *Italian Journal of Agronomy*. 4. 3. 69-75. DOI:10.4081/ija.2009.3.69
- MASIBONGE, G. – JUN, W. – THOBELA, T. – JIE, G. (2015): Scientific understanding and effects on ear rot diseases in maize production: a review. *International Journal of Soil and Crop Sciences*. 3. 4. 77-84.
- MASSART, F. – MEUCCI, V. – SAGGESE, G. – SOLDANI, G. (2008): High growth rate of girls with precocious puberty exposed to estrogenic mycotoxins. *The Journal of Pediatrics*. 152. 5. 690–691. DOI:10.1016/j.jpeds.2007.10.020.
- MASSART, F. – SAGGESE, G. (2010): Oestrogenic mycotoxin exposures and precocious pubertal development. *International Journal of Andrology*. 33. 2. 369–376. DOI:10.1111/j.1365-2605.2009.01009.x
- MCCORMICK, S. P. – STANLEY, A. M. – STOVER, N. A. – ALEXANDER, N. J. (2011). Trichothecenes: From Simple to Complex Mycotoxins. *Toxins*. 3. 7. 802–814. DOI:10.3390/toxins3070802
- MENYHÉRT Z. (1985): A kukoricatermesztés kézikönyve. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 560 p.
- MESTERHÁZY, Á. – TÓTH, B. – SZIEBERTH, D. (2019): Toxintermelő gombák okozta növénybetegségek a búzában és kukoricában. *Kukorica barométer*. Agroinform Kiadó és Nyomda, Budapest. 72 p.
- MORETTI, A. (2009): Taxonomy of *Fusarium* genus: A continuous fight between lumpers and splitters. *Zbornik Matice srpske za prirodne nauke*. 117. 7-13. DOI:10.2298/ZMSPN0917007M
- MUNKVOLD, G. P. (2003a): Epidemiology of *Fusarium* Diseases and their Mycotoxins in Maize Ears. *European Journal of Plant Pathology*. 109. 7. 705–713. DOI:10.1023/a:1026078324268
- MUNKVOLD, G. P. (2003b): Cultural and genetic approaches to managing mycotoxins in maize. *Annual Review of Phytopathology*. 41. 1. 99-116. DOI:10.1146/annurev.phyto.41.052002.095510.

- MUNKVOLD, G. P. (2016): *Fusarium Species and Their Associated Mycotoxins*. 51-106. In: *Mycotoxigenic Fungi* (Szerk: MORETTI, A. – SUSCA, A.). Humana Press, New York. 383 p.
- NAGY J. (2007): *Kukoricatermesztés*. Akadémiai Kiadó, Budapest. 412 p. ISBN 978-963-05-8329-9
- NAGY J. (2012): *Versenyképes kukoricatermesztés – A jövedelmezőség kulcstényezői a szántóföldi gyakorlatban*. Mezőgazda Kiadó, Budapest. 494 p. ISBN 978-963-286-665-9
- NAGY J. (2021): *Kukorica – A nemzet aranya – Élelmiszer, takarmány, bioenergia*. Szaktudás Kiadó, Budapest. 515 p. ISBN 978-963-575-002-3
- NESIC, K. – IVANOVIC, S. – NESIC, V. (2014): Fusarial toxins: secondary metabolites of *Fusarium* fungi. *Rev Environ Contam Toxicol*. 228. 101-120. DOI:10.1007/978-3-319-01619-1_5.
- OLÁH, J. – POPP, J (2018): A kukoricatermelés kilátásai. *Magyar Mezőgazdaság*. 73. 43. 26-30.
- OLDENBURG, E. – ELLNER, F. (2015): Distribution of disease symptoms and mycotoxins in maize ears infected by *Fusarium culmorum* and *Fusarium graminearum*. *Mycotoxin Research*. 31. 3. 117–126. DOI:10.1007/s12550-015-0222-x
- PAPAVIZAS, G. C. (1967): Evaluation of various media and anti-microbial agents for isolation of *Fusarium* from soil. *Phytopathology*. 57. 8. 848-852.
- PASQUALI, M. – BEYER, M. – LOGRIECO, A. – AUDENAERT, K. – BALMAS, V. – BASLER, R. – BOUTIGNY, A. L. – CHRPOVÁ, J. – CZEMBOR, E. – GAGKAEVA, T. – GONZÁLEZ-JAÉN, M. T. – HOFGAARD, I. S. – KÖYCÜ, N.D. – HOFFMANN, L. – LEVIĆ, J. – MARIN, P. – MIEDANER, T. – MIGHELI, Q. – MORETTI, A. – MÜLLER, M. E. – MUNAUT, F. – PARIKKA, P. – PALLEZ-BARTHEL, M. – PIEC, J. – SCAUFLAIRE, J. – SCHERM, B. – STANKOVIĆ, S. – THRANE, U. – UHLIG, S. – VANHEULE, A. – YLI-MATTILA, T. – VOGELGSANG, S. (2016): A European Database of *Fusarium graminearum* and *F. culmorum* Trichothecene Genotypes. *Front Microbiol*. 7. 406. DOI:10.3389/FMICB.2016.00406
- PESTKA, J. J. (2010): Deoxynivalenol: mechanisms of action, human exposure, and toxicological relevance. *Archives of Toxicology*. 84. 9. 663–679. DOI:10.1007/s00204-010-0579-8

- PFORDT, A. – RAMOS ROMERO, L. – SCHIWEK, S. – KARLOVSKY, P. – VON TIEDEMANN, A. (2020): Impact of Environmental Conditions and Agronomic Practices on the Prevalence of *Fusarium* Species Associated with Ear- and Stalk Rot in Maize. *Pathogens*. 9. 3. 236. DOI:10.3390/pathogens9030236
- PROCTOR, R.H. – BUSMAN, M. – SEO, J. A. – LEE, Y.W. – PLATTNER, R. D. (2008): A fumonisin biosynthetic gene cluster in *Fusarium oxysporum* strain O-1890 and the genetic basis for B versus C fumonisin production. *Fungal Genet Biol.* 45. 6. 1016-1026. DOI:10.1016/j.fgb.2008.02.004.
- ROBERT, V. - VU, D. - AMOR, A. B. H. - WIELE, N. - BROUWER, C. - JABAS, B. - SZŐKE SZ. - DRIDI, A. - TRIKI, M. - DAOUD, S. - CHOUCHE, O. - VAAS, L. - COCK, A. - STALPERS, J. A. - STALPERS, D. - VERKLEY, G. J. M. - GROENEWALD, M. - SANTOS, F. B. - STEGEHUIS, G. - LI, W. - WU, L. - ZHANG, R. - MA, J. - ZHOU, M. - GORJÓN, S. P. - EURWILAICHITR, L. - INGSRI SWANG, S. - HANSEN, K. - SCHOCH, C. - ROBBERTSE, B. - IRINYI L. - MEYER, W. - CARDINALI, G. - HAWKSWORTH, D. L. - TAYLOR, J. W. - CROUS, P. W. (2013): MycoBank gearing up for new horizons. *IMA Fungus* volume 4. 2. 371-379.
- SAYERS, E.W. – BOLTON, E.E. – BRISTER, J.R. – CANESE, K. – CHAN, J. – COMEAU, D. C. – CONNOR, R. – FUNK, K. – KELLY, C. – KIM, S. – MADEJ, T. – MARCHLER-BAUER, A. – LANCZYCKI, C. – LATHROP, S. – LU, Z. – THIBAUD-NISSEN, F. – MURPHY, T. – PHAN, L. – SKRIPCHENKO, Y. – TSE, T. – WANG, J. – WILLIAMS, R. – TRAWICK, B. W. – PRUITT, K. D. – SHERRY S. T. (2022): Database resources of the national center for biotechnology information. *Nucleic Acids Res.* D1. D20-D26. DOI:10.1093/nar/gkab1112.
- SCAUFLAIRE, J. – GOURGUE, M. – MUNAUT, F. (2011b). *Fusarium temperatum* sp. nov. from maize, an emergent species closely related to *Fusarium subglutinans*. *Mycologia*, 103. 3. 586–597. DOI:10.3852/10-135
- SCAUFLAIRE, J. – MAHIEU, O. – LOUVIEAUX, J. – FOUCART, G. – RENARD, F. – MUNAUT, F. (2011a): Biodiversity of *Fusarium* species in ears and stalks of maize plants in Belgium. *European Journal of Plant Pathology*. 131. 1. 59–66. DOI:10.1007/s10658-011-9787-1

- SCHAAFSMA, A. W. – ILINIC, L. T. – MILLER, J. D. – HOOKER, D. C. (2001): Agronomic considerations for reducing deoxynivalenol in wheat grain. *Canadian Journal of Plant Pathology*. 23. 3. 279–285. DOI:10.1080/07060660109506941
- SCHOCH, C. L. - CIUFO, S. - DOMRACHEV, M. - HOTTON, C. L. - KANNAN, S. - KHOVANSKAYA, R. - LEIPE, D. - MCVEIGH, R. - O'NEILL, K. - ROBBERTSE, B. - SHARMA, S. - SOUSSOV, V. - SULLIVAN, J. P. - SUN, L. - TURNER, S. - KARSCH-MIZRACHI, I. (2020): NCBI Taxonomy: a comprehensive update on curation, resources and tools. *Database*. DOI:10.1093/database/baaa062
- STEINKELLNER, S. – MAYRHOFER, V. S. – LANGER, I. (2002): Influence of tillage on *Fusarium* spp. in Different Crop Rotation Systems. *Mycotoxin Research*. 18. 1. 11–15. DOI:10.1007/bf02946053
- SUMMERELL, B. A. - LAURENCE, M. H. – LIEW, E. C. Y. – LESLIE, J. F. (2010): Biogeography and phylogeography of *Fusarium*: a review. *Fungal Diversity*. 44. 1. 3-13. DOI:10.1007/s13225-010-0060-2
- SUMMERELL, B. A. – LESLIE J. F. (2011): Fifty years of *Fusarium*: how could nine species have ever been enough? *Fungal Diversity*. 50. 1. 135-144. DOI:10.1007/s13225-011-0132-y
- SUTTON, J. C. (1982): Epidemiology of wheat head blight and maize ear rot caused by *Fusarium graminearum*, *Canadian Journal of Plant Pathology*, 4.2. 195-209, DOI:10.1080/07060668209501326
- SZEITZNÉ SZABÓ, M. (2009): Gabonaalapú élelmiszerek fuzárium toxin szennyezettségének csökkentési lehetőségei. Magyar Élelmiszerbiztonsági Hivatal, Budapest, 33.
- TAMURA, M. – MOCHIZUKI, N. – NAGATOMI, Y. – HARAYAMA, K. – TORIBA, A. – HAYAKAWA, K. (2015): Identification and quantification of fumonisin A1, A2, and A3 in corn by high-resolution liquid chromatography-orbitrap mass spectrometry. *Toxins (Basel)*. 7. 2. 582-592. DOI:10.3390/toxins7020582.
- THRANE, U. (2014). *Fusarium*. *Encyclopedia of Food Microbiology*, 76–81. DOI:10.1016/b978-0-12-384730-0.00141-5
- TOMASZEWSKI, J. – MITURSKI, R. – SEMCZUK, A. – KOTARSKI, J. – JAKOWICKI, J. (1998): Tissue zearalenone concentration in normal, hyperplastic and neoplastic human endometrium. *Ginekol Pol.* 69. 5. 363-366.

- UENO, Y. – IIJIMA, K. – WANG, S. D. – SUGIURA, Y. – SEKIJIMA, M. – TANAKA, T. – CHEN, C. – YU S. Z. (1997): Fumonisin as a possible contributory risk factor for primary liver cancer: a 3-year study of corn harvested in Haimen, China, by HPLC and ELISA. *Food Chem Toxicol.* 35. 12. 1143-1150. DOI:10.1016/s0278-6915(97)00113-0.
- USDA, NRCS. (2022): The Plants Database. National Plant Data Team, Greensboro, NC USA. <http://plants.usda.gov> Letöltve: 2022. 08. 29.
- VAN DIEPENINGEN, A. – AL-HATMI, A. M. S. – BRANKOVICS, B. – DE HOOG, G. S. (2014): Taxonomy and Clinical Spectra of *Fusarium* Species: Where Do We Stand in 2014?. *Current Clinical Microbiology Reports.* 1. 10–18. DOI:10.1007/s40588-014-0003-x
- VÁRI, E. – PEPÓ, P. (2011): Az agrotechnikai tényezők hatása a kukorica agronómiai tulajdonságaira tartamkísérletben. *Növénytermelés.* 60. 4. 115-130. DOI:10.1556/novenyterm.60.2011.4.6
- VELLUTI, A. – MARÍN, S. – GONZALEZ, R. – J RAMOS, A. – SANCHIS, V. (2000): Fumonisin B₁, zearalenone and deoxynivalenol production by *Fusarium moniliforme*, *F. proliferatum* and *F. graminearum* in mixed cultures on irradiated maize kernels. *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 81. 1. 88-94. DOI:10.1002/10970010(20010101)81:1<88::aid-jsfa787>3.0.co;2-q
- VOSS, K. A. – RILEY, R. T. – NORRED, W. P. – BACON, C. W. – MEREDITH, F. I. – HOWARD, P. C. – PLATTNER, R. D. – COLLINS, T. F. X. – HANSEN, D. K. – PORTER, J. K. (2001). An overview of rodent toxicities: liver and kidney effects of fumonisins and *Fusarium moniliforme*. *Environmental Health Perspectives.* 109. 2. 259–266. DOI:10.1289/ehp.01109s2259
- VOSS, K. A. – SMITH, G. W. – HASCHEK, W. M. (2007). Fumonisin: Toxicokinetics, mechanism of action and toxicity. *Animal Feed Science and Technology.* 137. 3-4. 299–325. DOI:10.1016/j.anifeedsci.2007.06.
- WU, F. (2007): Measuring the economic impacts of *Fusarium* toxins in animal feeds. *Animal Feed Science and Technology.* 137. 3-4. 363–374. DOI:10.1016/j.anifeedsci.2007.06.

TÁBLÁZATOK ÉS ÁBRÁK JEGYZÉKE

Táblázatok

1. táblázat: A parcellák elrendezése	18
2. táblázat: A talajművelési eljárások	19
3. táblázat: A DNS kivonás eredménye és az azonosított fajok/fajcsoportok.....	35

Ábrák

1. ábra: Fumonizin B ₁ (balra) és B ₂ (jobbra) szerkezeti képlete	12
2. ábra: DON (balra) és NIV (jobbra) szerkezeti képlete.....	13
3. ábra: Zearalenon (balra) és moniliformin (jobbra) szerkezeti képlete.....	15
4. ábra: Endofuzáriózis vizsgálat.....	20
5. ábra: Fusarium (balra) és Aspergillus (jobbra) tiszta tenyészet	21
6. ábra: A DON koncentráció és a művelések függvényében 2020-ban.....	23
7. ábra: A FUM koncentráció a hibridek összevetésében 2021-ben.....	24
8. ábra: A FUM koncentráció és a művelések összevetésében 2021-ben	25
9. ábra: Az endofuzáriózis mértéke a különböző hibridekben 2020-ban	27
10. ábra: Az endofuzáriózis mértéke a különböző művelésekben 2020-ban	28
11. ábra: Az endofuzáriózis mértéke a különböző hibridekben 2021-ben	29
12. ábra: Az endofuzáriózis mértéke a különböző művelésekben 2021-ben	30
13. ábra: A nem fuzárium belső gombafertőzöttség a különböző hibridekben 2020-ban	31
14. ábra: A nem fuzárium belső gombafertőzöttség a különböző művelésekben 2020-ban	32
15. ábra: A nem fuzárium belső gombafertőzöttség a különböző hibridekben 2021-ben.	33
16. ábra: A nem fuzárium belső gombafertőzöttség a különböző művelésekben 2021-ben	34