

DEBRECENI EGYETEM
KERPELY KÁLMÁN DOKTORI ISKOLA

Doktori Iskola vezető:

Prof. Dr. Holb Imre
egyetemi tanár, az MTA doktora

Témavezető:

Prof. Dr. Nagy János
professor emeritus, az MTA doktora

Társtémavezető:

Prof. Dr. Bartók Tibor
c. egyetemi tanár, az MTA doktora

**A PRECÍZIÓS TALAJMŰVELÉSI RENDSZEREK AGRONÓMIAI ÉS
NÖVÉNYKÓRTANI ÉRTÉKELÉSE**

Készítette:

Kecskés István
doktorjelölt

Debrecen

2025

A PRECÍZÓS TALAJMŰVELÉSI RENDSZEREK AGRONÓMIAI ÉS NÖVÉNYKÓRTANI ÉRTÉKELÉSE

Értekezés a doktori (PhD) fokozat megszerzése érdekében,
növénytermesztési és kertészeti tudományok tudományágban.

Írta: **Kecskés István** okleveles növényorvos

Készült a Debreceni Egyetem Kerpely Kálmán Doktori Iskolája
(Növénytermesztési és kertészeti tudományok doktori programja) keretében

Témavezető:

Prof. Dr. Nagy János
professor emeritus, az MTA doktora

Társtémavezető:

Prof. Dr. Bartók Tibor
c. egyetemi tanár, az MTA doktora

Az értekezés bírálói:

| név | tudományos fokozat | aláírás |
|-------|--------------------|---------|
| | | |
| | | |

A bírálóbizottság:

| név | tudományos fokozat | aláírás |
|---------------|--------------------|---------|
| elnök: | | |
| tag: | | |
| titkár: | | |

Az értekezés védésének időpontja: 2025.

Tartalom

| | |
|---|----|
| RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE | 4 |
| 1. BEVEZETÉS | 6 |
| 2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS | 8 |
| 2.1. A kukorica helyzete a világban | 8 |
| 2.2. A kukorica helyzete Magyarországon..... | 8 |
| 2.3. A talajművelési rendszerek fejlődéstörténete..... | 10 |
| 2.4. Precíziós talajművelési rendszerek elterjedése | 11 |
| 2.5. Különböző talajművelési rendszerek kukorica kultúrában | 13 |
| 2.5.1. A hagyományos forgatásos (szántás) talajművelési rendszer (till) | 13 |
| 2.5.2. Talajvédő (mulcshagyó) művelési rendszerek | 14 |
| 2.5.3. Talajlazításos művelési rendszerek (Reduced tillage) | 14 |
| 2.5.4. Sávos művelési rendszer (Strip till) | 15 |
| 2.5.5. Direktvetés | 15 |
| 2.6. A kukorica beltartalmi összetételének változása agrotechnikai beavatkozások hatására | 16 |
| 2.7. A fuzárium jelentősége | 16 |
| 2.8. A <i>Fusarium</i> nemzetség általános jellemzése | 19 |
| 2.8.1. A <i>Fusarium</i> taxonómia történelmi áttekintése | 19 |
| 2.9. A <i>Fusarium</i> nemzetség jellemzése és taxonómiai kihívásai..... | 21 |
| 2.10. A <i>Fusarium</i> fajok jellemzése | 22 |
| 2.10.1. <i>Fusarium graminearum</i> Schwabe 1839..... | 22 |
| 2.10.2. <i>Fusarium culmorum</i> (Wm.G. Sm.) Sacc. | 22 |
| 2.10.3. <i>Fusarium avenaceum</i> (Fr.) Sacc. | 23 |
| 2.10.4. <i>Fusarium fujikuroi</i> fajkomplex | 23 |
| 2.10.5. <i>Fusarium incarnatum-equiseti</i> fajkomplexum | 24 |
| 2.11. A <i>Fusarium</i> fajok környezeti igényei | 24 |
| 2.12. A <i>Fusarium</i> fajok által termelt fontosabb mikotoxinok..... | 25 |
| 2.12.1. Az Európai Unió mikotoxin-szabályozása | 28 |
| 2.12.2. Fumonizinek | 28 |
| 2.12.3. Zearalenon | 29 |
| 2.12.4. Trichotecének..... | 30 |
| 2.12.5. A toxintermelést befolyásoló tényezők..... | 33 |
| 3. ANYAG ÉS MÓDSZER..... | 34 |
| 3.1. Kísérleti terület bemutatása | 34 |
| 3.2. Agrotechnikai paraméterek | 35 |
| 3.3. Időjárási tényezők | 37 |

| | |
|---|----|
| 3.4. Kelésdinamikai vizsgálat | 39 |
| 3.5. A termés paramétereinek vizsgálati módszertana | 39 |
| 3.6. Szártőfertőzés vizsgálati módszere | 39 |
| 3.7. Az endofuzáriózis vizsgálati módszere..... | 40 |
| 3.8. A fumonizin- és DON-toxin-tartalom mérésének módszere | 42 |
| 3.9. Statisztikai elemzés..... | 44 |
| 4. EREDMÉNYEK..... | 45 |
| 4.1. Terméseredmények | 45 |
| 4.2. Kelésdinamikai eredmények..... | 47 |
| 4.3. A kukoricacsövek fizikai paraméterei..... | 48 |
| 4.3.1. Csősúly..... | 48 |
| 4.3.1.1. A cső súlya talajművelési rendszerek szerint..... | 48 |
| 4.3.1.2. A cső súlya a hibridek szerint | 50 |
| 4.3.1.3. A cső súlya a kelés időpontja szerint | 51 |
| 4.3.2. Szemek száma | 53 |
| 4.3.2.1. A szemek száma talajművelési rendszerek szerint | 53 |
| 4.3.2.2. A szemek száma a hibridek szerint | 54 |
| 4.3.2.3. A szemek száma a kelés időpontja szerint | 56 |
| 4.3.3. Szemek tömege | 58 |
| 4.3.3.1. A szemek tömege talajművelési rendszerek szerint..... | 58 |
| 4.3.3.2. A szemek tömege a hibridek szerint | 59 |
| 4.3.3.3. A szemek tömege a kelés időpontja szerint | 60 |
| 4.3.4. Ezerszemtömeg..... | 62 |
| 4.3.4.1. A szemek ezerszemtömege talajművelési rendszerek szerint..... | 62 |
| 4.3.4.2. A szemek ezerszemtömege a hibridek szerint | 64 |
| 4.3.4.3. A szemek ezerszemtömege a kelés időpontja szerint | 65 |
| 4.4. Beltartalmi paraméterek..... | 66 |
| 4.4.1. Fehérje | 66 |
| 4.4.1.1. A szemek fehérjetartalma talajművelési rendszerek szerint | 66 |
| 4.4.1.2. A szemek fehérjetartalma a hibridek szerint..... | 68 |
| 4.4.1.3. A szemek fehérjetartalma a kelés időpontja szerint..... | 69 |
| 4.4.2. Keményítő..... | 71 |
| 4.4.2.1. A szemek keményítőtartalma talajművelési rendszerek szerint..... | 71 |
| 4.4.2.2. A szemek keményítőtartalma a hibridek szerint | 72 |
| 4.4.2.3. A szemek keményítőtartalma a kelés időpontja szerint | 73 |
| 4.4.3. Olaj..... | 75 |
| 4.4.3.1. A szemek olajtartalma talajművelési rendszerek szerint | 75 |

| | | |
|----------|--|--|
| 4.4.3.2. | A szemek olajtartalma a hibridek szerint | 76 |
| 4.4.3.3. | A szemek olajtartalma a kelés időpontja szerint | 77 |
| 4.5. | Szártó-megbetegedés vizsgálat eredményei | 79 |
| 4.5.1. | A szártó-megbetegedés mértéke művelésenként | 79 |
| 4.5.2. | A szártó-megbetegedés hatása a cső fizikai paramétereire | 79 |
| 4.6. | Mikotoxinvizsgálat eredményei..... | 80 |
| 4.7. | Belső fuzárium-fertőzöttség vizsgálati eredményei..... | 87 |
| 4.8. | Acilezett fumonizin B1 származékok vizsgálata | 89 |
| 4.9. | Kukoricaszemből izolált endofiton <i>Fusarium</i> törzsek laboratóriumi vizsgálata . | 90 |
| 5. | KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK | 94 |
| 6. | ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK | 102 |
| 7. | GYAKORLATBAN ALKALMAZHATÓ EREDMÉNYEK..... | 104 |
| 8. | ÖSSZEFOGLALÁS | 105 |
| 9. | SUMMARY | 111 |
| 10. | IRODALOMJEGYZÉK | 115 |
| 11. | PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN..... | 146 |
| 12. | NYILATKOZATOK | Hiba! A könyvjelző nem létezik. |

RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

15-AcDON: 15-acetildezoxinivalenol

3-AcDON: 3-acetildezoxinivalenol

4-AcNIV: 4-acetil-nivalenol

AcDON: monoacetyl-dezoxinivalenolok (3-AcDON, 15-AcDON)

Afla: aflatoxin

AL: ammónium-laktát

a_w : vízaktivitás

BEA: beauvericin

DAcDON: di-acetildezoxinivalenol

DAcNIV: di-acetlnivalenol

DAS: diacetoxiscirpenol

DNS: dezoxiribonukleinsav

DON: dezoxinivalenol

ENN: enniatin

ENSZ: Egyesült Nemzetek Szervezete

EU: Európai Unió

FA1: fumonizin A1

FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations; Egyesült Nemzetek

FB1: Fumonizin FB1 toxin

FB2: Fumonizin FB2 toxin

FB3: Fumonizin FB3 toxin

FB4: Fumonizin FB4 toxin

FFSC: *Fusarium fujikuroi* species complex; *Fusarium fujikuroi* faj komplex

FIESC: *Fusarium incarnatum-equiseti* species complex; *Fusarium incarnatum-equiseti* faj komplex

FUC: fucosidase; fukodizáz

FUP: fusaproliferin

FUS: fusarenone-X (4-Acetyl-NIV), fuzarenon-X

G3: Geophyta

GIS: Geographic Information System

GPS: Global Positioning System

HPLC: High Performance Liquid Chromatography; Nagyhatékonyságú Folyadékkromatográfia

HT2: HT-2 toxin

KAP: Közös Agrárpolitika

KSH: Központi Statisztikai Hivatal

MAS: MAS-monoacetoxiscirpenol

MON: moniliformin

NEO: neosolaniol

NIR: Near-Infrared; Közeli Infravörös

NIV: nivalenol

NIV: nivalenol

OTA: ochratoxin

P₂O₅: foszfor-pentoxid

PCNB: pentaklór-nitrobenzol

PCR: Polymerase Chain Reaction; Polimeráz Lánreakció

PDA: Potato Dextrose Agar; burgonya-dextróz agar

RTK: Real Time Kinematic

T-2: T-2 toxin

USA: Amerikai Egyesült Államok

ZEA: zearalenon

ZOH: zearalenol α és β isomerek

1. BEVEZETÉS

A világ népességének növekedésével jelentős teher nehezedik az élelmiszeriparra. 2024-re a világ lakossága meghaladta a 8 milliárdot, és az Egyesült Nemzetek Szervezete (ENSZ) előrejelzése szerint 2050-re ez megközelítőleg 10 milliárdra fog növekedni. Ennek tudatában a Föld lakosságának élelmezése fogja az egyik legnagyobb feladatot jelenteni a jövőben (KSH, 2023). Ez a népességnövekedés becslések alapján 70%-os élelmiszertermelés-növekedést igényel (FAO, 2009).

A növényi kórokozók, rovarkártevők, gyomok, az abiotikus stressz és az egyéb betakarítás előtti veszteségek évente kb. 35%-ot tesznek ki. A szántóföldi veszteségek és az élelmiszer-pazarlás 50%-os csökkentésével további 3-4 milliárd ember táplálására nyílik lehetőség fenntartható módon úgy, hogy a kultúrnövények genetikai hozamának növekedése nélkül oldjuk meg ezt a feladatot (Mesterházy et al., 2020a). A növénytermesztés során tapasztalt termés-csökkentő elemek elleni küzdelem mellett a termés minőségének megóvása is komoly feladat, a FAO becslése szerint a megtermelt gabonafélék kb. 25%-a mikotoxinokkal szennyezett, ami azt jelzi, hogy a termés mennyiségének megóvása mellett a minőségi alapanyag megtermelése is közös érdek (Rice és Ross, 1994).

Az Európai Unió (EU) közös agrárpolitikája (KAP) jelentősen meghatározza a növénytermesztés irányait a 2030-ig terjedő ciklusban. A műtrágyázás, növényvédőszer-felhasználás csökkentése mellett a talajművelési rendszerek jellegét is szabályozni fogja a jövőben. A mezőgazdasági támogatási rendszerek ezen tényezők figyelembevételével fogja a termelőket finoman terelni egy új, környezetbarátabb termelési rendszer megvalósítása felé. A modern társadalmi értékek szem előtt tartása mellett az élelmiszer-minőség és ellátásbiztonság kiemelt szerepet kap a mezőgazdasági gyakorlatban ezen intézkedések kapcsán (Európai Bizottság, n.d.).

A világ számos területén az élelmiszerek előállításában is jelentős szerepet tölt be a kukorica (*Zea mays* L.). Vetésterületét illetően 2022-ben a világ második legnagyobb területen vetett növénye volt a 203 millió ha-t meghaladó méretével, és Európában is meghatározó vetésterülettel rendelkezik (FAO, 2024).

A növénytermesztés sikerességét sok faktor befolyásolhatja, melyek a termés mennyiségére és minőségére közvetlen hatással bírnak. A növényekben rejlő genetikai potenciál lényegesen magasabb, mint amit szántóföldi körülmények között ki tudunk hozni belőlük. Ez elsősorban annak köszönhető, hogy szabadföldi körülmények között

mind a biotikus (kórokozók, gyomnövények, rovarkártevők), mind az abiotikus (időjárás, domborzat) környezeti tényezők közvetlen hatással bírnak a kultúrnövény életfolyamataira. Ezen tényezők mellett az alkalmazott termesztéstechnológia is jelentősen befolyásolhatja a növények produkcióját (Liliane és Charles, 2020). Amennyiben kedvezően alakulnak a növénytermelést befolyásoló tényezők, úgy magasabb termésszinteket tudunk elérni, ellenkező esetben csökken a termés mennyisége (Berzsenyi és Dang, 2008).

Az ételmisszer-pazarlás, a táplálkozási szokások megváltoztatása és a környezetterhelés csökkentése mellett fontos szempont a mezőgazdaság hosszú távon történő fenntarthatósága. A megfelelő termesztési rendszerek kidolgozása és bevezetése az egyik alapeleme lehet ennek a fenntarthatóságnak globális szinten. Mindezt a környezetvédelmi irányelvek pontos meghatározása és betartása mellett lesz lehetséges elérni, és ezzel szavatolható lesz az ételmisszer-biztonság is (Foley et al., 2011; Haller et al., 2020).

A helyesen megválasztott művelési rendszer és az okszerű növényvédelmi beavatkozások együttesen segítik a növénytermesztőket egy jövedelmezőbb technológia kialakításában, és az ételmisszerlánc alappilléreként az egészséges ételmisszer-alapanyag előállításában (Haller et al., 2020).

Kutatómunkámban az alábbi célkitűzéseim voltak:

1. Négyféle talajművelési rendszerben a kukorica kelésdinamikájának vizsgálata.
2. Négyféle talajművelési rendszerben a kukorica-egyedek kelési időpontjának hatása a kukoricatermés mennyiségére, a szemtermés fizikai és beltartalmi paramétereire.
3. A kukoricaszártó-megbetegedés mértékének vizsgálata négyféle talajművelési rendszerben, a megbetegedés termésmennyiségre gyakorolt hatása.
4. Milyen fuzárium fajok (*Fusarium spp.*) fordulnak elő a kukorica szemtermésében négyféle talajművelési rendszerben?
5. A kukoricaszemek dezoxinivalenol (DON) és fumonizin toxin (FB1, FB2, FB3, FB4) szennyezettségi szintjének meghatározása különböző talajművelési rendszerekben.
6. A kukoricaszemek belső fuzárium-fertőzöttség mértékének meghatározása négyféle talajművelési rendszerben.
7. Acilezett fumonizin B1 származékok kimutatása kukoricamintákból.

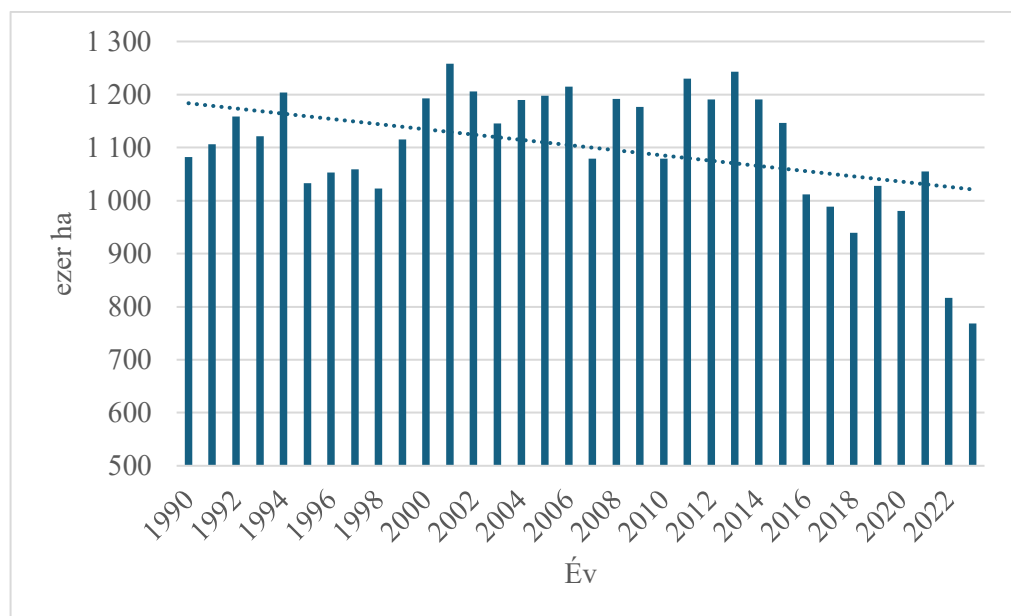
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A kukorica helyzete a világban

A 2022-es betakarított kukorica szemtermést tekintve 348,75 millió tonnával világszerte az Amerikai Egyesült Államok (USA), derült ki a FAO 2022-es évre vonatkozó adataiból. Az Európai országok közül Ukrajna (16,18 millió tonna) produkálta a legnagyobb termést, fele akkora termésmennyiséget tudott termelni önmagához viszonyítva az Európát 2022-ben súlytó példátlan aszály miatt. Magyarországon a FAO adatai szerint 2021-ben 6,42 millió tonna kukoricát termesztettek, ezzel szemben a szélsőségesen száraz 2022-es évben ennek csupán a töredéke került betakarításra, azaz 2,76 millió tonna. 2004-2019 között 6,7 és 9,3 millió tonna közötti termés volt jellemző (FAO, 2024).

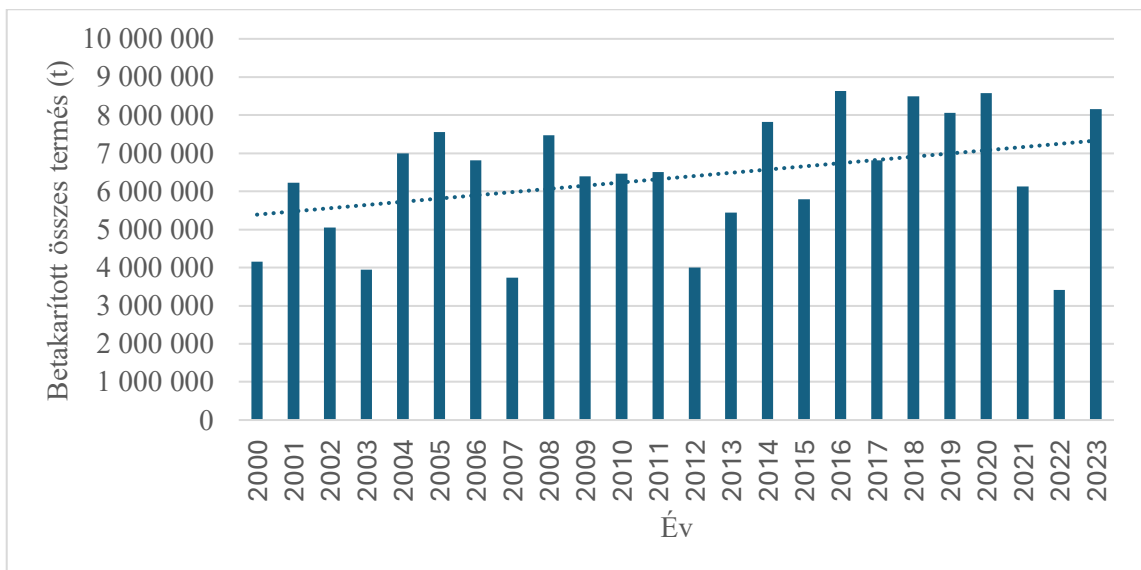
2.2. A kukorica helyzete Magyarországon

Magyarországon a kukorica az egyik legnagyobb területen termesztett gabonanövény. A búzához hasonlóan a vetésterülete ~1 millió ha (1. ábra). Az elmúlt 34 évben a kukorica termesztési hajlandóság többnyire a 1-1,1 millió ha körül mozogott hazánkban, ami egy nagyon enyhe csökkenő tendenciát mutat (KSH, 2024a). Nagy (2007) arra is rámutatott, hogy ez a növény a monokultúrás termesztést is elviseli. Kiemeli, hogy a búza mellett a kukorica az a kultúrnövény, amelyet hazánkban évtizedek óta az egyik legnagyobb területen termesztnek.



1. ábra: A kukorica vetésterületének alakulása 1990-2023 között Magyarországon
(Forrás: KSH, 2024a)

A kukorica hozamainak alakulása jól tükrözi a termesztéstechnológiai fejlődések eredményességét. A Központi Statisztikai Hivatal (KSH) adatai alapján elmondható, hogy az elmúlt 24 évben folyamatosan növekvő tendencia írható le az országos termésátlagokat illetően. Évről évre nagy ingadozás tapasztalható a termésátlagokban, ami az időjárási anomáliáknak köszönhető, viszont a trendvonal felhelyezésével kirajzolódik az a növekedés, ami a kukorica termésátlagát jellemzi hazánkban (KSH, 2024b) (2. ábra). Harnos (1996) megállapítása szerint, bár hazánkban előfordulnak időjárási szélsőségek, összességében a kukoricatermesztés számára adottak a feltételek. Hollinger és Changnon (1994) megfigyelései alapján kijelenthető, hogy az időjárási tényezők nagymértékben képesek befolyásolni a kukoricatermés mennyiségét. Az időjárási tényezők közül a csapadék mennyiségének alakulását jelölték meg a leginkább meghatározónak. A modern hibridek alkalmazása, a tápanyag utánpótlás intenzívebb formái, a fejlett növényvédelmi eljárások, valamint az új műszaki technológiák mind hozzájárulnak az 1960-as évektől kezdődően egy dinamikus fejlődő kukoricatermesztési technológiához, ami a termésátlagok folyamatos növekedésével járt együtt (Nagy és Megyes, 2009). Bocz és Nagy (2003) megállapította, hogy az így elért terméshozam 1960 és 1980 között két és félszeresére növekedett. Amennyiben azt vizsgáljuk, hogy a világon ki érte el a legnagyobb fejlődést ebben az időszakban az átlagtermés növekedését illetően azok közül az országok közül, akik legalább 1 millió hektáron folytattak kukoricatermesztést, akkor ebben a versenyben Magyarország az első helyen szerepelne (Menyhért, 1985).



2. ábra: A kukorica termésátlaga 2000-2023 között Magyarországon (Forrás: KSH, 2024b.)

2.3. A talajművelési rendszerek fejlődéstörténete

Hazánkban az első írásos emlék a talajművelés fogalmának meghatározása tekintetében Nagyváthyhoz (1821) köthető: „a föld keménységének és sűrűségének megkisebbitését, a haszontalan fűvek és gyökerek irtását, az alul fekvő föld megfordítását”. Nagyváthy gondolatai után bő ötven évvel már a növény igényét szem előtt tartó művelési rendszer elvégzésének a fontosságára hívta fel a figyelmet Hensch (1885). Az ebben az időszakban megjelent von Rosenberg-Lipinsky (1873) talajműveléssel kapcsolatos megfigyelései a mai napig megállják a helyüket. Campbell-t (1907) az aszályos területeket érintő talajművelési rendszerek kidolgozása nemzetközi hírűvé tette, később ezt az irányvonalat Magyarországon is honosították, és Campbell-mozgalom néven vált ismertté a nedvességmegőrző talajművelési rendszer elterjedésekor. Ennek a mozgalomnak a kapcsán Cserhádi (1896), az első Országos Kísérleti Állomás vezetője rávilágított arra, hogy a 30 cm-es mélyművelés milyen pozitív hatást gyakorolhat a talajok nedvességmegtartó képességére. Cserhádi tanítványának, Gyárfásnak (1925) a „Sikeres gazdálkodás szárazságban” c. könyve alapl műnek számított a korszak mezőgazdálkodói társadalmában. Emellett egy új szemléletmód – ökológiai talajművelési rendszerek gondolata – kezdett el terjedni a XX. század közepén (Kemenessy, 1961).

Moody et al. (1961) a 60-as években egyre komolyabban foglalkozott a forgatás nélküli rendszerek nedvességmegőrző szerepének vizsgálatával kukorica- és szójakultúrában. Ez az irányvonal már ekkor forradalmasította Amerikában ezen kultúrák termesztéstechnológiáját, miszerint ezek előtt a kultúrnövények előtt „no till” (forgatás nélküli) talajművelést végeztek. A forgatásos és forgatás nélküli talajművelési technológia azóta is sokak által vitatott kérdéseket szül, és egyre több irányzatával, megnevezésével találkozhatunk a mai modern növénytermesztésben, például „minimum till” (minimális művelés), „reduced till” (csökkentett művelés), „conservation till” (talajkímélő művelés), „mulch till” (mulcsművelés). A korszerű eszközök térnyerésével egyre szélesedő lehetőségek nyíltak a mulcshagyó talajművelési rendszerek jótékony hatásának mérésére. A talaj nedvességtartalmának megőrzését szolgáló „no till” rendszerek előnyéről többen is beszámoltak (Jones et al., 1968; Jones et al., 1969; Hall et al., 1984), emellett a talajerózió csökkentését megcélzó minimum művelés („minimum till”) 1950-ben már megjelent Amerikában (Schertz, 1988). Unger et al. (1991) a mulcsművelés talajnedvességre és a talajerózióra gyakorolt kedvező hatását is igazolta.

A termőföld minősége megóvásának és termőképessége fenntartásának gondolata már a múlt század közepén megfogalmazódott, számos kutató hangsúlyozta, hogy a talajok szerkezetének megóvása és a talajélet javítása kulcsszerepet játszik a termőképesség fenntartásában (Győrffy, 1964; Schertz, 1988; Arshad et al., 1990; Karlen, 2004; Birkás, 2018). Hazánkban a termőföld védelmét a 2007. évi CXXIX. számú törvénybe foglalták, ennek értelmében: „E törvény a termőföldek hasznosítására, a földvédelemre, a földminősítésre és a talajvédelemre vonatkozó rendelkezéseket állapítja meg” (Magyarország Országgyűlése, 2007). Az USA-ban már az 1950-es években lépéseket kezdeményeztek a talajok védelmével kapcsolatban, ennek köszönhető, hogy 1990-es évek elejére az ottani talajművelési rendszerek 30-35%-án már talajvédő művelést végeznek (Erbach és Krenn, 1993).

2.4. Precíziós talajművelési rendszerek elterjedése

A talajspecifikus gazdálkodás témakörében az 1980-es években sokat kutatott Robert (Robert, 1982), akit munkássága kapcsán a precíziós gazdálkodás atyjaként is emlegetnek (Mulla és Khosla, 2016). Az elmúlt több mint két évtizedben dinamikus fejlődést mutatott az informatika, térnyerése a szántóföldi növénytermesztésben is számottevő. Több szakma is felfedezte a kínálkozó lehetőségeket a precíziós technológia kialakításában. Ennek megfelelően különböző térinformatikai rendszerek – Global Positioning System (GPS), Geographic Information System (GIS), Real Time Kinematic (RTK) – segítették a gazdálkodókat a méteres pontosságot 2-5 cm-es pontosságra szűkíteni. Ez az újítás lehetőséget adott az agronómiai inputanyag (növényvédő szer, vetőmag, műtrágya) differenciált és pozicionált kijuttatására, továbbá az öntözőrendszerek precíziós szabályozására is. A betakarítási adatok segítségével visszavezették az információkat egy georeferált térképre, amelyeket térinformatikai módszerekkel elemeztek. Ezeket az új típusú technológiákat több kutató is vizsgálta (Griepentrog et al., 2004, Slaughter et al., 2008; Sun et al., 2010; Bakker et al., 2010; Perez-Ruiz et al., 2012; Késmárki-Gally, 2020). A +/- 2 cm-es pontosság megtartását és a gépkezelő hibájából eredő károk csökkentését további újítások segítenek kiküszöbölni, ilyen például az automata kormányzás („Auto Track Controller”) (Perez-Ruiz et al., 2012; Boltovsky et al., 2020). A precíziós gazdálkodás alapjának letétele mellett az ezredfordulót követően a drónok térnyerésével egy újabb szintre lépett a szántóföldi precíziós növénytermesztés, amit széles körű kutatások is alátámasztanak (Wang et al., 2019; Ekaso et al., 2020).

A talajművelési rendszerek csoportosítása országoként és régióként is eltérhet annak függvényében, hogy milyen művelőeszközzel végezzük a munkaműveletet, és a felszín szármadarvány-borítottsága milyen mértékű. Az 1. táblázatban összefoglaltam, hogy hazai és nemzetközi szakirodalmi adatok alapján hogyan csoportosítják az egyes művelési rendszereket szármadarvány-borítottság tekintetében. A talajművelő eszközök szármadarvány bekeverő hatását korai és őszi betakarítású növények esetén Buckingham et al. (1993) is részletesen vizsgálta.

1. táblázat: Szármadarvány-borítottság mértéke különböző talajművelési rendszerek esetében (Forrás: saját szerkesztés)

| Talajművelési rendszer | | Szármadarvány-borítottság mértéke | Irodalmi hivatkozás |
|---|-------------------------------------|--|---|
| Talajkímélő művelés (Conversational-Till) | Mulcsművelés (Mulch-Till) | 30%< | McCalla and Army, 1961; Gregory, 1982; Mannering és Fenster, 1983; Conservation Tillage Information Center, 1984; Allmaras et al., 1985; Bartalos, 1995 |
| | Bakhátas művelés (Ridge-Till) | 30%< | |
| | Művelés nélkül (No-Till) | 30%< | |
| | Sávós művelés (Strip-Till) | 30%< | |
| | Csökkentett művelés (Reduced-Till)* | 30%< | McCalla and Army, 1961; Musgrave et al., 1955; Conservation Tillage Information Center, 1984; Unger és McCalla, 1980; |
| Csökkentett művelés (Reduced-Till)** | | 15-30% | Bartalos et al., 1995 |
| Hagyományos művelés | Hagyományos forgatás (szántás) | 15%> | Bartalos et al., 1995; Allmaras et al., 1997 |
| | Hagyományos (szántás nélkül) | 15%> | |
| Biológiai művelés (Bio-Till) | | Takaronövények, talajlazító növények alkalmazása | Uteau et al., 2013; García-González et al., 2018; Çerçioğlu et al., 2019 |
| Egyéb művelés | | 30%> | Bartalos et al., 1995 |

*több szakirodalmi forrás a csökkentett művelést a talajkímélő művelés alá sorolja 30%-ot meghaladó szármadarvány-borítottság esetén;

**Bartalos et al. (1995) a csökkentett művelést a talajkímélő művelés mellé sorolta 15-30%-os szármadarvány-borítottság esetén.

2.5. Különböző talajművelési rendszerek kukorica kultúrában

Lal (1990) szerint a szántás művelésmódtól eltérő új irányzatok szakirodalmi megfogalmazása országoként és régióként is eltérhet egymástól. Barber (2000) az eltérések okát abban látja, hogy ugyanazon eszköz valamennyi talajművelési rendszerben használatos lehet, viszont azok beállításai és intenzitása eltérhet egymástól, ezért lehet az, hogy más-más névvel illetik ugyanazt a rendszert.

2.5.1. A hagyományos forgatásos (szántás) talajművelési rendszer (till)

A forgatásos (hagyományos) művelés az egész világon elterjedt művelési mód (Gruber et al., 2011). A forgatásos művelés káros hatásai mellett számos olyan pozitív hatása is van a szántás (hagyományos) művelési módnak, amely vitathatatlan előnye a technológiának. Számos kutató a gyomnövények elleni jótékony hatását emelte ki, a Geophyta (G3) életformához tartozó gyomok (mezei aszat: *Cirsium arvense* L., apró szulák: *Convolvulus arvensis* L.) visszaszorulásának a mélyművelés elterjedése volt az oka (Percze, 2002; Farkasné Szerletics, 2002; Lehoczky et al., 2010). Hasonló megállapításra jutott Lehoczky et al. (2007), vizsgálatai alapján a szántás művelésben volt a legalacsonyabb az évelő gyomok aránya (21,4%), a sekély tárcsás művelésben részesült parcellákban 35,7%, míg a művelés nélküli parcellákon az összes gyomhoz viszonyítva 37,5% volt az arány. A *C. arvense* visszaszorulását figyelte meg Pekrun és Claupein (2004) is szántás művelésmód esetén. Számos kutató igazolta, hogy a kukorica terméshozama szempontjából az őszi szántás hatékonyabbnak bizonyul, mint a tavaszi szántás vagy a tárcsás talajművelés (Drimba és Nagy, 1998; Nagy, 1995, 1996; Rátonyi et al., 2005; Nagy, 2007). Györffy és Szabó (1968), Wilhelm és Wortmann (2004), Jones et al. (2006), Kecskés et al. (2023) a szántás művelési módban tapasztalta a legmagasabb terméseredményt a forgatás nélküli művelésmódokhoz képest. A pozitív hatások mellett a szántás talajszerkezetre és talajéletre gyakorolt káros hatása miatt megoszlanak a vélemények a kutatók között. Neemann (1991) még az ezredforduló előtt felhívta a figyelmet arra, hogy a talajtípus mellett a fizikai talajféleség is nagymértékben befolyásolja a szél által (defláció) okozott károk mértékét, amelyet Farsang et al. (2013) mérései is igazoltak. Rátonyi (2007) kutatásai azt bizonyították, hogy a több éven keresztül azonos mélységben végzett szántás eketalpréteg kialakulásához vezet. Megállapította továbbá azt is, hogy a talajnedvesség állapota hagyományos művelésben (szántás) rosszabb volt, min a mulcshagyó művelésekben (disk ripper, mulch finisher, direktvetés). A szántás talajnedvességre gyakorolt káros hatását bizonyította Vajdai

(1991) is. Ezt igazolja Birkás et al. (2015), amely szerint az eketalpréteg gátolja a kultúrnövények gyökerének és a csapadéknak mélyebb rétegbe hatolását. A szántás káros hatásai közé sorolható továbbá a frissen szántott talaj magas szén-dioxid-kibocsátása is (Lal et al., 2007; Tóth et al., 2017).

2.5.2. Talajvédő (mulcshagyó) művelési rendszerek

A rendszerváltásig komoly lemaradásban volt hazánk a nyugat-európai és az észak-amerikai talajművelési gyakorlatokhoz képest. A szakmai fejlődés és a modern gépek behozatalával történt meg a várt áttörés, és ekkor kezdődött meg az érdemi felzárkózás (Birkás et al., 2017). Nyiri (1993) a defláció mértéke csökkentésének lehetőségét a talajvédő művelésben (conservation tillage) látta, megállapítása szerint a talajfelszín 30%-os mulcsborítása csökkenti a defláció mértékét. Továbbá felhívta a figyelmet arra, hogy a mulcsréteg szerepe nem csupán ebben merül ki, ugyanis az erózió csökkentésén, a talajnedvesség megőrzésén, a talajélet javításán túl alacsonyabb költségű művelésnek is számít a szántáshoz képest. Bádonyi et al. (2008) vizsgálatai azt mutatták, hogy a talajvédő művelés jótékony hatását tovább lehet fokozni másodvetésű növények alkalmazásával.

2.5.3. Talajlazításos művelési rendszerek (Reduced tillage)

A talajlazítás a szántás művelési mód káros hatásának, az eketalpréteg megszüntetésére irányuló eljárás, emellett a 25-35%-os mulcsborítottság a talajok védelmét is szolgálja, emiatt szokás ezt a művelést talajvédő művelésnek is nevezni. Optimálisan száraz vagy enyhén nedves talajállapotban alkalmazható ez az eljárás (Birkás et al., 2018). A talajlazítás előnyeit számos kutatás alátámasztotta (Langdale et al., 1992; Jug et al., 2019; Klik és Rosner, 2020), az erózió és a defláció csökkentése mellett a művelés költsége is 30-40%-ot csökken a szántás művelésmódhoz képest (SoCo Project Team, 2009). Hazánkban a gyakorlat azt mutatja, hogy a nagy karógyökérrel rendelkező kultúrák vetése előtt alkalmazzák ezt a művelési módot. A növény igényeinek figyelembevételével döntenek a művelési rendszerről, és a talajszerkezetére gyakorolt jótékony hatás elérése csak másodrendű szempont, ha egyáltalán ezt figyelembe veszik (Cannel, 1985). A kukorica terméseredményeit vizsgálva Kecskés et al. (2023) megállapította, hogy a szántás művelésmódhoz képest a lazítás művelési módban a kukoricatermés szignifikánsan alacsonyabb volt két év vizsgálatai alapján.

2.5.4. Sávos művelési rendszer (Strip till)

Williams et al. (2016) a sávművelő eszközök előnyét abban látta, hogy mélyművelést és pozicionált tápanyag-kijuttatást egy menetben lehet végezni úgy, hogy a talajok felszínén hagyjuk a szármaradványokat. A gyökérszónába (20-30 cm mélységbe) lehet ezzel az eszközzel a műtrágyát kihelyezni úgy, hogy eközben a sorközöket bolygatatlanul hagyjuk. A sávművelő alkalmazását követően lehetőségünk van ősszel és tavasszal is vetni, az eszköz csupán a talajfelszín 40%-át fogja megművelni, a sávtisztító a művelt sávból a szármaradványokat a sorközökbe tolja (Morris et al., 2010). A sávművelő eszközt elsősorban kapás (76 cm-es sortávú) kultúrákban alkalmazzák (Fernández et al., 2015), de legújabban a kalászos gabonában történő használatát is vizsgálják. A talajéletre gyakorolt kedvező hatását Jaskulska et al. (2020) igazolta, miszerint a sávművelés megelőzte a szántás és a lazításos (redukált) művelési módot. Minden talajlélettel kapcsolatosan mért paraméter tekintetében (gilisztaszám, mikroorganizmusok száma (baktériumok, fonalas gombák)) a szántás művelésmódban volt mérhető a legalacsonyabb diverzitása az élő szervezeteknek. Birkás et al. (2018) fontosnak tartja, hogy a sávművelés gyakorlatát időszakosan meg kell szakítani, és 0-40 cm-es mélységben szükséges egy mélylazítás, és a tarlómaradványokat be kell keverni a művelt rétegbe.

2.5.5. Direktvetés

Morris et al. (2010) szerint a direktvetés olyan vetési módszer, amely során bolygatatlan talajfelszínre vetnek speciális eszközök segítségével. Azokon a területeken kezdett el terjedni, ahol a talajnedvesség megőrzése a szárazság miatt jelentős volt (Jug et al., 2019). Hazánkban az 1960-as évektől számos kutató foglalkozott ennek a technológiának az alkalmazhatóságával. Többek között a termésre, a gyomosodásra és a talajszerkezetre gyakorolt hatását vizsgálták (Györffy és Szabó, 1968; László és Gyuricza, 2008; Percze et al., 2008; Zsembeli, et al., 2015). László és Gyuricza (2008) 10 évig folytatott tartamkísérletek alapján igazolták, hogy ugyan kedvezően hatott a direktvetés művelési rendszere a talaj nedvességi állapotára, de a kukorica fejlődési üteme lassabb lett, és a termés mennyisége minden esetben alacsonyabb volt, mint a forgatásos és a bakhátas művelés esetén.

2.6. A kukorica beltartalmi összetételének változása agrotechnikai beavatkozások hatására

A kukorica beltartalmi mutatói közül a keményítő a legfontosabb, az élelmiszeriparban a keményítők közül a kukoricakeményítő rendelkezik a legjobb fizikai és kémiai tulajdonságokkal, továbbá ár-érték arányban is kedvező (Wang et al., 2021). Az agrotechnikai tényezők hatására igazoltan változik a kukorica szemtermés fehérjetartalma (Marton et al., 2008). A N-tartalmú műtrágyák növelésével a szemek fehérjetartalmának növekedéséről számolt be Kniep és Mason (1991), Pierre et al. (1977) ugyanezt a megállapítást tette. A kukorica beltartalmi paramétereinek (keményítő, olaj, fehérje) %-os aránya több agrotechnikai tényező hatására is változott. A komplex (NPK) hatóanyag-tartalmú műtrágyák növelésével csökkent a keményítőtartalom, valamint a hosszabb tenyészidejű hibrideknek alacsonyabb volt az olajtartalmuk. A rövid tenyészidejű hibrid esetében a növelt tápanyag szintén az olajtartalom csökkenését eredményezte (Marianna, 2009). Marianna (2009) továbbá felhívta a figyelmet arra, hogy amennyiben növeljük a kijuttatott tápanyag mennyiségét, úgy csökkenhet a különböző beltartalmi paraméterek részaránya, de a termés mennyiségének növekedésével nem feltétlen tapasztalható az említett értékmérők hozamaiban csökkenés. Ocwa et al. (2024) biostimulátorokkal elvégzett vizsgálatait azt mutatták, hogy a kukorica szemtermés mennyiségére pozitív hatással vannak, de a szemek minőségi paramétereire minimális hatással bírtak az elvégzett kezelések. Az agrotechnikai tényezők közül a vetés időpontjának hatását igazolta Széles és Nagy (2013). Megfigyelésük szerint a kukoricaszemek keményítőtartalma a korai vetések esetén volt magasabb. Az agrotechnológiai tényezők mellett Marton et al. (2008) a kukoricaszem beltartalmi paramétereire ható tényezők közül kiemelt jelentőséget tulajdonított a termőhelynek is. Kecskés et al. (2023) két évet vizsgálva megállapította, hogy a hibrid mellett a talajművelési rendszer és az időjárási tényezők azok, amelyek a kukorica szemtermés mennyiségére és beltartalmára is hatást gyakoroltak.

2.7. A fuzárium jelentősége

A kukorica kórokozói közül a legjelentősebb a fuzárium. Gazdasági jelentősége hatalmas, ugyanis nemcsak a kukorica termésmennyiségére, hanem a termésminőségre is komoly hatást képes gyakorolni a toxintermelő képessége miatt. A fuzárium-nemzetség elég népes, számos fajt leírtak már a nemzetségen belül, és ezeknek a fajoknak jelentős része képes a kukoricát is megtámadni.

A téma jelentőségét mutatja a széles körű szakirodalom, ahol részletesen olvashatunk ezekről a kórokozókról. Számos kutató foglalkozott és foglalkozik továbbra is ezekkel a fonalas gombákkal szántóföldi körülmények között is, mert az általuk okozott károk még mindig megoldásra várnak. A *Fusarium* gombák több növényt, köztük számos kultúrnövényt is képesek megbetegíteni, így például a kukoricát, búzát, zabot, rozst, árpát (Becher et al., 2013; Oldenburg et al., 2017). A kukorica esetében egy olyan gombanemzetséggel állunk szemben, ami a kukoricát egész fejlődési ciklusa alatt képes támadni, és még a betakarítást követően is képes problémát okozni (Munkvold et al., 1997). Maga a kórokozó a gabonanövényeket kedveli leginkább, a kukoricát már csírákorban megtámadja, ekkor csírapusztulást és egyenetlen kelést tapasztalhatunk. Ezt követően képes megtámadni a szarát, illetve a csöveket is. Előbbi esetben a belső szövetek elhalása figyelhető meg, amikor is víz- és tápanyagforgalmi zavarok lépnek fel. Csökártétel esetében a minőségi kár már súlyosabb lesz, mert a másodlagos anyagcseretermékek szennyezhetik a terményt, ami később humán és állati megbetegedésekhez vezethet. Ezekre a fertőzésekre a kukorica jelentős termés-csökkenéssel és minőségi romlással fog reagálni. A kukoricát megtámadó *Fusarium* fajok közül a nemzetközi szakirodalom szerint a *Fusarium graminearum*, a *Fusarium culmorum*, a *Fusarium verticillioides*, a *Fusarium proliferatum* és a *Fusarium subglutinans* fajok a legelterjedtebbek (Holbert et al., 1924; Duncan et al., 1938; Kizmus, 1978; Vigier et al., 2001; Van Egmond et al., 2007; Pierzgalski et al., 2021).

A kukorica termésbiztonságának veszélyeztetése mellett a mikotoxinnal szennyezett kukoricatermékek etetése az állatok esetében szaporodási problémát, immunrendszer-gyengülést, táplálékfelvétel-csökkenést indukál, súlyos esetben pedig elhullást eredményezhetnek (Jávor és Szigeti, 2011). Marin et al. (2013) ezt a tünetegyüttest nevezi mikotoxikózisnak.

A vetőmag-termeltetés szempontjából is kiemelkedő jelentőségűek a mikotoxinok, Doehlert et al. (1994) megállapította, hogy a kukoricavetőmag fumonizin B₁ 0-100 mg/kg közötti szennyezettségénél ugyan nem gátolta a magok csírázását, de 75%-kal csökkentette a gyököcske növekedését.

Hazai kutatók is sokat foglalkoztak a fuzárium fajok jelenlétével és részarányával, közülük Simay (1992) azt tapasztalta, hogy a *Fusarium avenaceum*, a *F. culmorum*, a *Fusarium equiseti*, a *F. graminearum*, a *Fusarium oxysporum*, a *Fusarium sacchari* v. *subglutinans* és a *F. verticillioides* voltak a leggyakrabban megfigyelhetők az 1986 és 1990 között elvégzett vizsgálatok alapján, amit a penészes kukoricamagokon végzett.

Simay mellett Mesterházy és Vojtovics (1977) és Mesterházy (1988, 1997) is vizsgálta ezt a területet. Megfigyeléseik alapján elmondható, hogy hazánkban a *Fusarium moniliforme* a domináns (41,7%), a *F. graminearum* 28,75%, a *F. moniliforme* var. *subglutinans* 6,85%, a *F. culmorum* 2,8%, a *Fusarium sporotrichioides* 3,05% volt. Szécsi (1994) kutatásai megmutatták, hogy hazánk különböző kukorica-termőhelyeiről begyűjtött 45 növényi minta vonatkozásában a Liseola szekcióba sorolt fuzárium izolátumok között a *F. moniliforme* (jelenleg *F. verticillioides*) 51,1%, a *F. subglutinans* 32,6%, míg a *Fusarium proliferatum* 16,3%-os részarányt lépviselet. Veres et al. (2002) vizsgálatai egybevágtak Szécsi (1994) és Mesterházy (1997) megfigyeléseivel, miszerint a fuzárium fajok közül a *F. moniliforme* (jelenleg *F. verticillioides*) jelent meg a legnagyobb számban kukoricamintákban. Továbbá azt is megállapította, hogy a talajok típusa nem befolyásolja jelentősen a fuzárium fertőzöttséget. Békési és Hinfner (1970) megállapították, hogy hazánkban a kukoricaállományokban a *F. graminearum*, a *F. culmorum* és a *F. verticillioides* fordul elő leggyakrabban.

A *Fusarium* nemzetség már említett fajai nemcsak közvetlenül a szemtermésben okoznak minőségi és mennyiségi károkat, hanem a szárfertőzéssel közvetetten is képesek a termés mennyiségét csökkenteni. Ezeknek a kórokozóknak a termésvesztés csökkentő hatása évről-évre és területenként is nagy szórást mutat. A megbetegedést a *Fusarium* és a *Pythium* fajok okozzák elsősorban. A *F. verticillioides*, a *F. subglutinans* és a *F. proliferatum* jelentős megbetegedést okoztak az USA-ban (Prończuk et al., 1991; Mathew et al., 2003). Ma et al. (2018) vizsgálatai azt mutatták, hogy Kínában a *F. verticillioides* okozott szártő-megbetegedést kukoricában, 15 kínai régióból gyűjtött szárminta alapján Li et al. (2019) ugyanezt a fajt találta dominánsnak. Németországban elvégzett vizsgálatok alapján a *F. graminearum*, a *F. equiseti*, a *F. culmorum* és a *Fusarium temperatum* fajok voltak az uralkodók (Pfordt et al., 2020). A kukorica termésvesztése a fertőzést követően akár a 7-10%-ot is képes elérni (Durrell, 1923; Pendleton et al., 1954; DeVay et al., 1957; Li et al., 2010). A kár mértéke alapján Manninger (1967), Jugenheimer (1940), valamint Zuber és Kang (1978) 10-20% közötti termésvesztéget tudott leírni a fuzáriumos termésvesztés okán. Ettől magasabb termésvesztést dokumentált Lu et al. (1995) és Yu et al. (2017) is Kínában. McKeen (1951) 50-60% közöttire tette a fertőzésből eredő termésvesztéget. Szélsőséges esetben a fertőzésből eredően szárdőlés is megfigyelhető, az ebből eredő kár mértéke akár az 5-90% közötti értéket is elérhette (Pammel et al., 1915; Koehler, 1960; Manninger, 1967; Zuber, 1973; Fischl, 1990; Malvick, 1995). A fuzárium okozta szárkorhadást és annak járványszerű terjedését

először Manninger (1967) írta le hazánkban. A nemesítési eljárások jelentősége fontos, mert a termésátlagok növelését az intenzív termesztéstechnológia elemekkel igyekeznek elérni, ami a megbetegedés szempontjából kitérté teheti a kultúrnövényünket (Szőke, 2011).

A szárcorhadás a kukoricában akkor indul, amikor a pollenhullás befejeződik, viszont tömeges megjelenésre akkor kell számítani, ha a szemtermések fiziológiai érése elkezdődik. A tünetek az időjárás alakulásától évjáratonként eltérőek lehetnek. Amennyiben az ősz nedves, csapadékos, akkor fehéres, halvány rózsaszín, sötétpiros penészszerűen figyelhető meg, emellett gömbölyű, sötét peritéciumok jelenhetnek meg a léziók felszínén. Száraz időjárás esetén a tünetek a szár felületén elmaradnak. A szártőrcorhadás egyik jellemző következménye a kukorica korai elhalása, súlyosabb esetben a szár törését eredményezi. (Koehler, 1960), Mesterházy (1979) és Kizmus et al. (2000) szerint a bélszövet elszíneződése figyelhető meg, sötétbarna színűvé válik a bélszövet a fertőzés nyomán. Az utolsó stádium az, amikor a kukoricaszár belső szövetei oly mértékben elszáradnak, hogy a szár üreges lesz (De Leon, 1974). A szárcorhadást a *Fusarium* nemzetség által termelt enzimek okozzák a sejtfal lebontása révén (Szécsi, 1975; Lorenzo et al., 1997; Szőke et al., 2006.)

2.8. A *Fusarium* nemzetség általános jellemzése

2.8.1. A *Fusarium* taxonómia történelmi áttekintése

Mexikóban már a XVI. században említették (egy ferences szerzetes írta le), hogy a kukoricán csőrothadás figyelhető meg. A *Fusarium* nemzetséget először 1809-ben írta le Link, felismerve, hogy a kukoricacső-rothadást e gombához köthető. 1821-ben Fries nevezte el a *Fusarium* nemzetséget, és az ezt követő évszázadban számos új fajt írtak le, melyek elsősorban a gazdanövényekkel való kapcsolatukra utal (idézi: Geiser et al., 2013). Wollenweber és Reinking (1935) 1000 leírt *Fusarium* formát rendszerezett 65 fajba. A következő évtizedekben két fő taxonómiai megközelítés alakult ki: Wollenweber és Reinking rendszere, valamint az USA-ban Snyder és Hansen (1940, 1941, 1945) minimalista szemlélete, amely csak 9 fuzárium-fajt tart számon.

Booth (1971) a *Fusarium* nemzetség variabilitását vizsgálva megállapította, hogy morfológiailag különbségek vannak a fajok között, különösen a mikrokonídiumok és az ivaros szaporodási formák között, melyek segítenek különbséget tenni az egyes fajok között, így összesen 44 fajt írt le. Az első fényképes összefoglalót Gerlach és Nirenberg (1982) készítette, ahol 90 fajt rangsorolt a morfológiai bélyegek alapján. Nelson et al.

(1983) szintén kiadott egy határozót, amiben 41 fajt említett. A két határozókönyv között ugyan voltak különbségek, de ettől függetlenül egységesnek voltak tekinthetők. 1990-től a filogenetikai módszerek bevezetésével lehetővé vált a *Fusarium* fajok pontos elkülönítése (Leslie et al., 2001). Nirenberg és O'Donnell (1998) a filogenetikai fajkonceptiót adaptálták, amelyet a morfológiai jellemzőkkel kombinálva alkalmaztak a *Fusarium fujikuroi* fajkomplex és számos további faj leírására. A *Fusarium* nemzetségen belüli leszármazotti viszonyok vizsgálatára a molekuláris technológiák megfelelőnek bizonyultak (O'Donnell et al., 2000). A molekuláris módszerek alkalmazásával a nemzetségbe tartozó fajok száma több százra tehető, és várhatóan a kutatások előrehaladtával tovább fog növekedni (Summerell et al., 2010).

Taxonómiai besorolás

Ország: *Fungi*

Törzs: *Ascomycota*

Osztály: *Sordariomycetes*

Rend: *Hypocreales*

Család: *Nectriaceae*

Nemzetség: *Fusarium*

2.8.2. A *Fusarium* fajok morfológiai bélyegei

A morfológiai bélyegek vizsgálata a *Fusarium* fajok esetében hosszú ideig a taxonómia egyik alappillére volt. A különböző fajok elkülönítésében a mikrokonídiumok, makrokonídiumok, clamydospórák és a telepmorfológia játszottak szerepet (Booth, 1971). A fajok gyors azonosításában továbbra is kulcsszerepet töltenek be a morfológiai bélyegek, de a molekuláris módszerek elterjedése óta kevésbé hangsúlyosak.

A makrokonídiumok morfológiai jellemzése volt az egyik alapvető szempont a fuzáriumok meghatározásában. Egyes fajok a makrokonídium alapján is pontosan detektálhatók (Leslie és Summerell, 2006). A peritéciumok és a bennük fejlődő aszkospórák határozásra alkalmasak lehetnek azoknál a fajoknál, amelyek ivaros szaporodásra képesek, például a *F. graminearum*. A peritéciumokban megtalálható aszkuszokban fejlődnek az orsó alakú aszkospórák, melyek enyhén görbültek lehetnek, általában három harántfallal tagoltak (Samuels et al., 2001). Husz (1951) összefoglalása szerint a *Fusarium* fajok jellemzően kifli vagy görbült (sarlós) alakú, többsejtű konídiumokat fejlesztenek, amelyeknek színe változatos lehet, például: színtelen, sárga, kék, narancs, barna, okkersárga. A legtöbb fuzárium-faj egysejtű (mikrokonídiumot) és

többsejtű (makrokonídiumot) konídiumokat is nevel. Esetenként a mikrokonídiumnak körte alakja van. Akkoriban a körte alakú mikrokonídium láncos alakzatát a *F. moniliforme* (jelenleg *F. verticillioides*) faj sajátosságának tulajdonították.

2.9. A *Fusarium* nemzetség jellemzése és taxonómiai kihívásai

A *Fusarium* nemzetség a növénypatogén gombák egyik legjelentősebb csoportja, amely számos fajjal képviselteti magát (Palacio et al., 2016; Ismail et al., 2017; Summerell, 2019; Shabeer et al., 2021). A kórokozó két úton tud bejutni a növénybe. Az egyik a fertőzési kapukon keresztül történő behatolás, amelyet általában a rovarkártevők, például a kukoricabogár (*Diabrotica virgifera*) és a kukoricamoly (*Ostrinia nubilalis*), vagy a szélsőséges időjárási körülmény (jégeső, vihar) okoznak, a másik útvonal a virágzás időszakában a bibeszálakon keresztül történő behatolás (Reid et al., 1999; Meissle et al., 2010; Nedelnik et al., 2012). Az American Phytopatology Society honlapján található adatok alapján elmondható, hogy a vizsgálatban szereplő 108 növényfaj közül 83-nak van legalább egy, a *Fusarium* nemzetséghez köthető megbetegedése, ezek a fertőzések nemcsak a terméshozam csökkenéséhez vezetnek, hanem a kórokozók által termelt mikotoxinok révén súlyos egészségügyi kockázatot is hordoznak (Desjardins, 2006). A gombák által termelt másodlagos anyagcseretermékek raktározás alatt is képződhetnek, így veszélyt jelenthetnek az élelmiszerláncba történő bekerülésükkel (Reverberi et al., 2010). A betegségek diagnosztizálása és a hatékony kezelési stratégiák kidolgozásának alappillére a fajok pontos azonosítása. A molekuláris fajmeghatározás lehetőséget teremt a taxonómiai bizonytalanság tisztázására, ennek köszönhetően jelentős változáson ment keresztül a fajok taxonómiai besorolása (Summerell és Leslie, 2011). A *Fusarium* nemzetség esetében különösen nagy előrelépést jelentett, mivel a morfológiai bélyegek nem bizonyultak elegendőnek a filogenetikai fajok elkülönítésére (Leslie és Summerell., 2006; van Diepeningen et al., 2014). O'Donnell et al. (2018) megállapította, hogy a *Fusarium* nemzetség több mint 300 filogenetikailag elkülönített fajt foglal magába, amelyek közül számos faj még mindig nincs hivatalosan leírva. Ezt a taxonómiai kihívást a molekuláris vizsgálatok rutinszerű alkalmazása segít megoldani, amelyet az Amszterdami Nyilatkozatban rögzített „egy gomba egy név” elv 2011-es bevezetése tovább erősített, ezáltal széles körű elfogadottságot nyert a mikológusok körében (Hawksworth et al., 2011).

2.10. A *Fusarium* fajok jellemzése

2.10.1. *Fusarium graminearum* Schwabe 1839

A *Fusarium graminearum* Schwabe a *Fusarium* nemzetség legelterjedtebb tagja a világon. Számos kutatás igazolta a termésmennyiségre gyakorolt negatív hatását, továbbá a dezoxinivalenol (DON) és a zearalenon (ZEA) mikotoxin termelődése okán élelmiszerszennyező faj is egyben. A gomba által termelt DON és ZEA toxin szerepe a kórokozó életében kettős, egyik oldalról a DON toxin a többi mikroorganizmus elnyomásáért felel, továbbá a ZEA ösztrogén aktivitással is rendelkezik, így az ivaros szaporodást szabályzó hormonként is funkcionál (Voigt et al., 2007). A csírapusztulás, szártőkorhadás és a csőfuzáriózis is többek között ennek a kórokozónak köszönhető (Goswami és Kistler, 2004). A gomba által termelt trichotecének az eddig felfedezett legerősebb mikotoxinok közé sorolhatók. A DON toxinok további származékai alapján a 15-acetildezoxinivalenol (15-ADON) és a 3-acetildezoxinivalenol (3-acDON) egységekre bonthatók (Desjardins és Proctor, 2007). Pasquali et al. (2016) kutatásai szerint a 15-ADON kemotípus uralkodik Európában. Említést érdemel még a trichotecén vegyületcsaládból a nivalenol (NIV) és annak acilezett származéka, a 4-acetil-nivalenol (4-AcNIV) is, ami kisebb mennyiségben termelődik ugyan, de élettani problémákat okozhat (Alexander et al., 2009; Blaney és Dodman, 2002; Zhang et al., 2013). A DON és a ZEA felelős a humán emésztőszervi és női hormonokkal összefüggésbe hozható megbetegedéséért (Döll és Dänicke, 2011). Esős és mérsékelt hőmérsékletű időjárási viszonyok között kell számítani a megjelenésére kukoricában (Logrieco et al., 2002; Munkvold, 2003). Hussein et al. (1991) megfigyelései azt mutatták, hogy egyszerre 4 toxint is képes volt termelni 3 különböző *F. graminearum* törzs.

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

A *F. culmorum*, hasonlóan a *F. graminearum*-hoz a kukoricánövénny bármely fenológiájában képes támadni, és minőségi, valamint mennyiségi kártételt okozni (Xia et al., 2022). A gomba több toxint is képes termelni, ezek közül a ZEA-t Dél-Amerikában, Afrikában, Tajvanon, Kínában és Oroszországban is kimutatták élelmiszerekben és takarmányokban (Suzuki et al., 2007; Desjardins, 2006), továbbá a DON termelődését is igazolták szántóföldi körülmények között (Logrieco et al., 2002). A *F. culmorum* által termelt DON és ZEN mellett kis mennyiségben NIV toxint is sikerült már kimutatni (Oldenburg és Ellner, 2015). A gomba teleomorf alakja eddig nem került azonosításra,

aszospórák helyett konídiumokkal szaporodik. A clamydospórák a fertőzött növényi maradványokon telelnek át (Wagacha és Muthomi, 2007).

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

A *F. avenaceum* széles körben elterjedt kórokozó a világon, 1886-ban írták le először, több haszonnövényt képes megbetegíteni, köztük a kukoricát is (Peters et al., 2008; Sørensen et al., 2009). Németországban 1979-ben igazolták, hogy a 9 db *F. avenaceum* törzs mindegyike képes volt moniliformin (MON) termelésre (Marasas et al., 1979). A kórokozó a világon nagyon sok helyen előfordul, de a mérsékelt éghajlati zónában jellemzően magasabb számú a megjelenése (Hietaniemi et al., 2016; Gavrilova et al., 2016). A MON és az enniatin (ENN) toxintermelő tulajdonsága miatt jelentős problémát tud okozni bizonyos területeken (Golrnski et al., 1996; Jestoi et al., 2004; Uhlig et al., 2007; Yli-Mattila et al., 2006; Jestoi, 2008).

2.10.4. *Fusarium fujikuroi* fajkomplex

A *F. fujikuroi* fajkomplex (FFSC) több mint 60 filogenetikai fajt foglal magában, melyek fitopatológiai és humánegészségügyi jelentőséggel is bírnak (Yilmaz et al., 2021). Ezen fajok közül a legjelentősebb talán a *F. verticillioides* (Sacc.) Nirenberg (synonym: *F. moniliforme*). Blacutt et al. (2018) a *F. verticillioides*-t a legfontosabb kukoricát károsító fumonizin-termelőként említi. Számos kutatás bizonyította ennek a fajnak a kukoricatermés mennyiségére és minőségére gyakorolt káros hatását (Miller et al., 2007; Murillo-Williams és Munkvold, 2008; Mesterházy et al., 2012; Mesterházy et al., 2020b). A *F. verticillioides* termeli többek között a legfontosabb „B” típusú fumonizineket is (B₁ (FB₁), B₂ (FB₂) és B₃ (FB₃)). Az FB₁ toxin felelős az élelmiszer fumonizin szennyeződések 70-80%-áért. A B₂ és B₃ felelős az élelmiszerek fumonizin szennyezettségének 15-25%-áért, illetve 3-8%-áért (Rheeder et al., 2002). Ezen toxinok fogyasztását lovak esetében leukoencephalomaláciával, sertés estén tüdőödémával (Thiel et al., 1991; Haschek et al., 2001; Theumer et al., 2002), míg embereknél a nyelőcsőrák fokozott kockázatával hozták összefüggésbe (Marasas, 1995; Missmer et al., 2006; Robertson-Hoyt et al., 2007; Stockmann-Juvala és Savolainen, 2008; Sun et al., 2007). Tahat et al. (2023) csemegekukoricán 30%-os csőfertőzöttséget mért. A *Fusarium proliferatum* (Matsush.) Nirenberg is a fajkomplex nagy jelentőséggel bíró tagja. A *F. proliferatum* számos gazdanövényvel rendelkezik, a kukorica (Logrieco et al., 1995), a rizs (Desjardins et al., 1997) és a spárga (Elmer, 1990) mellett a fokhagymán (Stankovic

et al., 2007; Lević et al., 2009) és az izsópon is leírták már a megjelenését (Ignjatov et al., 2020). Ez a faj a toxinok széles skáláját képes termelni, a fumonizineket (Leslie et al., 1996), MON-t (Marasas et al., 1984) és a beauvericin-t (BEA) (Logrieco et al., 1995) is leírták már.

2.10.5. *Fusarium incarnatum-equiseti* fajkomplexum

A nedvességkedvelő *F. incarnatum-equiseti* (FIESC) fajkomplex, mely gyakran a mérsékelt övi régiókban található meg (Kosiak et al., 2004; Backhouse et al., 2001). A múlt században hagyományosnak tekinthető morfológiai alapú fajazonosítás nem volt megfelelő ennek a fajkomplexnek sem az elkülönítésére, több mint egy évtizede kimutatták már dezoxiribonukleinsav (DNS) alapú vizsgálatokkal, hogy ebbe a fajkomplexbe 30 filogenetikailag különböző faj tartozik (FIESC 1- FIESC 30) (O'Donnell et al., 2009, O'Donnell et al., 2010, O'Donnell et al., 2012). 2016-ban ezt tovább pontosították, ugyanis 7 új izolátumot találtak, ami különbözött az eddig leírt 30-hoz képest, többek között a toxintermelő képességük is eltért, ezt az új filogenetikai fajt FIESC 31-nek nevezték el (Villani et al., 2016). A fajkomplex több toxin előállítására is képes, többek között nivalenol, dezoxinivalenol, T-2, HT-2, zearalenon és equisetin (Hestbjerg et al., 2002; Moss és Thrane, 2004, Kosiak et al., 2005). Munkvold (2017) mérései szerint elsősorban trichotecéneket, moniliformin és zearalenon mikotoxint termel. Desjardins (2006) megállapításai ugyanezeket igazolják.

2.11. A *Fusarium* fajok környezeti igényei

Európában a hűvösebb, csapadékosabb éghajlati zónákban a *F. graminearum*, a *F. culmorum* és a *F. avenaceum* okoz nagyobb járványokat, a *F. verticillioides*, a *F. proliferatum* és a *F. subglutinans* a melegebb és szárazabb területeken szaporodik fel (Doohan et al., 2003; Goertz et al., 2010; Logrieco et al., 2002; Munkvold, 2003; Jurado et al., 2006; Scauflaire et al., 2011). Lengyelországban az 1990-es évekig az éghajlatot mérsékeltnek mondták, ekkor a *F. graminearum* és a *F. culmorum* volt a gyakori, ezzel szemben 1990 után az éghajlati változásnak (melegedésének) köszönhetően a *F. verticillioides* és a *F. temperatum* előfordulása növekedni kezdett (Chelkowski, 1989; Perkowski et al., 1997; Golinski et al., 2010). Veres et al. (2002) szerint a fertőzés mértéke és a toxin mennyisége nagyban függ az időjárási tényezőktől, ezen belül is a csapadék mennyiségétől és a hőmérséklettől. Más kutatók is azt a megállapítást tették, hogy a fuzárium fajok növekedése széles hőmérsékleti intervallumban végbe tud menni, viszont

magas vízaktivitás ($a_w > 0,9$) szükséges hozzá (Marin, et al., 2013; Neme és Mohammed, 2017). Számos nemzetközi tanulmány igazolta, hogy a globális felmelegedéssel együtt járó hőmérséklet- és csapadéknövekedés jelentős szerepet játszik a *Fusarium* nemzetségbe tartozó gombák felszaporodásában (Bernhoft et al., 2012; Schöneberg et al., 2018; Kochiiaru et al., 2020). A *F. graminearum* esetében laboratóriumi körülmények között a magas vízaktivitás ($a_w = 0,95$) mellett mérték a legmagasabb zearalenon termelődési szintet (9,3 mg/kg) (Jiménez et al., 1996). Betakarítás után a penészedés számos tényezőtől függ, a levegő hőmérsékletétől, a páratartalmától és a szemtermés nedvességtartalmától. Ezek a tényezők a toxintermelődést is befolyásolják (ApSimon et al., 1990). Bullerman (1983) megállapítása alapján a fuzárium fajoknak a szántóföldön történő előfordulásához 20-25%-os nedvességtartalomra van szükségük. A mikotoxinok termelődése szempontjából az időjárási tényezőkön kívül fontos még a fertőzés mértéke és a mikrobiális kölcsönhatások összessége is (Moss, 1984; Mills, 1989). A *F. verticillioides* és a *F. proliferatum* esetében a növekedés minimális vízaktivitási (a_w) értéke 0,869 és 0,854 volt, 0,831 és 0,838 vízaktivitási értékeknél nem történt növekedés, és ennek a tényezőnek a hatása nagyobb volt a gomba növekedésére, mint a hőmérsékleté (Samapundo et al., 2005).

A penészgombákat csoportosíthatjuk nedvességigényük alapján (Szigeti, 1997):

- higrofil (kifejezetten nedvességigényes) 98-100% (Fuzárium fajok)
- mezofil (közepesen nedvességigényes) 95-100%
- xerofil (szárazságtűrő) 75-95%

2.12. A *Fusarium* fajok által termelt fontosabb mikotoxinok

Kovács és Banczerowski (1997) definíciója alapján a mikotoxinok olyan mérgező anyagcseretermékek, amelyeket mikroszkopikus gombák állítanak elő és amelyek kémiai szerkezete rendkívül sokféle lehet. Szintén Kovács (2001) megfogalmazása alapján a mikotoxinok többnyire másodlagos anyagcseretermékek, a penészgombák extracellulárisan kiválasztódó termékei. A jelenleg azonosított toxikus gombák által termelt másodlagos anyagcseretermékek száma már az ezret is túllépi. Ez a szám még nem végleges, a tudomány fejlődésével várható, hogy ez a szám bővülni fog a jövőben. Ezek közül a mikotoxinok közül kb. 100 mikotoxin hatása már bizonyított, közülük 15-20 rendelkezik humán- és állategészségügyi kockázattal. A legnagyobb jelentőséggel az aflatoxinok, a fuzáriumtoxink, valamint bizonyos tárolási penészgombák által termelt mikotoxinok bírnak (Rafai, 1999). 1988-tól mintegy 130 különböző fumonizint és

fumonizin izomert azonosítottak (Rheeder et al., 2002; Bartók et al., 2006; Bartók et al., 2008; Bartók et al., 2010). Bartók et al. (2010) *F. verticillioides*-sel beoltott rizstenyészetben fumonizinsav-zsír-sav-észtereket is azonosított, ezek az anyagok valószínűleg a gomba által termelt metabolitok voltak, viszont Dall'Asta et al. (2012) úgy véli, hogy ezek a zsírsavak jelentős szerepet kapnak a rejtett fumonizinek képződésében. A DSM World Mycotoxin Survey (2021) kutatása kimutatta, hogy az aflatoxin (Afla), ZEN, DON, T2, FUM, ochratoxin (OTA) mikotoxinok kockázata jelentősen eltér a világ különböző régióiban (2. táblázat). Az ezek közötti különbségek főként az éghajlati viszonyok, a termesztési technológiák és a tárolási körülmények sajátosságaira vezethetők vissza (DSM World Mycotoxin Survey, 2021).

2. táblázat: A különböző régiók mikotoxin-kockázatának megoszlása és aránya. A táblázatokban szereplő színek a mikotoxin-kockázat mértékét jelölik, sárga (0-25%): alacsony kockázat; bézs (26-50%): mérsékelt kockázat; narancs (51-75%): magas kockázat; piros (76-100%): nagyon magas kockázat (Forrás: DSM World Mycotoxin Survey, 2021)

| | | | | | | | |
|---|-----|---|-----|--|-----|--|-----|
| Észak-Amerika Teljes kockázat 73% | | Szubszaharai Afrika Teljes kockázat 68% | | Közél-Kelet Észak-Afrika Teljes kockázat 55% | | Délkelet-Ázsia Teljes kockázat 66% | |
| Afla | 6% | Afla | 38% | Afla | 23% | Afla | 58% |
| ZEN | 33% | ZEN | 27% | ZEN | 58% | ZEN | 37% |
| DON | 69% | DON | 61% | DON | 55% | DON | 35% |
| T2 | 3% | T2 | 0% | T2 | 15% | T2 | 2% |
| FUM | 50% | FUM | 76% | FUM | 84% | FUM | 86% |
| OTA | 3% | OTA | 6% | OTA | 22% | OTA | 10% |
| Közép-Amerika Teljes kockázat 72% | | Dél-Európa Teljes kockázat 53% | | Kelet-Európa Teljes kockázat 27% | | Dél-Ázsia Teljes kockázat 87% | |
| Afla | 8% | Afla | 34% | Afla | 3% | Afla | 82% |
| ZEN | 25% | ZEN | 34% | ZEN | 48% | ZEN | 40% |
| DON | 64% | DON | 58% | DON | 33% | DON | 41% |
| T2 | 1% | T2 | 8% | T2 | 40% | T2 | 33% |
| FUM | 70% | FUM | 85% | FUM | 29% | FUM | 74% |
| OTA | 5% | OTA | 20% | OTA | 24% | OTA | 73% |
| Dél-Amerika Teljes kockázat 62% | | Közép-Európa Teljes kockázat 52% | | Kelet-Ázsia Teljes kockázat 57% | | Óceánia Teljes kockázat 16% | |
| Afla | 28% | Afla | 14% | Afla | 7% | Afla | 7% |
| ZEN | 38% | ZEN | 50% | ZEN | 36% | ZEN | 16% |
| DON | 43% | DON | 64% | DON | 74% | DON | 12% |
| T2 | 25% | T2 | 35% | T2 | 0% | T2 | 0% |
| FUM | 61% | FUM | 46% | FUM | 70% | FUM | 51% |
| OTA | 14% | OTA | 17% | OTA | 2% | OTA | 3% |
| Dél-Afrika Teljes kockázat 66% | | Észak-Európa Teljes kockázat 41% | | Kína/Tajvan Teljes kockázat 86% | | | |
| Afla | 4% | Afla | 2% | Afla | 16% | | |
| ZEN | 46% | ZEN | 28% | ZEN | 79% | | |
| DON | 82% | DON | 51% | DON | 88% | | |
| T2 | 0% | T2 | 44% | T2 | 13% | | |
| FUM | 48% | FUM | 20% | FUM | 84% | | |
| OTA | 5% | OTA | 7% | OTA | 30% | | |

A fuzárium fajok által termelt jelentős toxinokat csoportosítva (3. táblázat) az alábbi kategóriákat tudjuk leírni:

- fumonizinek
- zearalenon
- trichotecének

3. táblázat: A *Fusarium* fajok által termelt toxinok csoportosítása (Forrás: saját szerkesztés)

| | | | | |
|---------------|--|--|---|---|
| Fumonizin | Fumonizin B 1 | FB 1 | <i>Fusarium dlamini</i> <i>Fusarium globosum</i> <i>Fusarium nygamai</i> <i>Fusarium oxysporum</i> <i>Fusarium proliferatum</i> | Ekwomadu et al., 2020 Zhou et al., 2018 Logrieco et al., 2002 Jestoi et al., 2004 Marin et al., 2004 |
| | Fumonizin B 2 | FB 2 | <i>Fusarium subglutinans</i> | Munkvold et al., 2019 |
| | Fumonizin B 3 | FB 3 | <i>Fusarium temperatum</i> | Streit et al., 2013 |
| | Fumonizin B 4 | FB 4 | <i>Fusarium thapsinum</i> | |
| | Fumonizin A 1 | FA 1 | <i>Fusarium verticillioides</i> | Gelderblom et al., 1988 |
| Zearalenon | ZEN | <i>Fusarium cerealis</i> <i>Fusarium culmorum</i> <i>Fusarium equiseti</i> <i>Fusarium graminearum</i> <i>Fusarium heterosporum</i> <i>Fusarium meridionale</i> <i>Fusarium semitectum</i> | Ekwomadu et al., 2020 Zhou et al., 2018 Logrieco et al., 2002 Munkvold et al., 2019 Streit et al., 2013 Zinedine et al., 2007 Bennett és Klich, 2003 | |
| Trichotecének | Dezoxinivalenol | DON | <i>Fusarium boothii</i> <i>Fusarium culmorum</i> <i>Fusarium graminearum</i> <i>Fusarium cerealis</i> <i>Fusarium meridionale</i> | Ekwomadu et al., 2020 Zhou et al., 2018 Logrieco et al., 2002 Munkvold et al., 2019 Streit et al., 2013 Marin et al., 2013 |
| | 15-acetil-dezoxinivalenol 3-acetil-dezoxinivalenol | 15- és 3-AcDON | <i>Fusarium culmorum</i> <i>Fusarium graminearum</i> <i>Fusarium meridionale</i> | Zhou et al., 2018 Logrieco et al., 2002 Streit et al., 2013 |
| | HT-2 toxin | HT-2 | <i>Fusarium acuminatum</i> <i>Fusarium armeniacum</i> <i>Fusarium langsethiae</i> <i>Fusarium poae</i> <i>Fusarium sporotrichioides</i> | Ekwomadu et al., 2020 Logrieco et al., 2002 Munkvold et al., 2019 Streit et al., 2013 |
| | T-2 toxin | T-2 | <i>Fusarium acuminatum</i> <i>Fusarium armeniacum</i> <i>Fusarium equiseti</i> <i>Fusarium langsethiae</i> <i>Fusarium poae</i> <i>Fusarium sambucinum</i> <i>Fusarium sporotrichioides</i> | Ekwomadu et al., 2020 Logrieco et al., 2002 Munkvold et al., 2019 Streit et al., 2013 |
| | Nivalenol | NIV | <i>Fusarium cerealis</i> <i>Fusarium cortaderiae</i> <i>Fusarium culmorum</i> <i>Fusarium equiseti</i> <i>Fusarium graminearum</i> <i>Fusarium meridionale</i> <i>Fusarium poae</i> | Ekwomadu et al., 2020 Zhou et al., 2018 Logrieco et al., 2002 Munkvold et al., 2019 Streit et al., 2013 Pronk et al., 2002 |

2.12.1. Az Európai Unió mikotoxin-szabályozása

Az EU-ban a feldolgozatlan gabonák mikotoxin-határértékeit a 2023/915 rendelet szabályozza (European Commission, 2023), amely Magyarországra, mint uniós tagállamra nézve kötelező érvényű. A rendeletet az Európai Bizottság folyamatosan felülvizsgálja az új tudományos eredmények, illetve a kockázatértékelések alapján. Ennek eredményeképpen a 2023/915 rendeletet a 2024/1022 rendelettel módosították (European Commission, 2024a), amely szerint 2024. július 1-jétől csökkentették a DON toxin addig érvényben lévő megengedett határértékét. Emellett az EU meghatározta a T-2 és a HT-2 toxinok megengedett maximális szintjét is a 2024/1038-as rendelet alapján (European Commission, 2024b) (4. táblázat).

4. táblázat: A feldolgozatlan szemes kukoricára vonatkozó felső mikotoxin-szennyezettségi határértékek (Forrás: saját szerkesztés)

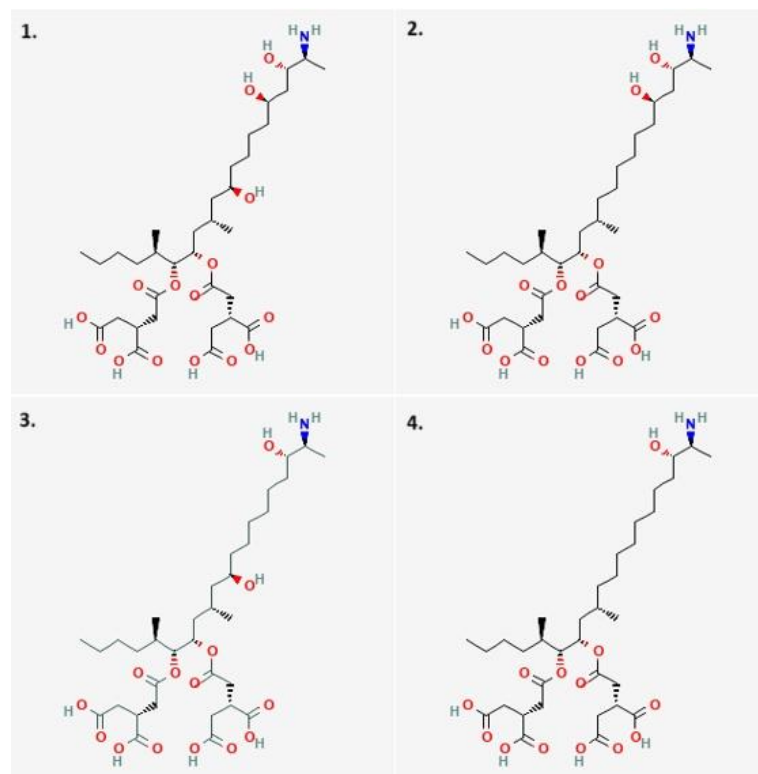
| | Toxin | Felső határérték (µg/kg) | Megjegyzés |
|--------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|---------------------|
| feldolgozatlan szemes kukorica | FB1, FB2 toxin összege | 2000 | 2023/915 rendelet |
| | DON | 1500 | 2024/1022 rendelet* |
| | T-2, HT-2 toxin összege | 100 | 2024/1038 rendelet* |
| | ZEA | 200 | 2023/915 rendelet |
| | | | |

*a 2023/915 rendelet módosításai

2.12.2. Fumonizinek

Ide soroljuk azokat a toxinokat (3. ábra), amelyeket főként a *F. verticillioides*, a *F. proliferatum* és a *Fusarium nygamai* fajok termelnek, ezek a fajok elsősorban gabonákban és azon belül is a kukoricán fordulnak elő nagyobb mennyiségben (da Rocha et al., 2014). Gelderblom et al. (1988) izolálta először, és határozta meg a kémiai szerkezetét a fumonizineknek (FB1 és FB2 toxinok). Az érdekessége a fumonizineknek, hogy vízoldhatóak, ezzel szemben számos mikotoxin csak szerves oldószerben, vagy szerves oldószer- víz keverékében oldható (da Rocha et al., 2014). Az ebbe a csoportba tartozó toxinok hőstabilak, ami azt jelenti, hogy 150 °C felett fog csökkenni a toxinszint, ami már szignifikánsnak is mondható (Sohár, 2007; Marin et al., 2013). Toxikológiai oldalról vizsgálva a fumonizin B₁ (FB₁) a legfontosabb (Domijan és Abramov, 2011, Mesterházy et al., 2022). Szécsi et al. (2013) megfigyelése egybevág Constable et al.

(2003) és Smith (2007) megfigyelésével, ami alapján a fumonizineket négy fő csoportra lehet osztani (A, B, C, P) a szénláncon található funkciós csoportok alapján. A legjelentősebb csoport mikotoxikológiai szempont alapján a B csoport. Az ide sorolt fumonizinek (B₁ = FB₁, B₂ = FB₂, B₃ = FB₃, B₄ = FB₄) közül a humán táplálék szempontjából az B₁ toxin a legfontosabb. Ez a toxin alkotja az FB analógok 70-80%-át. Gyakran tapasztalható, hogy a fumonizinek az aflatoxinokkal egyszerre vannak jelen, ennek az a magyarázata, hogy a hőmérsékleti és vízaktivitási igénye a termelő gombáknak hasonló (Patriarca és Pinto, 2017).

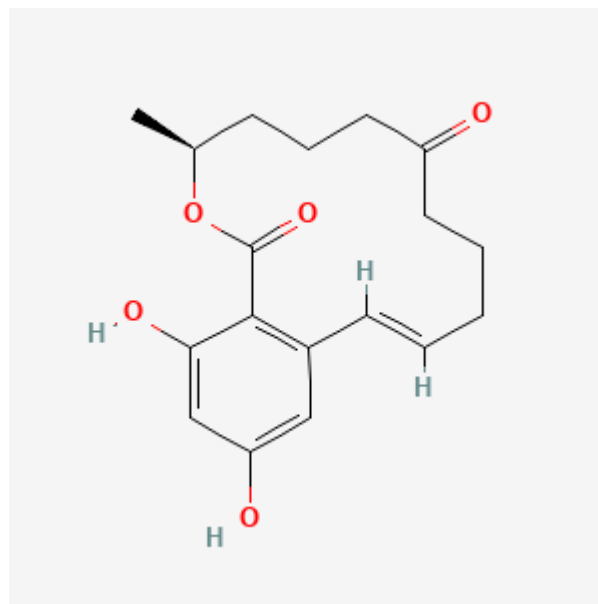


3. ábra: A fumonizin-toxinok szerkezeti képlete: 1: FB₁; 2: FB₂; 3: FB₃; 4: FB₄
(Forrás: National Center for Biotechnology Information, 2024a, 2024b, 2024c, 2024d)

2.12.3. Zearalenon

A sertéseknél figyelték meg az 1920-as években, hogy a penészes kukorica fogyasztása és a hyperoestrogenismus között összefüggés áll fenn (da Rocha et al., 2014). Ekkor még nem tudták, hogy ez szorosan összefügg a zearalenonnal (4. ábra). A nemzetközi szakirodalom alapján a fontosabb ZEN toxint termelő fajok a *F. graminearum*, a *F. culmorum*, a *F. avenaceum*, a *F. equiesti*, a *Fusarium lateritium*, a *Fusarium semitectum*, a *Fusarium crookwellense* (Logrieco et al., 2002; Bennett és Klich, 2003). Zinedine et al. (2007) megfigyelései alapján a zearalenont a *F. graminearum*, a *F. culmorum*, a *Fusarium*

cerealis, a *F. equiseti*, a *F. crookwellense* és a *F. semitectum* termelik. Legfontosabb származékai az α -zearalenol és a β -zearalenol. A fumonizinekhez hasonlóan 150 °C-ig hőstabil, abban az esetben csökkenthető csak a toxinszint, ha ettől magasabb hőfokra hevítjük és magas nyomásnak tesszük alá, a lúgos környezet is csökkenti a toxin mértékét (Marin et al., 2013). A zearalenon a leggyakoribb mikotoxin, amit fuzárium fajok termelnek, Európában, Amerikában és Ázsiában is megtalálható a mérsékelt övi régiókban. A penészgomba a magas páratartalom és az alacsony hőmérsékleti viszonyok mellett képes a legjobban termelni a ZEA-t (Yazar és Omurtag, 2008). Sohár (2007) megfigyelései azt mutatták, hogy a gabonaféléken felületi szennyeződés formájában jelenik meg a kórokozó, és a toxintermelődés a betakarítás után is folytatódik, amennyiben a betárolt termény szárítása nem megfelelő. A toxintermelés hőmérsékleti optimuma 10-12 °C. Bennett és Klich (2003) beszámolója szerint sikerült izolálni és kristályosítani a *F. graminearum* által termelt egyik toxint, amelyet később F-2 névvel illettek. A szakirodalomban a zearalenont és az F-2-t egymás szinonimájaként használják.



4. ábra: A zearalenon szerkezeti képlete

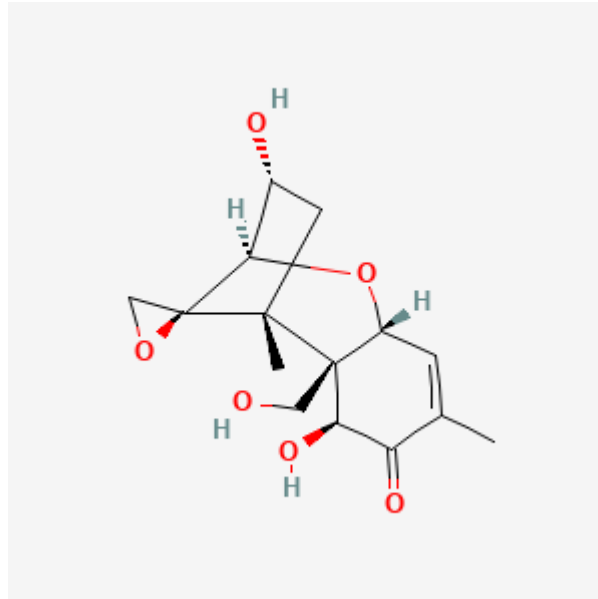
(Forrás: National Center for Biotechnology Information, 2024e)

2.12.4. Trichotecének

A trichotecén toxinok közül a legismertebb a DON (5. ábra), ezt a toxint elsősorban a *F. graminearum*, a *F. culmorum* és a *F. cerealis* fajok termelik. Nagyon stabil toxin, főzéssel, őrléssel, tárolással nem lehet semlegesíteni (Marin et al., 2013). Logrieco et al. (2002) és

Wells et al. (2017). A trichotecéneket négy különböző csoportba sorolhatjuk, melyek közül „A” és „B” trichotecén toxinokat termelik a *Fusarium* fajok (5. táblázat).

Az „A” típusú trichotecéneket a *F. sporotrichioides* és a *Fusarium poae* termeli, míg a „B” típusú trichotecéneket a *F. culmorum* és a *F. graminearum* (Ueno, 1977).



5. ábra: A DON toxin szerkezeti képlete

(Forrás: National Center for Biotechnology Information, 2024f)

5. táblázat: Trichotecén mikotoxinok csoportosítása (Ueno, 1977) (kémiai struktúrájuk alapján)

| | | |
|---------------|--------------------------|----------------------------|
| Trichotecének | „A” típusú trichotecének | HT-2 |
| | | T-2 |
| | | NEO |
| | | DAS |
| | „B” típusú trichotecének | Dezoxinivalenol (DON) |
| | | NIV |
| | | FUS |
| | „C” típusú trichotecének | (nem fuzárium-faj termeli) |
| | „D” típusú trichotecének | (nem fuzárium-faj termeli) |

DON = Dezoxinivalenol (Vomitoxin); DAS = Diacetoxiscirpenol; FUS = Fusarenone-

X; NEO = Neosolaniol; NIV = Nivalenol; HT-2 = HT-2 toxin; T-2 = T-2 toxin

Grove et al. (2007) és McCormick et al. (2011) már beszámoltak arról, hogy a trichotecén csoportba tartozó *Fusarium* fajok több mint 200 olyan vegyületet termelnek, melyek kockázatokat rejtenek magukban (6. táblázat).

6. táblázat: Toxint termelő *Fusarium* fajok és toxinjaik (Logrieco et al., 2002)

| <i>Fusarium</i> fajok | Mikotoxinok |
|------------------------------|---|
| <i>F. acuminatum</i> | T-2, MON, HT-2, DAS, MAS, NEO, BEA |
| <i>F. anthophilum</i> | BEA |
| <i>F. avenaceum</i> | MON, BEA |
| <i>F. cerealis</i> | NIV, FUS, ZEN, ZOH |
| <i>F. chlamydosporum</i> | MON |
| <i>F. culmorum</i> | DON, ZEN , NIV, FUS, ZOH, AcDON |
| <i>F. equiseti</i> | ZEN, ZOH, MAS, DAS, NIV, DAcNIV, FUS, FUC, BEA |
| <i>F. graminearum</i> | DON, ZEN , NIV, FUS, AcDON, DAcDON, DAcNIV |
| <i>F. heterosporum</i> | ZEN, ZOH |
| <i>F. nygamai</i> | BEA, FB1, FB2 |
| <i>F. oxysporum</i> | MON, BEA |
| <i>F. poae</i> | DAS, NIV, FUS, MAS, T-2, HT-2, NEO, BEA |
| <i>F. proliferatum</i> | FB1, BEA, MON, FUP, FB2 |
| <i>F. sambucinum</i> | DAS, T-2, NEO, ZEN, MAS, BEA |
| <i>F. semitectum</i> | ZEN, BEA |
| <i>F. sporotrichioides</i> | T-2, HT-2, NEO, MAS, DAS |
| <i>F. subglutinans</i> | BEA, MON, FUP |
| <i>F. tricinctum</i> | MON, BEA |
| <i>F. verticillioides</i> | FB1, FB2, FB3 |

AcDON = Monoacetyl-dezoxinivalenolok (3-AcDON, 15-AcDON); BEA = Beauvericin; DAcDON = di-acetyldezinivalenol; DAcNIV = di-acetyl-nivalenol; DAS = Diacetoxiscirpenol; DON = Dezoxinivalenol (Vomitoxin); FB1 = FB1 toxin; FB2 = FB2 toxin; FB3 = FB3 toxin; FUC = fukozidáz; FUP = Fusaproliferin; FUS = Fuzarenon-X (4-Acetyl-NIV); HT2 = HT-2 toxin; MAS = MAS-monoacetoxiscirpenol; MON = Moniliformin; NEO = Neosolaniol; NIV = Nivalenol; T-2 = T-2 toxin; ZEN = Zearalenon; ZOH = Zearalenol α and β isomerek.

A *F. graminearum* és a *F. culmorum* fonalas gombák esetében elmondható, hogy a DON toxin előállításához 30%-os szemnedvesség szükséges, tört kukoricán a 26-30 °C-os hőmérséklet volt az optimális. A minimum hőmérsékleti szükséglet a DON termelődéséhez 11°C (Vesonder et al., 1982). A *F. culmorum*, a *F. poae*, a *F. avenaceum* és a *Fusarium tricinctum* esetében az optimális növekedési hőmérséklet 20-25°C között volt. A növekedésük szélső értékei 5-10 és 35 °C volt. Vízáktívitasukat tekintve higrofil csoportba sorolhatók, ugyanis 0,995-0,98%-ig terjedt ez az értékük (Magan és Lacey, 1984). Egy másik kutatási eredmény alapján elmondható, hogy a *F. culmorum* és a *F. graminearum* 25 °C-on magasabb növekedési rátát produkált a 15 °C-kal szemben. A vízáktívítási érték a *F. culmorum* esetében is 0,995-0,98%-ig terjedt 25 °C-os hőmérsékleti

érték mellett. Ugyanezeket a paramétereket vizsgálva a *F. graminearum* esetében az optimális szaporodási feltétel 25 °C és 0,995 vízaktivitási érték volt. Amennyiben csak a DON toxin termelődését vizsgáljuk, akkor elmondható, hogy a 25 °C-os hőmérséklet esetében tízszer több toxin termelődött, mint 15 °C-on 0,995-0,95 vízaktivitási érték mellett (Hope et al., 2005).

2.12.5. A toxintermelést befolyásoló tényezők

Omar (2013) szerint a toxinok termelődését több tényező befolyásolhatja. A csapadék és a hőmérséklet alakulása mellett fontos, hogy a szubsztrát minősége, valamint összetétele milyen. A fuzárium fajok a mérsékelt klímát kedvelik, ahhoz alkalmazkodtak.

Schaafsma és Hooker (2007) vizsgálatai azt mutatják, hogy a fuzárium-fertőzés előrejelzése több fertőzést meghatározó tényező alapulvételével határozható meg. A „DONcast” toxin előre-jelző modell az, ami búzában széleskörűen elterjedt, valamint kukorica esetében is javaslatot tettek a bevezetésére. Kukorica- és búzamintákat felhasználva a toxinszinteket agronómiai hatásokkal és évjáráti hatásokkal összevetve egy lineáris modell alapján becsülték meg. A DON és a fumonizinek előrejelzése kukoricában nehezebb, mert figyelembe kell venni a sebzéseken keresztüli fertőződéseket is. Összességében azt állapították meg, hogy a kukorica esetében a hibrid kiválasztása és az időjárási tényező fogják döntően megszabni azt, hogy a DON és a zearalenon milyen mértékű szennyezést fog kialakítani. Argentínában és a Fülöp-szigeteken beállított kísérletekből származó adatok alapján egy modellt dolgoztak ki a fumonizin-koncentráció előrejelzésére úgy, hogy figyelembe vették a rovarkártétel mértékét és az időjárási tényezőket, mint befolyásoló faktorokat.

Van der Fels-Klerx et al. (2013) vizsgálatainak célja az volt, hogy a változó éghajlati tényezőket figyelembe véve meg tudja határozni Hollandiában a DON és a zearalenon mikotoxin várható szintjét kukoricában. Számításaikban a szél sebességének és a csapadék mennyiségének nagy jelentőséget tulajdonítottak. A toxin termelődéséhez a hőmérséklet mellett a rendelkezésre álló nedvesség mennyiségét is hangsúlyossá tették. A modell nemcsak meteorológiai adatokkal számol, hanem figyelembe veszi az agronómiai és a növényélettani tényezőket is, mint például a hibridet, valamint a vetés, a virágzás és a betakarítás időpontját is. A modell számításába belevették a térség 2002-2007 közötti időszakának toxinszintjeit DON és zearalenon vonatkozásában.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1. Kísérleti terület bemutatása

A kísérleteket a KITE Zrt. Nádudvar határában elhelyezkedő Multifaktoriális Agrotechnológiai Kísérleti Telepén végeztem 2020-2023 között.

A kísérleti helyszín (47°25'51.É 21°12'36.K 86 m tsz) az Alföldi nagytájon, Hajdú-Bihar vármegyében helyezkedik el. A terület jellemző talajtípusa a középköttött réti csernozjom az erre a talajtípusra jellemző paraméterekkel (agyagos vályog (K_A48), átlagos pH (KCl) 7,1, amely semleges tartományba esik. Humusztartalma jó (3,8%). A talaj eredeti AL-oldható P_2O_5 tartalma (286 mg/kg) igen jó kategóriába sorolható (légszáraz talajban), AL oldható K_2O tartalma (499 mg/kg) megint csak az igen jó kategóriába tartozott.

A nádudvari kísérleti helyszínen (6. ábra) a talajművelési nagy parcellák mindegyikét 12 egyenlő mezoparcellára osztottam, amelyek mérete egyenként 4,572 x 120 m, vagyis kb. 550 m² volt. A három különböző kukorica hibridet 4 ismétlésben véletlenszerű elhelyezési mintázattal vetettem el (7. ábra).



6. ábra: A KITE Zrt. nádudvari Multifaktoriális Agrotechnológiai Kísérleti Telepe
(Forrás: Google Earth)

| nyomvonal | Szántás | Redukált | Talajvédő | Sávös |
|-----------|---------|----------|-----------|-------|
| 1 | 3 | 2 | 1 | 3 |
| 2 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| 3 | 2 | 1 | 3 | 1 |
| 4 | 2 | 1 | 3 | 3 |
| 5 | 3 | 2 | 2 | 1 |
| 6 | 1 | 3 | 1 | 2 |
| 7 | 1 | 3 | 3 | 2 |
| 8 | 2 | 2 | 1 | 3 |
| 9 | 3 | 1 | 2 | 1 |
| 10 | 3 | 3 | 2 | 1 |
| 11 | 2 | 1 | 3 | 2 |
| 12 | 1 | 2 | 1 | 3 |

7. ábra: A KITE Zrt. nádudvari Multifaktoriális Agrotechnológiai Kísérleti Telepén a vizsgálatnak helyet adó parcellák. Jelmagyarázat: kék: Fornad (FAO 420); zöld: Armagnac (FAO 490); sárga: Loupiac (FAO 380) (Forrás: saját szerkesztés)

3.2. Agrotechnikai paraméterek

Négy különböző talajművelési rendszerben vizsgáltam három éven keresztül három takarmánykukorica (*Zea mays* L.) hibridet, melyek érésidőjüket tekintve eltérőek voltak (Loupiac (FAO 380), Fornad (FAO 420), Armagnac (FAO 490)). A talajművelési rendszerek közül az első parcella a hagyományosnak mondható szántás volt (Rabe Cormoran), ennél a művelésnél nem marad szármaradvány a talaj felszínén. A második parcella a redukált művelés nevet kapta, ugyanis itt a forgatás nélküli rendszerre térünk át egy kis meredekségi szögű késes közép mélylazítóval (Gaspardo Artiglio), a talaj felszínén kb 15%-os mulcsborítottságot értünk el ezzel a gépkapcsolattal, a művelési mélység 30 cm volt. A harmadik művelési rendszerünk a talajvédő művelés nevet kapta, a 30% körüli szármaradvány-borítottságot egy egyenes késes lazítóval (Orthman Digger) biztosítottuk, a művelt mélység szintén 30 cm volt. A negyedik parcellában 30% feletti mulcsborítottságot tudtunk elérni az Orthman ST6 sávművelő eszközével. Ennek a művelési rendszernek a jelentősége abban rejlik, hogy csupán a teljes terület 40%-át műveli meg, miközben megkülönbözteti a sorokat és a sorközöket, és egy sávtisztító eszköz segítségével a szármaradványokat a sorközökbe tolja, így a sorok mulcsborítottsága minimális lesz. Ebben a művelésben a talajt 28 cm mélységig műveltük. A munkaműveletek és a növényvédelmi beavatkozásokat időrendben a 7. táblázatban foglaltam össze.

7. táblázat: A növényvédelmi és az agrotechnológiai beavatkozások időrendben
(Nádudvar, 2020, 2021, 2023) (Forrás: saját szerkesztés)

| Agrotechnikai és növényvédelmi munkaműveletek | Művelési mód | | | |
|---|---|----------|-----------|---|
| | Szántás | Redukált | Talajvédő | Sávos |
| 2020 | | | | |
| Alaptrágya-kijuttatás teljes felületre | 2019.10.22.: 32 kg N 96 kg P 96 kg K | | | nem |
| Alaptrágya-kijuttatás pozicionáltan | nem | | | 2019.10.24. 32 kg N 96 kg P 96 kg K |
| Alapművelés | 2019.10.24. | | | |
| Alapművelés-elmunkálás | 2019.11.25. | nem | | |
| Magágykészítés | 2020.03.25. | | | nem |
| Vetés | 2020.04.18. | | | |
| Talajfertőtlenítés | 2020.04.18.: Force 1,5 G (15 g/kg teflutrin) 15 kg/ha | | | |
| Gyomirtás | 2020.04.18.: Adengo (150 g/l ciprozulfamid, 225 g/l izoxaflutol, 90 g/l tienkarbazon-metil) 0,44 l/ha | | | |
| Sorközművelő kultivátorozás | 2020.05.22.: UAN (30% nitrogén) 300 l/ha | | | |
| Betakarítás | 2020.10.30. | | | |
| 2021 | | | | |
| Alaptrágya-kijuttatás teljes felületre | 2020.10.15.: 32 kg N 96 kg P 96 kg K | | | nem |
| Alaptrágya-kijuttatás pozicionáltan | nem | | | 2020.10.20. 32 kg N 96 kg P 96 kg K |
| Alapművelés | 2020.10.20. | | | |
| Alapművelés-elmunkálás | 2020.11.25. | nem | | |
| Magágykészítés | 2021.03.24. | nem | | |
| Vetés | 2021.04.12. | | | |
| Talajfertőtlenítés | 2021.04.12.: Force 1,5 G (15 g/kg teflutrin) 15 kg/ha | | | |
| Gyomirtás | 2021.04.12.: Lumax (125 g/l terbutilazin, 37,5 g/l mezotrion, 375 g/l S-metolaklór) 5 l/ha | | | |
| Sorközművelő kultivátorozás | 2021.05.25.: UAN (30% nitrogén) 350 l/ha | | | |
| Betakarítás | 2021.10.08. | | | |
| 2023 | | | | |
| Alaptrágya-kijuttatás teljes felületre | nem | | | |
| Alaptrágya-kijuttatás pozicionáltan | nem | | | |
| Alapművelés | 2022.10.26. | | | 2022.10.27. |
| Alapművelés-elmunkálás | 2023.03.23. | nem | | |
| Magágykészítés | nem | | | |
| Vetés | 2023.04.17. | | | |
| Talajfertőtlenítés | 2023.04.17.: Force 1,5 G (15 g/kg teflutrin) 15 kg/ha | | | |
| Gyomirtás | 2023.04.17.: Adengo (150 g/l ciprozulfamid, 225 g/l izoxaflutol, 90 g/l tienkarbazon-metil) 0,44 l/ha | | | |
| Sorközművelő kultivátorozás | 2023.05.11.: UAN (32% nitrogén) 300 l/ha | | | |
| Betakarítás | 2023.10.02. | | | |

3.3. Időjárási tényezők

Az időjárási tényezőket (csapadék, levegőhőmérséklet) a kísérlet egésze alatt mértem, és az értékeket rögzítettem. A meteorológiai állomás a KITE Zrt. saját fejlesztésű mérőberendezése. A kelésdinamikai megfigyelések alkalmával a talajfelszín alatti 5 cm-es rétegeből származó adatokat a vetés pillanatától 30 napig terjedő intervallumban gyűjtöttem talajhőmérők segítségével. A kísérleti helyszínen a parcellák közvetlen közelében (légvonalban 3-5 m) kerültek kihelyezésre a mérőszenzorok, a talajhőmérséklet-mérők a talajművelési parcellákon belül kaptak helyet. A vizsgálatban szereplő három évből 2020-ban és 2023-ban kielégítő volt a csapadékmennyiség a kukorica szempontjából, ebben a két évben a termésmennyiség is tükrözte azt, hogy a kukorica számára optimális feltételek voltak a vegetációs ciklusban. A csapadék eloszlása nagyon fontos volt ebben a két évjáratban, 2020. június és július hónapban a sokéves átlag másfélszerese hullott, míg 2023. július és augusztus hónapban ez az érték 10-15%-kal volt magasabb a megszokottól (8. táblázat).

8. táblázat: A KITE Zrt. nádudvari Multifaktoriális Agrotechnológiai Kísérleti Telepe csapadékmennyiségének alakulása (Forrás: saját szerkesztés)

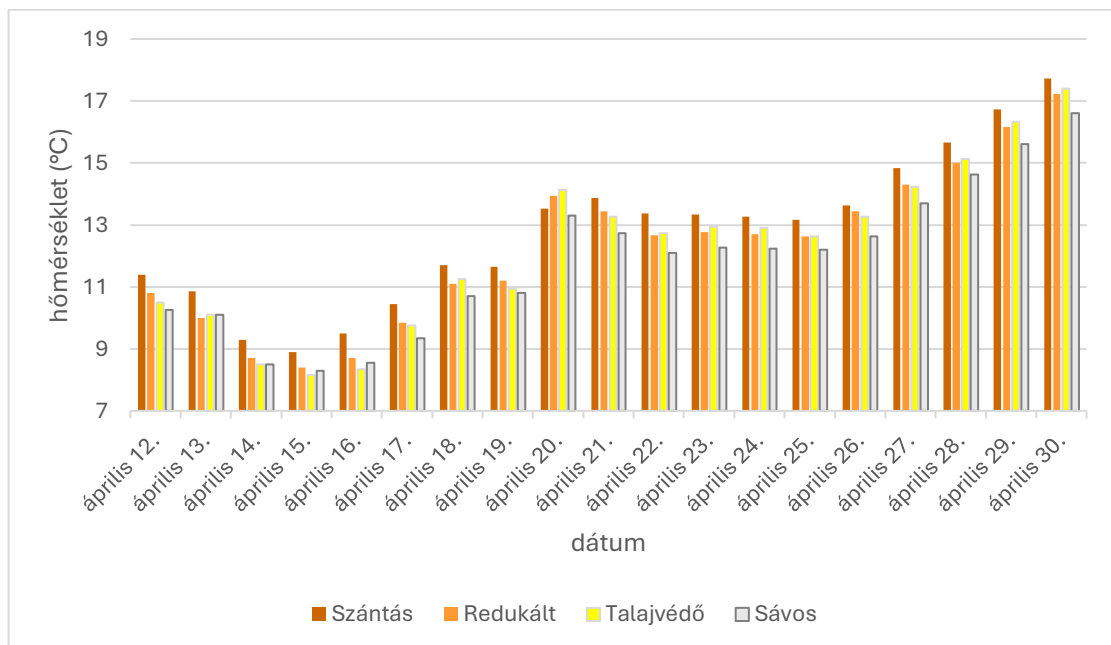
| Hónapok | Csapadék mennyisége havi bontásban (mm) | | | 1951-1991 közötti átlaghoz viszonyítva | | | |
|--------------------|--|------|------|---|------|------|------|
| | 1951-1991 átlaga | 2020 | 2021 | 2023 | 2020 | 2021 | 2023 |
| január | 28 | 18 | 38 | 2 | 64% | 137% | 6% |
| február | 29 | 34 | 34 | 11 | 117% | 117% | 37% |
| március | 33 | 25 | 11 | 52 | 77% | 33% | 159% |
| április | 42 | 7 | 22 | 52 | 17% | 52% | 124% |
| május | 54 | 21 | 78 | 48 | 38% | 144% | 89% |
| június | 66 | 102 | 9 | 52 | 155% | 14% | 79% |
| július | 54 | 85 | 37 | 59 | 158% | 69% | 110% |
| augusztus | 50 | 37 | 45 | 58 | 74% | 90% | 115% |
| szeptember | 43 | 14 | 26 | 38 | 32% | 61% | 88% |
| október | 46 | 20 | 9 | 36 | 42% | 20% | 78% |
| november | 48 | 11 | 38 | 118 | 24% | 79% | 245% |
| december | 38 | 39 | 46 | 79 | 104% | 122% | 208% |
| Éves csapadék (mm) | 531 | 414 | 393 | 604 | 78% | 74% | 114% |

A levegő hőmérsékletének havi alakulása tekintetében az elmúlt 10 év átlagához viszonyítva Nádudvaron néhány Celsius-fokos hőmérsékleti eltérések voltak mérhetőek a hónapok között. A kukorica kezdeti fejlődése szempontjából minden vizsgálati év április

hónapjának középhőmérséklete a szokottnál enyhébb volt, ami egy vontatott kezdeti fejlődést eredményezett (9. táblázat).

9. táblázat: A KITE Zrt. nádudvari Multifaktoriális Agrotechnológiai Kísérleti Telepe hőmérsékletének alakulása havi bontásban (Forrás: saját szerkesztés)

| Hónapok | Elmúlt 10 év átlaga | 2020 | 2021 | 2023 |
|------------|---------------------|------|------|------|
| január | 0 | -1 | 1 | 4 |
| február | 1 | 5 | 2 | 3 |
| március | 6 | 7 | 5 | 7 |
| április | 13 | 11 | 9 | 10 |
| május | 17 | 15 | 15 | 17 |
| június | 21 | 20 | 23 | 20 |
| július | 22 | 21 | 25 | 23 |
| augusztus | 23 | 23 | 21 | 23 |
| szeptember | 17 | 18 | 17 | 20 |
| október | 11 | 12 | 9 | 14 |
| november | 6 | 5 | 5 | 6 |
| december | 1 | 4 | 1 | 3 |



8. ábra: A talajhőmérséklet alakulása három év átlagában 5 cm-es mélységben a talajművelési rendszerekben. Barna = szántás; narancssárga = redukált művelés; citromsárga = talajvédő művelés; szürke = sávós művelés (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

A talajművelési rendszerek között eltérések voltak tapasztalhatóak a vetésmélységben mért talajhőmérséklet tekintetében. A szántás művelésben átlagosan 1 °C-kal magasabb talajhőmérsékletet mértem (8. ábra). A mulcsborítottság hiányából eredően a fekete talajfelszín a szántás művelésmódban gyorsabban melegszik fel, ami a kukoricaszemek kelésdinamikáját befolyásolja.

3.4. Kelésdinamikai vizsgálat

A három vizsgálati évben a vetést követően mind a négy művelési blokk minden 6 soros gépaljában kijelöltem véletlenszerűen egy 3 fm-es szakaszt. Ezeken a szakaszokon az első kikelt növényektől kezdve minden nap más színű hurkapálcával jelöltem az adott napon kelt növényegyedeket. Ezt a jelölési folyamatot hat napon keresztül folytattam, addigra az elvetett növények 90%-a kikelt. Az első növények kikelését követő hetedik napon összesítettem a mintaterületen kikelt egyedeket a kelési napok figyelembevételével. A tenyészidőszak végén visszatértem a kijelölt parcellákhoz, és az azonos napon kikelt kukoricánövények csöveit művelésenként, hibridenként és kelési napok szerint is csoportosítva külön begyűjtöttem a további vizsgálatok elvégzéséhez.

3.5. A termés paramétereinek vizsgálati módszertana

A begyűjtött csöveken előbb fizikai (cső tömege, szemek száma, szemek össztömege, ezerszemtömeg, nedvességtartalom), majd beltartalmi (fehérje-, olaj-, és szénhidráttartalom) méréseket végeztem. A kukoricacsövek morzsolására egy laboratóriumi célokra kifejlesztett speciális, Haldrup-típusú gépet alkalmaztam. A szemek számát VSC-201 Lab Seed Counter típusú műszerrel, míg a szemek tömegét precíziós mérleggel mértem. A beltartalmi paraméterek vizsgálatára egy PerkinElmer DA 7250 típusú analitikai műszert alkalmaztam, amely a közeli infravörös (Near-Infrared: NIR) spektroszkópián alapul, valamint roncsolásmentesen és gyorsan méri meg a termények beltartalmi mutatóit. Az így nyert adatokat statisztikai próbákkal elemeztem tovább. A kísérleti parcellák betakarításához hozammérővel felszerelt John Deere S670 kombájnt alkalmaztunk, amely lehetővé tette a precíziós adatgyűjtést.

3.6. Szártőfertőzés vizsgálati módszere

A kísérlet során a négy talajművelési nagyparcellában parcellánként 12 mintaterületet jelöltem ki véletlenszerű elrendezéssel. A mintaterületek a sorok mentén kerültek kialakításra, egy-egy mintaterület 13,12 m hosszúságú volt, amely a hektár ezredrészének felelt meg. A kijelölt mintaterületeken meghatároztam az összes kifejlett növény

egyedszámát, valamint rögzítettem a szártőbetegségben érintett növények arányát. A fertőzöttség megállapítása a szártő rész kézi roppantásos vizsgálatával történt (Denti és Reis, 2003). A tesztet a talajfelszín felett elhelyezkedő első és második nódusz között végeztem, és azokat az egyedeket tekintettem szártőbetegségben fertőzöttnek, amelyeknél a szár kézzel összeroppanható volt. A felvételezés során figyelemmel voltam a szár rovarkártevő-mentességére is, annak érdekében, hogy a szártőfertőzés kizárólag patogén eredetű legyen.

3.7. Az endofuzáriózis vizsgálati módszere

Minden talajművelési rendszerből származó mintából hibridenként 4×20 kukoricaszemet helyeztem előzetesen PDA táptalajjal feltöltött nagyméretű üveg Petri-csészébe. A kukoricaszemek táptalajra helyezését megelőzően 5 percig desztillált vízben, Neomagnol tableta és Tween 20 felületaktív anyag oldatában áztattam felületi fertőtlenítés céljából, majd steril vízzel leöblítettem azokat. A baktériumok elszaporodásának megelőzése érdekében a táptalaj Petri-csészébe kiöntését megelőzően sztreptomycin-szulfátot (antibiotikum) adtam. A *Mucoraceae* fajok visszaszorítása érdekében a PDA táptalajhoz pentaklór-nitrobenzolt (PCNB) oldottam, amely gátolja a *Mucor* fajok növekedését, de a fuzárium fajok növekedésére nincs hatással (Papavizas, 1967). A magok táptalajra helyezését követően a Petri-csészéket Parafilmmel lezártam, majd laboratóriumi termosztátszekrényben $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on 5 napig inkubáltam. Az inkubációt követően meghatároztam, hogy mintánkként mekkora volt a *Fusarium* fajok által fertőzött szemek aránya. A vizsgálat során a *Fusarium* telepek közül egyedi telepeket izoláltam morfológiai megjelenésük alapján, melyből tiszta tenyészetet készítettem. Az izolált $0,5 \times 0,5$ cm-es agarkockát a hifával borított felével lefelé egy új, steril PDA-val kiöntött Petri-csészébe helyeztem, majd egy hétig $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on inkubáltam. Az inkubációt követően a hifát és a spóratömeget steril szikével lekapartam, majd egy gyűjtőcsőben tároltam a későbbi DNS kivonás céljából. A DNS kivonásáig hűtőszekrényben tároltam a mintákat.

A DNS izolálást NucleoSpin Plant II kit (Macherey-Nagel, Németország) segítségével végeztem az alábbiak szerint.

A minta előkészítése során $400\text{ }\mu\text{l}$ PL1 puffert mértem kerámiagyöngyöket tartalmazó csövekbe (Zymo Research, USA). Az előzetesen elkészített hifát és spóratömeget ezekbe a csövekbe oltókaccsal áthelyeztem, majd homogenizáltam a mintákat MagNaLyser

(Roche, Svájc) készülékben 90 másodpercig 5000 rpm-en. Az így keletkezett homogenizátumhoz 10 µl RNase A oldatot adtam, majd ezt vortexeléssel alaposan összekevertem. Keverést követően a mintákat 10 percig 65 °C inkubáltam termoshakerben (BioSan, Lettország).

A DNS tisztítását és megkötését Nucleospin oszlop segítségével végeztem. A homogenizátumot az oszlopra pipettáztam, amelyet egy gyűjtőcsőbe helyeztem, majd 2 percig centrifugáltam 11000 g-n. A centrifugálás után a csapadékot 1,5 ml-es centrifugacsövekbe helyeztem, amelybe előzetesen 450 µl PC puffert pipettáztam, majd vortexszel összekevertem. A DNS megkötéséhez Nucleospin szilika oszlopot alkalmaztam, amelyet egy új gyűjtőcsőbe helyeztem és a homogenizátumot az oszlopra pipettáztam. A mintát 1 percig 11000 g-n centrifugáltam. A centrifugálás után az oszlopot új gyűjtőcsőbe helyeztem a szilika oszlop mosása céljából. 400 µl PW1 mosópuffert pipettáztam az oszlopra, majd ismét 11000 g-n centrifugáltam 1 percig. A szilika oszlop második mosásához először 700 µl PW2 puffert pipettáztam az oszlopra, ezt követően 1 percig 11000 g-n centrifugáltam, a keletkezett csapadékot leöntöttem, majd megismételtem a folyamatot 200 µl PW2 pufferrel. A centrifugálást követően a szilika oszlopról hagytam elpárologni a maradék etanolt.

A szárítást követően végeztem a nagy tisztaságú DNS eluálását. Az oszlopot egy új 1,5 ml-es centrifugacsőbe helyeztem, az oszlopra 50 µl 70 °C-os nukleáz-mentes vizet pipettáztam. Az oszlopot ezt követően 5 percig 70 °C-on inkubáltam termoshakerben. Az utolsó lépésként pedig centrifugáltam 1 percig 11000 g-n, majd a DNS kivonatot -20 °C-on tároltam a PCR vizsgálatokig.

A kivont DNS minták genomi koncentrációját, valamint a PCR reakciókhoz előkészített DNS minták megfelelő tisztaságát és koncentrációját NanoDrop 2000/2000c spektrofotométerrel (Thermo Fischer Scientific, Németország) mértem.

Az izolátumok molekuláris azonosítását a konzervált riboszomális belső átírt spacer (ITS = Internal Transcribed Spacer) régióját célzó ITS1-ITS4 primerpár (Integrated DNA Technologies, Belgium) termékének szekvenálásával végeztük. A primer szekvenciák a következők voltak: ITS1 5' TCC GTA GGT GAA CCT GCG G 3' és ITS4 5' TCC TCC GCT TAT TGA TAT GC 3' (White et al., 1990). A PCR-reakció térfogata 20 µl volt, amely az alábbiakból állt: 11 µl DreamTaq Green Master Mix (Thermo Fisher Scientific, Németország), 1 µl ITS1 primer és 1 µl ITS4 primer (5 pM koncentráció), 6 µl desztillált

víz és 2 µl genomi DNS (10 pM koncentráció). A PCR-reakciókat T100 termocyclerben (Bio-Rad, Németország) végeztük a következő lépésekkel: kezdeti denaturálás 95 °C-on 3 percig, majd 35 ciklusban denaturálás 95 °C-on 30 másodpercig, primer kötődés 55 °C-on 45 másodpercig, lánchosszabbítás 72 °C-on 1 percig; a végső lánchosszabbítás 72 °C-on 10 percig tartott.

A PCR-termékeket GelRed festékkel (Biotium, USA) festett 1%-os natív SeaKem LE agaróz gélen (Lonza, Svájc) tettük láthatóvá. Ezt követte az ITS-fragmentumok tisztítása a NucleoSpin Gel and PCR Clean-up Kit (Macherey-Nagel, Németország) segítségével, a gyártó utasításainak megfelelően. A megtisztított fragmentumok Sanger-szekvenálását a Microsynth AG (Bécs, Ausztria) végezte, a szekvenciákat BLAST keresésnek vetettük alá a GenBank adatbázisban (Sayers et al., 2022).

3.8.A fumonizin- és DON-toxin-tartalom mérésének módszere

A szemes kukoricamintákat Perten 3310 laboratóriumi darálóval (Perkin Elmer Inc., Waltham, MA, USA) ledaráltuk, majd ebből 5 g-ot mértünk be 50 ml-es centrifugacsőbe, és extraháltuk 20 ml MeCN/H₂O (60/40, v/v) elegyével a következőképpen: 10 perc ultrahangfürdőben történő ultrahangozás után 2 órán keresztül kevertettük a mintákat átfordulós keverővel, melyet újabb 10 perc ultrahangozás követett. Az extrakció után a mintákat centrifugáltuk (10.000 rpm, 10 perc), majd a felülúszókat közvetlenül a HPLC mintaadagoló ún. „well-plate” mintatartó edényébe pipettáztuk.

A minták fumonizin B1, B2, B3 és B4 toxintartalmát HPLC-MS módszerrel határoztuk meg, ahol egy Agilent 1100 (Santa Clara, CA, USA) HPLC rendszer volt csatlakoztatva egy Agilent 1946D, elektroporlasztásos ionforrással (ESI) felszerelt tömegspektrométerhez. A HPLC rendszer egy vákuumos gáztalanítót, egy bináris pumpát, egy well-plate mintaadagolót és egy 40 °C-ra állított oszloptermosztátot tartalmazott. Az elválasztást Kinetex C18 (50 × 4,6 mm, 2,6 µm) (Phenomenex, Torrance, CA, USA) analitikai oszlopon végeztük, amelyhez C18 (Phenomenex) előtétoszlop volt csatlakoztatva. A felhasznált oldószerek HPLC-MS minőségűek voltak, és a VWR International Kft.-től (Debrecen, HU) származtak. Az „A” oldószer (H₂O) és a „B” oldószer (MeCN) is tartalmazott 0,1% (v/v) hangyasavat. A gradienselválasztás 24% B-vel indult, mely 8 perc alatt lineárisan 100%-ra emelkedett, amely értéket 5 percig tartva visszatért a kiindulási értékre 2 perc alatt, melyet további 4 percig tartott. Az elválasztás során az áramlási sebesség 800 µL/perc volt. Az analízishez injektorprogramot alkalmaztunk, amely során a mintaadagoló 1 µL (5 ng/µL) Biopure ¹³C izotóp jelzett FB1 belső standardot (Romer

Labs GmbH, Getzersdorf, AT) adott 4 μL mintához. A tömegspektrométert a következő paraméterekkel működtettük: porlasztógáz (N_2) nyomása 50 psi; szárítógáz (N_2) áramlási sebessége 12 L/min, hőmérséklete 350 °C; kapilláris feszültség 3000 V. Az MS adatokat pozitív ion szelektív ion figyelés (SIM) módban gyűjtöttük: 0-8 perc között a 756, 722, 706, 690 m/z értékeket figyeltetve. A kalibráláshoz használt törzsoldatot frissen készítettük egy mind a négy mérendő toxinból (FB1, FB2, FB3, FB4) 100 μg -ot tartalmazó fiolából (Fumizol Kft. Szeged, HU) 1 ml olyan kukoricaminta kivonatának hozzáadásával, amely nem tartalmazott toxint (vakminta). A következő kalibrációs pontokat hígítottuk ki szintén a vakminta kivonatának segítségével: 100; 50; 10; 5; 1, 0,5; 0,1; 0,05; 0,02 ng/4 μl . Az eredményeket izotóp jelzett belső standard kalibrációval értékeltük ki.

A magas FB1 toxint tartalmazó kukoricamintákat mértük acilezett fumonizin B1 tartalomra is. Mivel az acilezett fumonizinek apolárisabbak, mint az FB1 toxin, ezért más extrahálószeret alkalmaztunk. Az optimális extrakciós körülményeket korábban meghatároztuk. 10 g mintát bemértünk, egy 50 ml-es centrifugacsőbe, majd hozzáadtunk 30 ml oldószeret (MeCN/ H_2O , 80/20, v/v), és extraháltuk, majd centrifugáltuk a fentebb említett módon. Mivel az acilezett fumonizinekre pozitív minták meghatározási határ (LOQ) alatt voltak, ezért szilárd fázisú extrakciót (SPE) alkalmaztunk a minták betöményítésére, amelynél 2 g erős anioncserélő szilikagéllal töltött mintatisztító oszlopokat (SAX) használtunk. A centrifugált minta felülúszójából 10 ml-t áthelyeztünk egy 30 ml-es falcon csőbe, és kevertetés alatt a pH-t nátrium-hidroxiddal (0,1 N) 6,7-re állítottuk. Az előzőleg MeCN-nel kondicionált oszlopokon a mintákat SPE vákuumkád segítségével átengedtük, majd 15 ml 2% hangyasavat tartalmazó oldószerrel (MeCN/ H_2O , 80/20, v/v) egy 30 ml-es teflon centrifugacsőbe eluáltuk és centrifugális bepárlóval szárazra pároltuk, ezt követően 1 ml oldószerrel (MeCN/ H_2O , 80/20, v/v) visszaoldottuk és közvetlenül injektáltuk.

A minták mérése a fentebb leírt HPLC-MS műszerrel és oldószerekkel történt. Az elválasztás egy C18 (Phenomenex) előtétoszlophoz csatlakoztatott Kinetex C18 (250 x 4,6 mm, 5 μm) (Phenomenex) analitikai oszlopon végeztük 800 μL -es áramlási sebességgel, 40 °C-os oszloptermosztálással.

A gradiensválasztás 50% B-vel indult, amely 20 perc alatt 90%-ra emelkedett, ezt az értéket 8 percig tartatva 2 perc alatt visszatért a kiindulási értékre, melyet további 8 percig tartott. Az analízishez injektorprogramot alkalmaztunk, amely során a mintaadagoló 1 μL (100 pg/ μL) 5-O-heptadekanoil-FB1 belső standard oldatot szívott hozzá 10 μL

mintához. A tömegspektrométer ionforrását az alábbi paraméterekkel működtettük: porlasztógáz (N₂) nyomása 50 psi; szárítógáz (N₂) áramlási sebessége 12 L/min, hőmérséklete 350 °C; kapilláris feszültség 3000 V. Az MS adatokat pozitívion-, szelektívion-figyelés (SIM) módban gyűjtöttük a következő ionokat figyeltetve: m/z 961; 975; 985; 987. A kalibráláshoz szükséges törzsoldatot frissen készítettük a mind a hat mérendő toxinból (5-*O*-palmitoil-FB1, *N*-palmitoil-FB1, 5-*O*-oleoil-FB1, *N*-oleoil-FB1, 5-*O*-linoleoil-FB1, *N*-linoleoil-FB1) 100 µg-ot tartalmazó fiolából (Fumizol Kft. Szeged, HU) oldószerrel. A kalibráció a következő koncentrációjú oldatokból állt: 10; 5; 1; 0,5; 0,1; 0,05; 0,01 ng/10 µL. A mintákat belső standard módszerrel értékeltük.

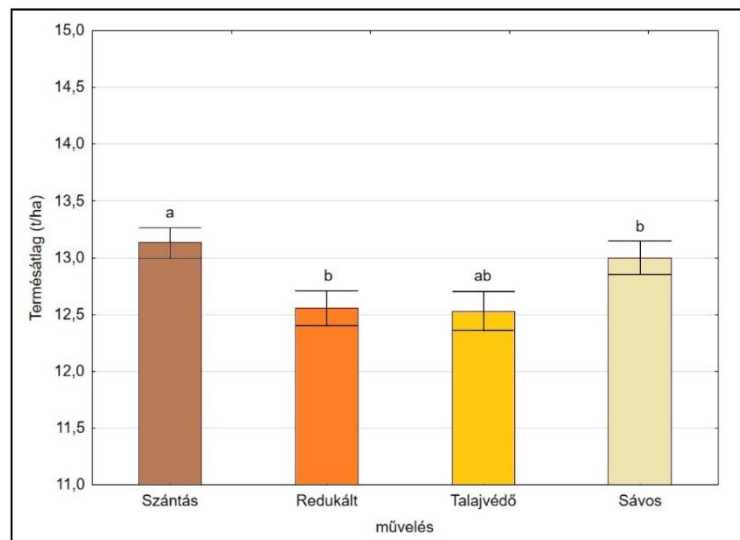
3.9. Statisztikai elemzés

Statisztikai elemzés során a különböző művelési módok hatását a termésátlagok és a beltartalmi jellemzők összehasonlításával vizsgáltam. Tekintettel arra, hogy a vizsgálatot három eltérő időjárási adottságú évben végeztem, az adatokat évről-évre külön is elemeztem, lehetőséget adva az évről-évre részletes értékelésére. A hibridek összevetése szintén évről-évre történt, az egyes paraméterek átlagos értékei alapján. A parametrikus tesztek előfeltételeit Levene-teszttel (varianciák homogenitása) és Q-Q plotokkal (normális eloszlás) ellenőriztem. Mivel az adatok többsége nem felelt meg ezeknek a feltételeknek, az összehasonlításokat Kruskal-Wallis nemparametrikus teszttel végeztem el. Amennyiben a csoportok között szignifikáns eltérést találtam, a páronkénti összehasonlításokat Mann-Whitney U-teszttel végeztem. Az elemzésekhez az IBM SPSS 28.0.1.0 statisztikai szoftvert használtam.

4. EREDMÉNYEK

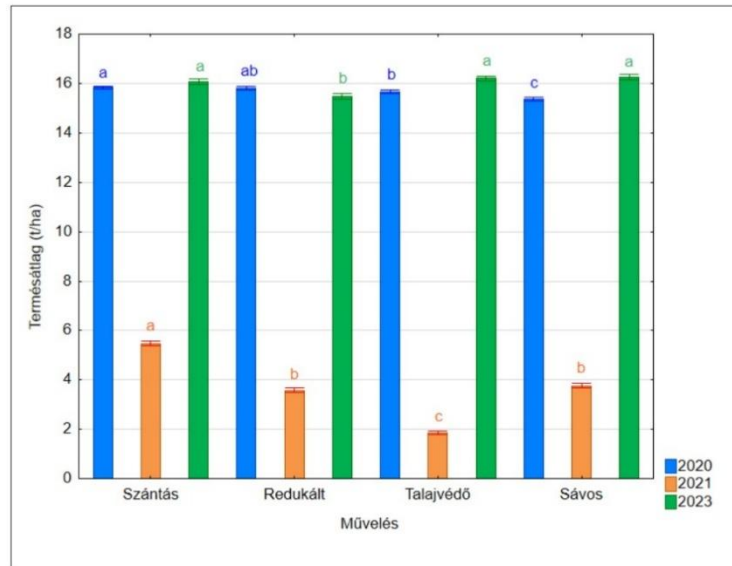
4.1. Terméseredmények

A különböző talajművelési rendszerek terméseredményei eltértek három év vizsgálata alapján (KW-H = 13,4986; $p = 0,0037$). A legnagyobb termésátlag a szántás művelésmódban volt mérhető (13,13 t/ha), ez a terméseredmény szignifikánsan jobb volt a redukált és a sávos művelésnél. A legalacsonyabb terméseredmény a talajvédő művelésben volt (12,52 t/ha), mely statisztikailag nem tért el a redukált és a sávos műveléstől (9. ábra).



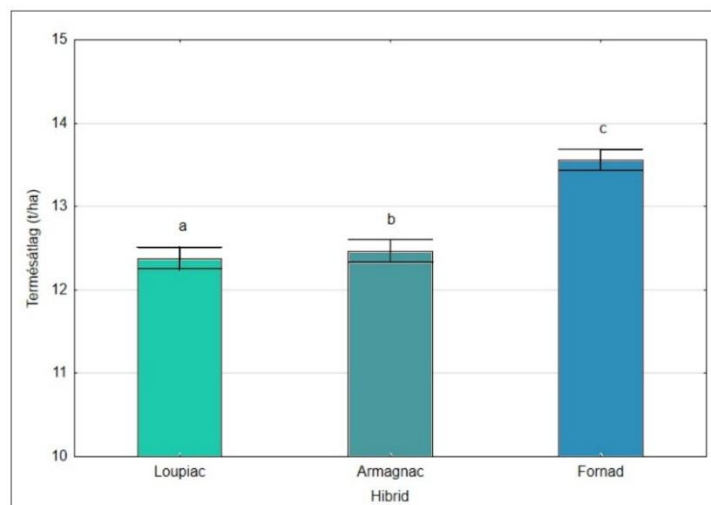
9. ábra: A kukorica terméseredményei a talajművelési rendszerekben három év átlagában (t/ha; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

A kukorica terméseredménye a különböző talajművelési rendszerekben eltérő volt évjáratonként (2020: KW-H = 26,356; $p = 0,00001$; 2021: KW-H = 552,2854; $p = 0,0000$; 2023: KW-H = 27,2307; $p = 0,00001$). 2020-ban a szántás művelési módhoz képest (15,84 t/ha) nem tért el a redukált művelés (15,81 t/ha), míg a talajvédő (15,68 t/ha) és a sávos műveléstől (15,37 t/ha) szignifikánsan magasabb terméseredményt mértem. 2021-ben az évjárat hatása miatt alacsonyabb volt a kukorica termésátlaga, mint 2020-ban. Ebben az évben is a szántás művelésmódban mértem a legmagasabb termésátlagot (5,46 t/ha), ami szignifikánsan magasabb volt a többi műveléstől. 2023-ban hasonlóan magas termésátlag volt, mint 2020-ban, a redukált művelésben mértem (15,47 t/ha) a legalacsonyabb termésszintet, ami statisztikailag különbözött a többi műveléshez képest (10. ábra).



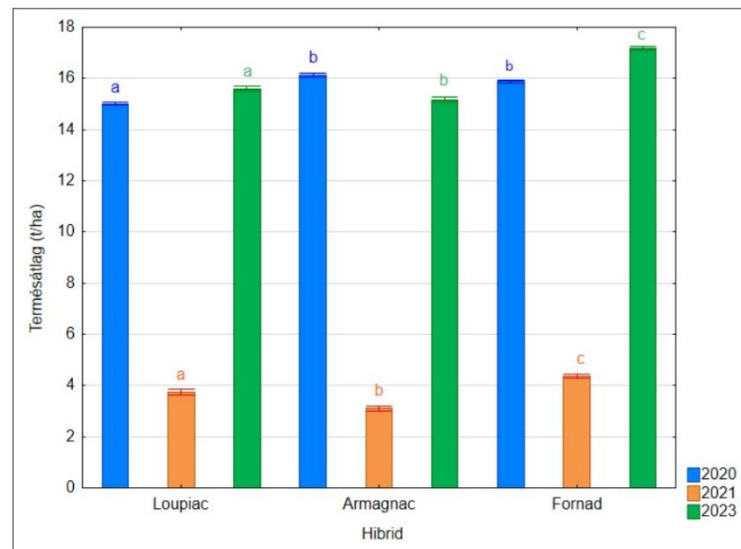
10. ábra: A kukorica terméseredményei a talajművelési rendszerekben éves bontásban (t/ha; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

A három év adatainak együttes értékelésekor a kukoricahibridek termésátlaga eltérően alakult a vizsgálatban (KW-H = 162,5174; $p = 0.0000$). Mind a három hibrid statisztikailag is különbözött egymástól. A legalacsonyabb terméseredményt a Loupiac hibrid érte el (12,37 t/ha), ehhez képest azt Armagnac hibrid 12,46 t/ha-os terméseredményével jobb volt ugyan a Loupiac hibridtől, de rosszabb volt a Fornad hibridtől, aminek a terméseredménye 13,55 t/ha lett (11. ábra).



11. ábra: A kukorica terméseredménye hibridenként három év átlagában (t/ha; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

A hibridek termésátlaga szintén különbözött a három vizsgált évjáratban (2020: KW-H = 200,7351; $p = 0.0000$; 2021: KW-H = 81,6573; $p = 0.0000$; 2023: KW-H = 324,4292; $p = 0.0000$). 2020-ban az Armagnac hibrid hozama volt a legmagasabb (16,13 t/ha), mely szignifikánsan több volt a Loupiac hibridhez képest, de nem tért el statisztikailag a Fornad hibridtől. 2021-ben a termésátlagok alacsonyabbak voltak a 2020-as évhez képest. Az Armagnac hibrid terméseredménye (3,1 t/ha) volt a legalacsonyabb, mely az összes hibridtől statisztikailag is különbözött. Ez 80%-os csökkenés az előző évhez képest. 2021-ben a Fornad hibrid érte el a legmagasabb termésátlagot (4,36 t/ha), mely szintén hasonló nagyságrendű, 73%-os visszaesés az előző évhez viszonyítva. 2023-ban szintén a Fornad hibrid (17,14 t/ha) volt az első a termés mennyiségét illetően, amely a 3 vizsgált évben a legmagasabb termésszintjét érte el, ezzel az értékkel statisztikailag igazolható módon a legmagasabb terméseredmény volt ebben az évjáratban (12. ábra).



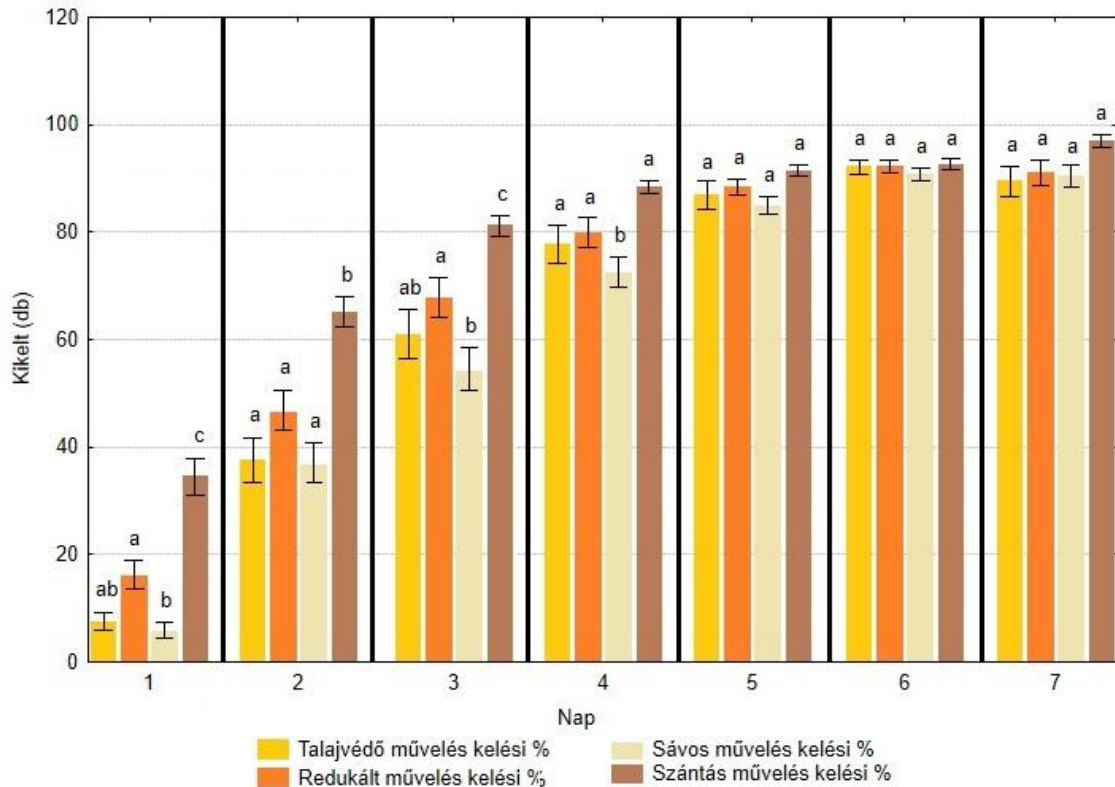
12. ábra: A kukorica hibridek terméseredménye éves bontásban (t/ha; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$).

(Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

4.2. Kelésdinamikai eredmények

A különböző talajművelési rendszerek eltérő hatással voltak a kukorica kelésdinamikájára. A négyéves adatok együttes elemzése alapján a szántás művelési módban mértem a leggyorsabb és legdinamikusabb kelést, amely szignifikánsan meghaladta a többi művelési mód eredményeit. A szántott művelésbe vetett kukorica a harmadik napra 80%-os kelési intenzitást mutatott. A sávos művelési mód ezzel szemben

csak az 5. napra érte el ugyanezt a szintet. A kelésdinamikai mérések az 5. naptól nem mutattak szignifikáns különbséget a talajművelési rendszerek között (13. ábra).



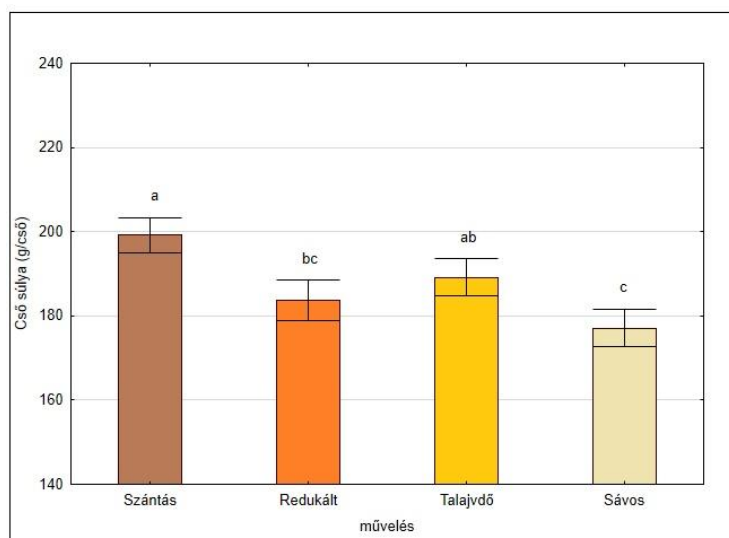
13. ábra: A kelésdinamika kumulatív eredményei a talajművelési rendszerekben három év átlagában (db; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

4.3. A kukoricacsövek fizikai paraméterei

4.3.1. Csősúly

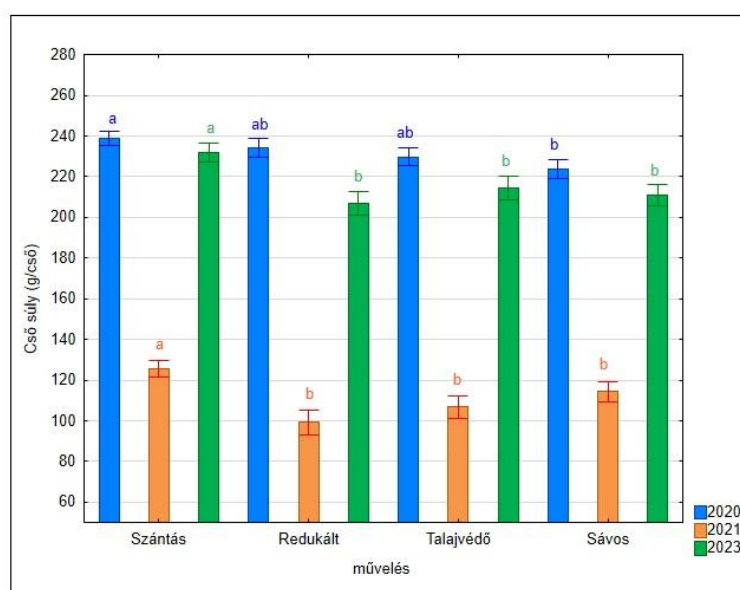
4.3.1.1. A cső súlya talajművelési rendszerek szerint

A három év adatai alapján a talajművelési rendszerek között statisztikai különbség volt mérhető a csövek súlya alapján (KW-H = 14,2063; $p = 0,0026$). A szántás művelési mód szignifikánsan jobb volt (199 g/cső), mint a redukált művelés (183 g/cső) és a sávossal művelés (177 g/cső), viszont a talajvédő műveléstől nem különbözött. Nem volt különbség a redukált és a talajvédő művelés között sem, és a redukált, valamint a sávossal művelés között sem (14. ábra).



14. ábra: A cső súlyának alakulása talajművelési rendszerek szerint három év átlagában (g/cső; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

A cső súlyát évenként vizsgálva szignifikáns különbségeket kapunk (2020: KW-H = 7,1014; $p = 0,0687$; 2021: KW-H = 14,4094; $p = 0,0024$; 2023: KW-H = 14,3016; $p = 0,0025$). Az évjáratok hatása befolyásolta legnagyobb mértékben a csövek súlyát. Az évjáratokon belül a talajművelési rendszerek hatása is mérhető volt. Mindhárom évben a szántás művelési módban volt mérhető a legnagyobb csősúly.

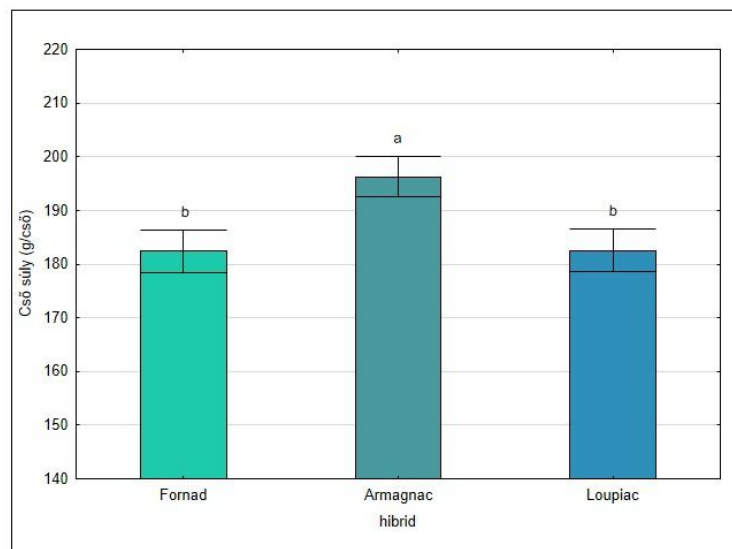


15. ábra: A cső súlyának alakulása éves bontásban a talajművelési rendszerek szerint (g/cső; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

2020-ban a szántás művelési módban a 235 g-os csőtömeg szignifikánsan nem tért el a redukált és a talajvédő műveléstől, míg a sávos műveléstől igazoltan különbözött. 2021-ben a cső súlya alacsonyabb volt az előző évhez képest, a szántás művelésben a 124 g-os csősúly mindhárom műveléstől különbözött, míg a talajvédő, a redukált és a sávos művelés összehasonlítása során nem volt kimutatható számottevő eltérés. 2023-ban ismét a szántás művelésben mértem a legmagasabb csőtömeget (229 g/cső), amely statisztikailag igazolható módon különbözött az összes többi műveléstől, a redukált, a talajvédő és a sávos művelési eljárások között nem volt igazolható különbség (15. ábra).

4.3.1.2.A cső súlya a hibridek szerint

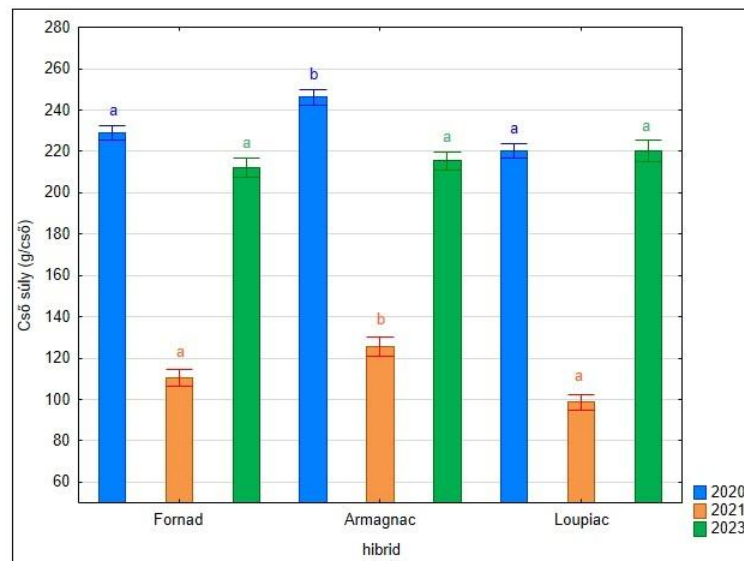
A hibridek között az Armagnac hibrid 196 g-os átlagos csősúlya szignifikánsan jobb volt a Loupiac és a Fornad hibridtől, amelyek 182 g átlagúak voltak, az utóbbi kettő között nem alakult ki szignifikáns különbség (KW-H = 8,7966; $p = 0,0123$) (16. ábra).



16. ábra: A csősúly alakulása hibridek szerint három év átlagában (g/cső; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

A különböző évjáratokban a hibridek csősúlya között mérhető eltérések voltak 2020-ban és 2021-ben (2020: KW-H = 26,3016; $p = 0,00000$; 2021: KW-H = 18,9711; $p = 0,00008$). 2023-ban nem alakult ki szignifikáns különbség (2023: KW-H = 2,9266; $p = 0,2315$). 2020-ban az Armagnac hibrid csősúlya, amely 244 g volt, statisztikailag eltért a másik két hibridétől, míg 2021-ben az Armagnac hibrid 125 g-os csősúlya szintén különbözött

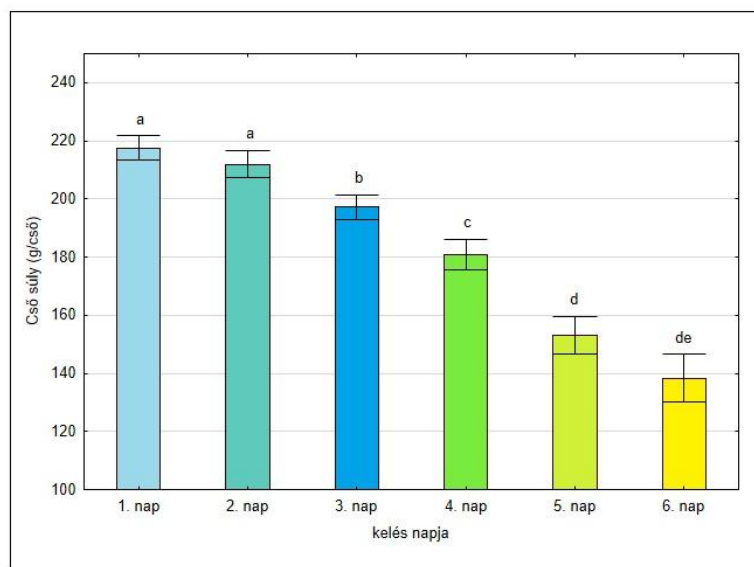
a Loupiac és a Fornad hibridekétől. Ezzel szemben 2023-ban nem volt mérhető szignifikáns eltérés (17. ábra).



17. ábra: A cső súlyának alakulása hibridek szerint éves bontásban (g/cső; ±SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

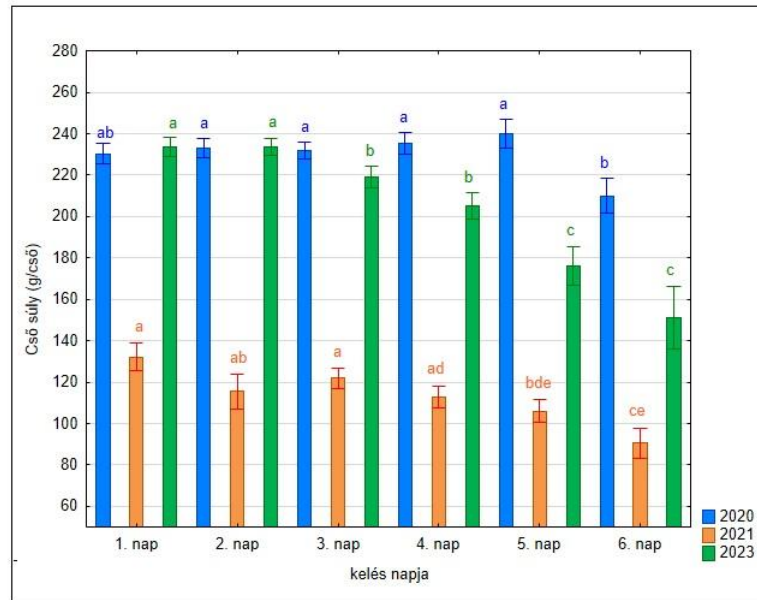
4.3.1.3. A cső súlya a kelés időpontja szerint

A kelés időpontja szerint szignifikánsan eltért a csövek mérete (KW-H = 112,2445; $p = 0,0000$). Az első (217 g/cső) és a második napon (212 g/cső) kelt kukoricánövények csősúlya között nem volt statisztikailag különbség. Azonban a harmadik naptól kelt egyedek csősúlya eltért az első két napon kelt növényekétől. A harmadik, negyedik és ötödik napon kelt növények csősúlya egymástól szignifikánsan különbözött. Az ötödik (153 g/cső) és a hatodik napon (138 g/cső) kelt egyedek csősúlya volt a legkisebb, és közöttük nem volt mérhető eltérés, azonban szignifikánsan alacsonyabbak voltak a többi napon kelt egyed csősúlyától. Az első és az utolsó napon kelő növények csősúlya között 36%-os eltérést tapasztaltam (18. ábra).



18. ábra: A kelés időpontjának hatása a csősúlyra három év átlagában (g/cső; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

A három vizsgált évjáratban szignifikáns különbségek alakultak ki minden évben a cső súlya és a kelés időpontjának vizsgálata alapján (2020: KW-H = 7,3255; $p = 0,1975$; 2021: KW-H = 19,7918; $p = 0,0014$; 2023: KW-H = 56,6829; $p = 0,0000$). 2020-ban a hatodik napon kelt növényegyedek csősúlya (210 g/cső) különbözött a második és az ötödik napok között kelt (230-240 g/cső) növényegyedekétől, azonban szignifikánsan nem tért el az első napon keltekétől. 2021-ben csökkentek a csősúlyok az előző évhez képest (90-132 g/cső), és a különböző napokon kelt egyedek csőtömege között is nagyobb eltérések alakultak ki. Az első négy napon kelt növények csőtömege között nem volt szignifikáns különbség, a hatodik napon kelt egyedek csőtömege szignifikánsan kisebb volt, mint az első négy napon kelt egyedek csősúlya. 2023-ban folyamatosan csökkent a csövek súlya a kelési napok előrehaladtával, amelyek szignifikánsan is eltértek egymástól. Az első és a második (233; 233 g/cső), a harmadik és a negyedik (219; 205 g/cső), valamint az ötödik és a hatodik nap között (176; 151 g/cső) nem volt különbség, de ezek a kétnapos csoportok szignifikánsan eltértek egymástól (19. ábra).



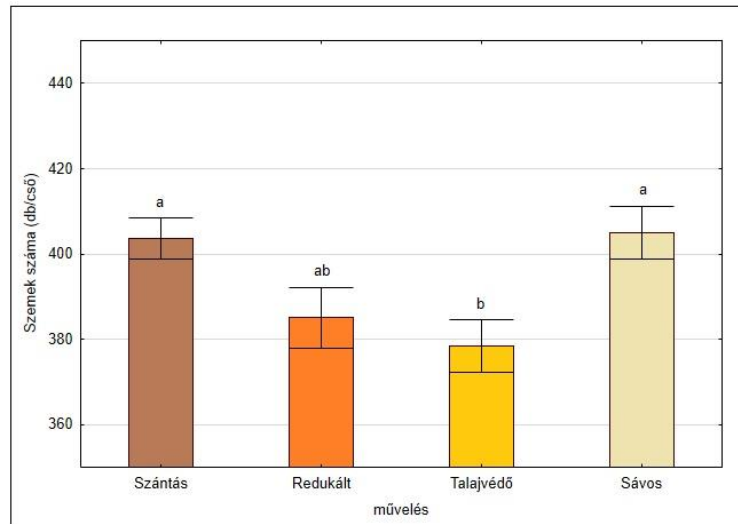
19. ábra: a kelés időpontjának hatása a cső súlyra éves bontásban (g/cső; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

4.3.2. Szemek száma

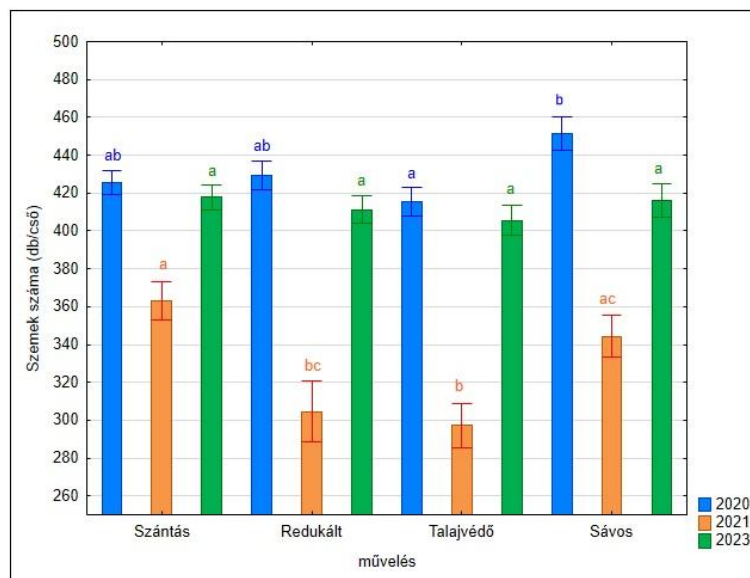
4.3.2.1. A szemek száma talajművelési rendszerek szerint

A szemek száma statisztikailag eltérő volt a különböző talajművelési rendszerekben (KW-H = 11,4592; $p = 0,0095$). A szántás művelésben mért szemszám (404 db/cső) szignifikánsan nem tért el a redukált (385 db/cső) és a sávos művelésben (405 db/cső) mért értékektől, azonban a talajvédő műveléshez képest magasabb volt. A talajvédő művelés (378 db/cső) nem mutatott statisztikai eltérést a redukált műveléshez képest (20. ábra).

A vizsgálatban szereplő évek közül 2020-ban és 2021-ben a szemek számában valós különbségek alakultak ki (2020: KW-H = 9,6549; $p = 0,0217$; 2021: KW-H = 20,8149; $p = 0,000$), 2023-ban viszont nem volt statisztikai elérés (KW-H = 1,5531; $p = 0,6701$). 2020-ban a szántás művelésben 425 db/cső szemszám volt, amely szignifikánsan nem tért el egyik műveléstől sem. A sávos művelés (452 db/cső) a redukált műveléstől (429 db/cső) nem, viszont a talajvédő műveléstől (415 db/cső) szignifikánsan eltért. 2021-ben a szántás művelés (363 db/cső) nem különbözött a sávos műveléstől (344 db/cső), de a redukált (305 db/cső) és a talajvédő műveléstől (297 db/cső) különbözött (21. ábra).



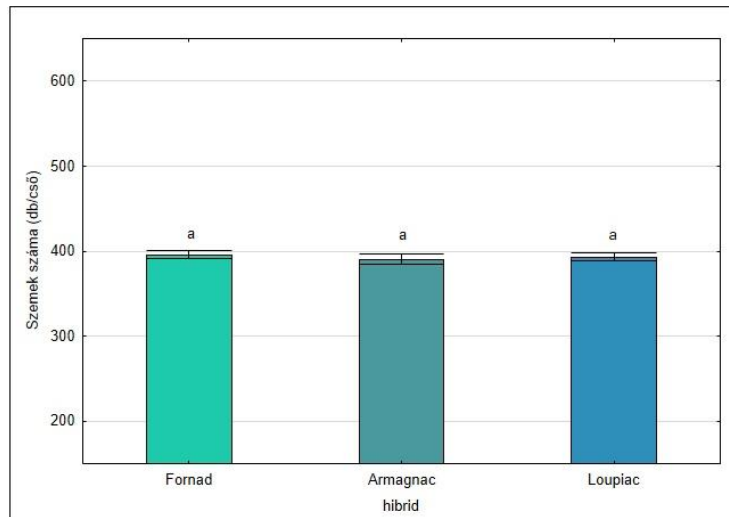
20. ábra: A szemek száma a kukoricacsövön különböző talajművelési rendszerekben három év átlagában (db/cső; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)



21. ábra: A szemek száma a kukoricacsövön különböző talajművelési rendszerekben éves bontásban (db/cső; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

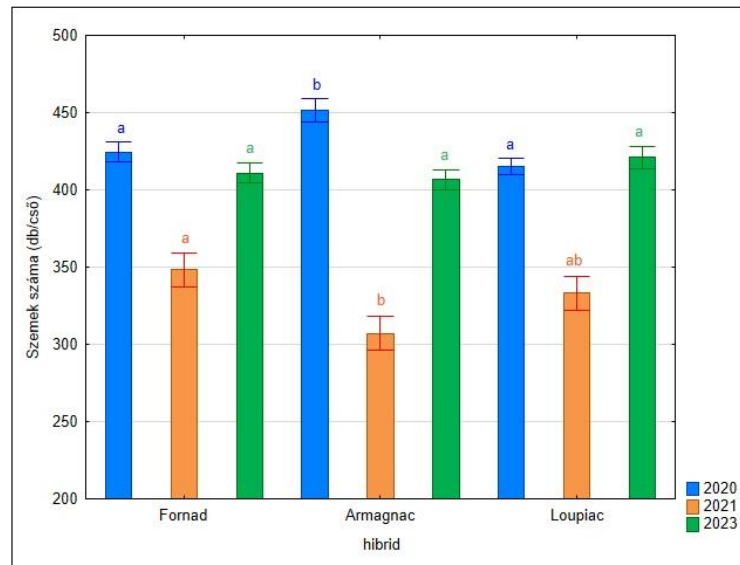
4.3.2.2. A szemek száma a hibridek szerint

A különböző hibridek összehasonlítása során a szemek száma között nem volt kimutatható statisztikailag szignifikáns eltérés (KW-H = 0,1163; $p = 0,9435$). A szemek száma 391 és 396 db/cső között változott (22. ábra).



22. ábra: A szemek száma a kukoricacsövön hibrideként három év átlagában (db/cső; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

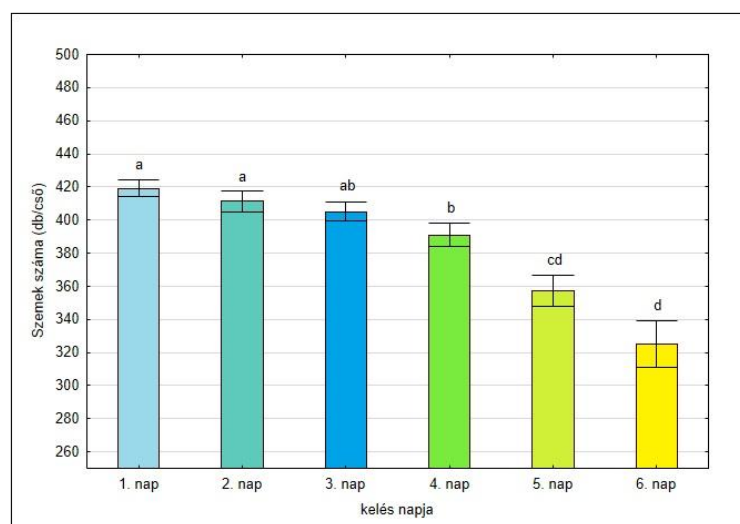
A szemek számában nem minden évjáratban volt szignifikáns különbség a hibrideknél (2020: KW-H = 17,7387; $p = 0,0001$; 2021: KW-H = 7,5845; $p = 0,0225$; 2023: KW-H = 4,2102; $p = 0,1218$). 2020-ban az Armagnac hibridnél (452 db/cső) mértem a legnagyobb szemszámot, ez az érték három év vonatkozásában is a legmagasabb volt, 2020-ban a Fornad és a Loupiac hibridnél is statisztikailag igazoltan nagyobb volt a szemek száma. Az utóbbi két hibrid ebben a paraméterben szignifikánsan nem tért el egymástól. 2021-ben az Armagnac hibridnél mértem a legalacsonyabb szemszámot, a 307 db/cső statisztikailag kisebb volt, mint a Fornad hibrid esetében mért 348 db/cső mennyiség. A Loupiac hibridtől nem különbözött, mint ahogy a Loupiac sem tért el a Fornad hibridtől. 2023-ban nem voltak igazolható különbségek, 407-421 db/cső között változott a szemek száma a hibrideknél (23. ábra).



23. ábra: A szemek számának alakulása hibridenként éves bontásban (db/cső; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

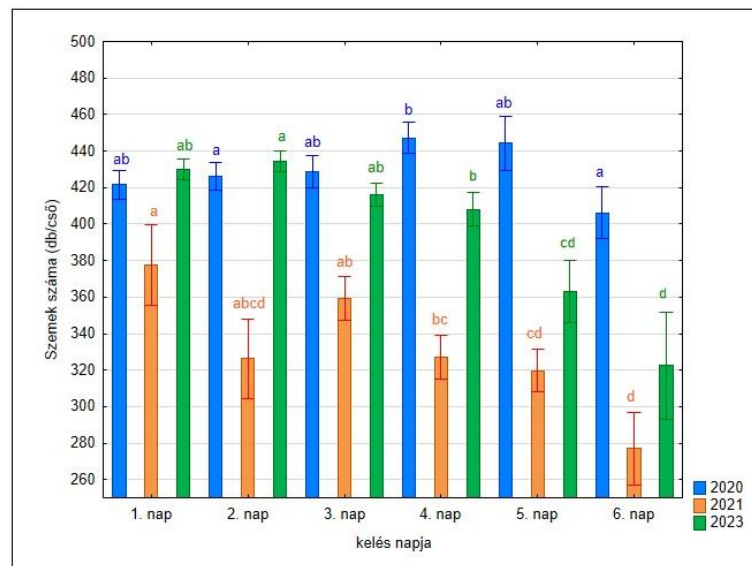
4.3.2.3. A szemek száma a kelés időpontja szerint

A kukoricacsöveken a szemek száma eltérően alakult a kelési idő függvényében (KW-H = 68,9432; $p < 0,0001$). Az első három napon kelt egyedek szemszáma között nem volt szignifikáns különbség, azonban az ezt követően kelt egyedek szignifikáns különböztek az első két napon kelt egyedekhez képest. Az első napon kelt növények átlagosan 419 szemet fejlesztettek, míg a hatodik napon kelt egyedek átlagosan 325 szemet, ami 24%-os csökkenést jelent az első és a hatodik napon kelt egyedek között (24. ábra).



24. ábra: A szemek számának alakulása kelési időpontoként három év átlagában (db/cső; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

A szemek száma eltérő módon alakult a három vizsgált évben, statisztikai különbség 2021-ben és 2023-ban volt (2020: KW-H = 7,6165; $p = 0,1787$; 2021: KW-H = 17,9557; $p = 0,0030$; 2023: KW-H = 35,3807; $p = 0,00000$). 2020-ban mért értékek alapján egy helyen volt statisztikai különbség, a 4. napon kelt növények szemszáma (447 db/cső) tért el a második (426 db/cső) és a hatodik napon (406 db/cső) kelt egyedek szemszámától. A többi napon kelt növények szemszáma statisztikailag nem tért el egymáshoz viszonyítva. 2021-ben végzett felmérés statisztikai különbségeket mutatott, ez alapján az első napon kelt növényegyedek szemszáma szignifikánsan magasabb volt a negyedik, az ötödik és a hatodik napon kelt egyedektől. A második napon kelt növények szemszáma nem tért el egyik naptól sem. Az első napon kelt növények szemszámától (378 db/cső) 27%-kal kevesebbet mértem a hatodik napon (277 db/cső). 2023-ban hasonló csökkenés volt tapasztalható az első napon kelt növényekhez képest, az első három napon kelt növények között nem volt statisztikai különbség, illetve az ötödik és a hatodik napon kelt növények között sem, viszont ez a két csoport szignifikánsan eltért egymástól. Az első napon kelt növények szemszámától (430 db/cső) 25%-kal alacsonyabb értéket mértem a hatodik napon (322 db/cső) (25. ábra).

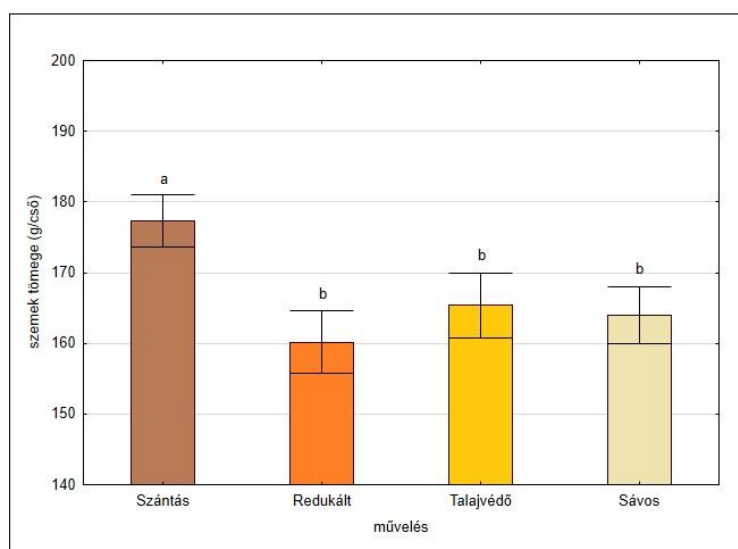


25. ábra: A szemek számának alakulása kelési időpontoként éves bontásban (db/cső; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

4.3.3. Szemek tömege

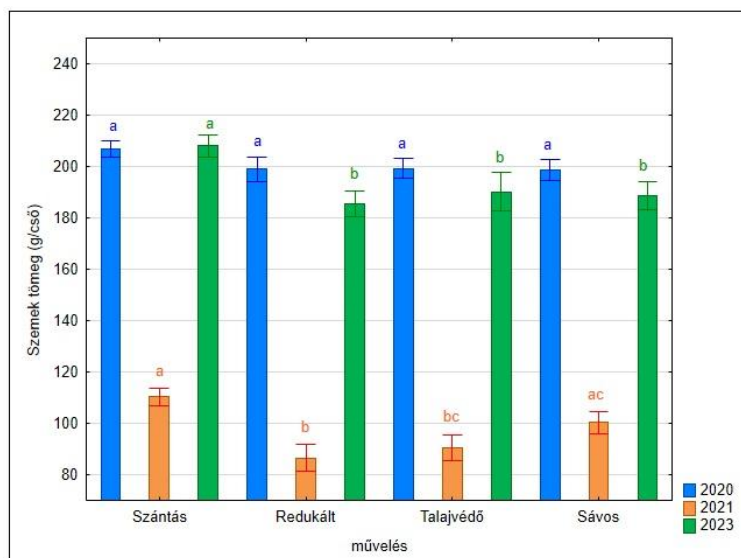
4.3.3.1. A szemek tömege talajművelési rendszerek szerint

A szemek tömege statisztikai különbséget mutatott a különböző talajművelési rendszerekben (KW-H = 10,2365; $p = 0,0167$). A szántás művelésmódban mértem a legnagyobb szemtömeget a csöveken (177 g/cső), a redukált, a talajvédő és a sávos művelésben mért értékek a szántáshoz viszonyítva szignifikánsan kisebbek voltak. A redukált, a talajvédő és a sávos művelés nem mutatott statisztikai különbséget egymáshoz viszonyítva (26. ábra).



26. ábra: A szemek tömege a kukoricacsövön különböző talajművelési rendszerekben három év átlagában (g/cső; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

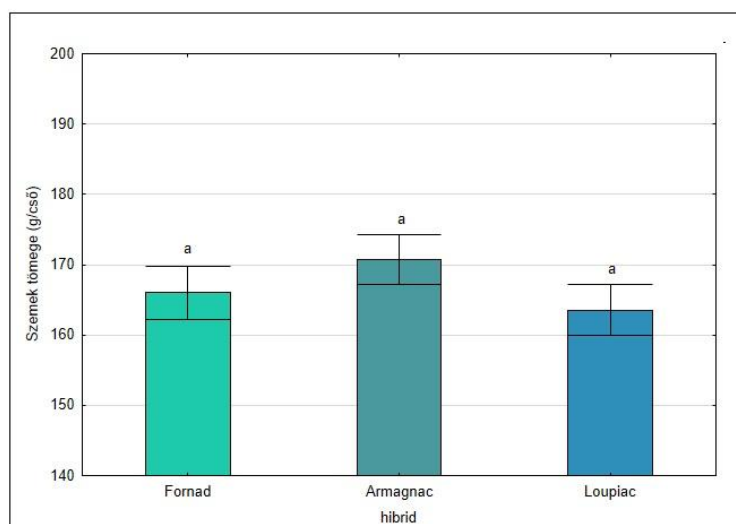
A szemek tömege 2020-ban statisztikailag nem különbözött a művelésekben, míg 2021-ben és 2023-ban különbözött (2020: KW-H= 3,0138; $p = 0,3895$; 2021: KW-H= 16,0502; $p = 0,0011$; 2023: KW-H= 16,9455; $p = 0,0007$). 2021-ben a csövekről lemorzsolts szemek tömege alapján a szántás művelés (110 g/cső) nem különbözött szignifikánsan a sávos műveléstől (100 g/cső), míg a redukált (85 g/cső) és a talajvédő művelés (90 g/cső) statisztikai különbséget mutatott a szántáshoz képest. 2023-ban a szántás művelésmódban mértem a legmagasabb szemtömeget csövenként (208 g/cső), ezzel az értékkel szignifikánsan nagyobb volt a redukált (185 g/cső), a talajvédő (190 g/cső) és a sávos (188 g/cső) műveléstől. Az utóbbi három művelés egymástól nem tért el statisztikailag (27. ábra).



27. ábra: A szemek tömege a kukoricacsővön különböző talajművelési rendszerekben éves bontásban (g/cső; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

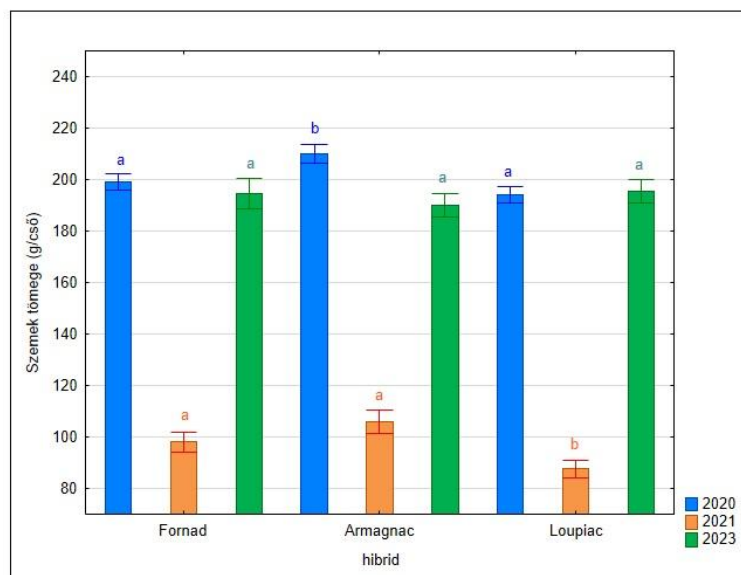
4.3.3.2. A szemek tömege a hibridek szerint

A szemek tömege között nem alakult ki statisztikai különbség a hibridek esetében (KW-H = 2,2154; $p = 0,3303$). A hibrideken 166-171 g/cső közötti termést mértünk átlagosan három év vonatkozásában (28. ábra).



28. ábra: A szemek tömege a hibrideknél három év átlagában (g/cső; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

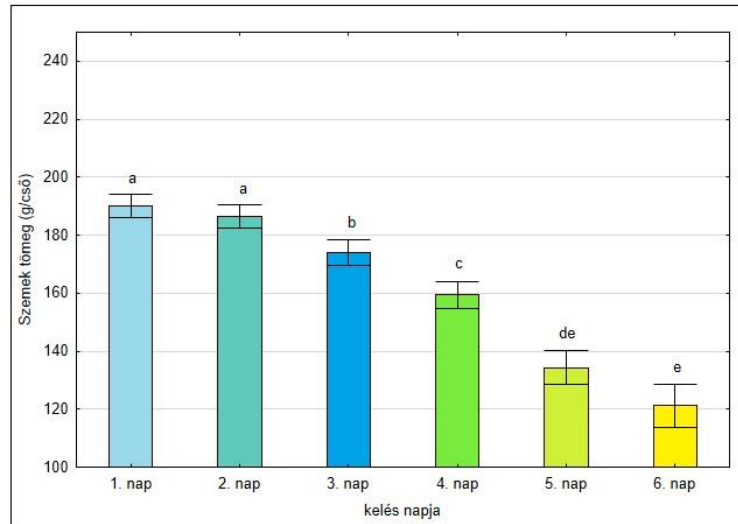
A szemek tömege eltérően alakult három év vizsgálati alapján, 2020-ban és 2021-ben volt különbség, 2023-ban nem volt statisztikai eltérés a hibridek között (2020: KW-H = 15,3824; $p = 0,0005$; 2021: KW-H = 12,9192; $p = 0,0016$; 2023: KW-H = 2,3732; $p = 0,3053$). 2020-ban 210 g/cső átlagú csövekkel szignifikánsan jobb volt az Armagnac hibrid a másik két hibridtől. A Fornad hibrid 199 g/cső átlaga nem különbözött szignifikánsan a Loupiac hibrid 194 g/cső átlagától. 2021-ben szintén az Armagnac hibridnél volt a legmagasabb a szemek tömege (105 g/cső), mely szignifikáns is volt a másik két hibridhez viszonyítva, ez az érték mindössze fele volt a 2020-as évhez képest (29. ábra).



29. ábra: A szemek tömege a hibrideknél éves bontásban (g/cső; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$).
(Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

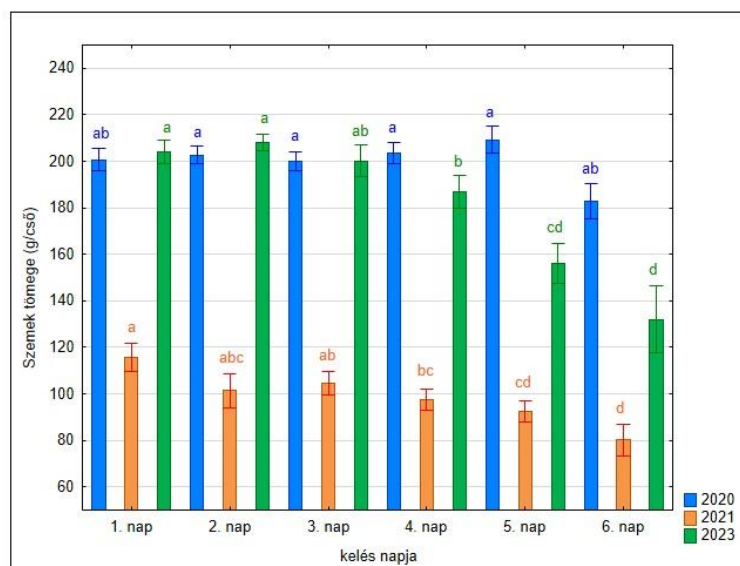
4.3.3.3. A szemek tömege a kelés időpontja szerint

A szemek tömege között statisztikai különbség alakult ki annak függvényében, hogy melyik napon kelt a növény (KW-H = 111,2674; $p = 0,0000$). Az első (190 g/cső) és a második napon kelt (186 g/cső) egyedek szemtömege között nem volt különbség, de ezen a két napon kelt egyedek szemtömege statisztikailag igazolható módon nagyobb volt, mint a később kelt egyedek szemtömege. A harmadik és negyedik napon kelt egyedek szemtömege statisztikailag különbözött, az ötödik (134 g/cső) és a hatodik (121 g/cső) napon mért értékek között nem volt igazolható különbség (30. ábra).



30. ábra: A szemek tömege a kelési idő szerint három év átlagában (g/cső; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

A szemek tömege között nem minden évjáratban volt statisztikai különbség (2020: KW-H = 7,0504; $p = 0,2169$; 2021: KW-H = 17,4917; $p = 0,0037$; 2023: KW-H = 53,7362; $p = 0,0000$) 2020-ban a hatodik napon kelt egyedek szemtömege (183 g/cső) különbözött a második (202 g/cső), a harmadik (199 g/cső), a negyedik (203 g/cső) és az ötödik (209 g/cső) napon kelt egyedek szemtömegétől. Az első napon kelt egyedeken mért érték (201 g/cső) egyikétől sem különbözött. 2021-ben az első három napon kelt növények értékei között nem volt statisztikai különbség, de az első nap (116 g/cső) különbözött a negyedik (98 g/cső), az ötödik (93 g/cső) és a hatodik (80 g/cső) naptól. 2023-ban hasonló tendencia alakult ki, mint 2021-ben. Az első három nap (200-208 g/cső) statisztikailag nem különbözött egymástól, a negyedik naptól a hatodik napig (137-182 g/cső) viszont statisztikai különbségek alakultak ki. Az első és az utolsó napon kelt egyedek szemtömege között 35%-os különbség volt (31. ábra).

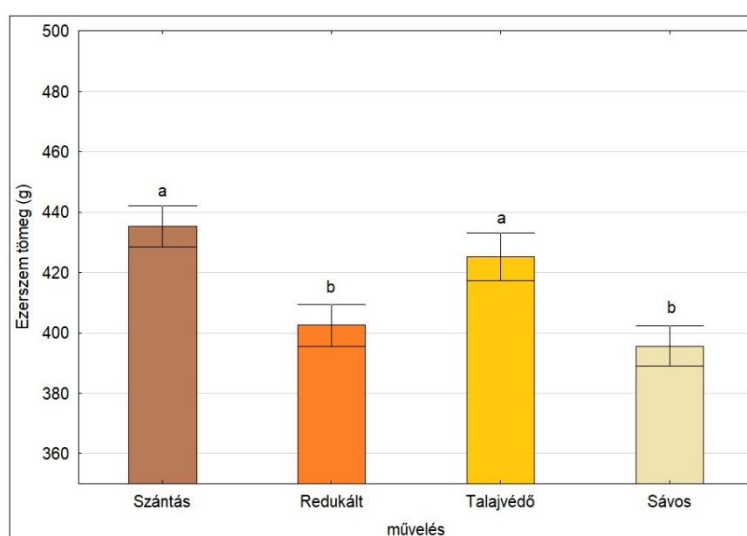


31. ábra: A szemek tömege a kelési idő szerint éves bontásban (g/cso; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

4.3.4. Ezerszemtömeg

4.3.4.1. A szemek ezerszemtömege talajművelési rendszerek szerint

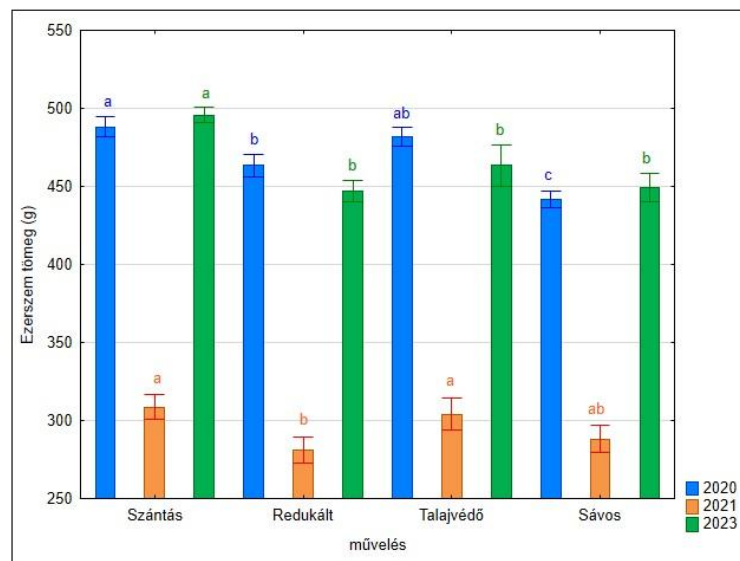
A talajművelési rendszerek között különbségek voltak az ezerszemtömegek tekintetében (KW-H = 32,1023; $p = 0,00000$).



32. ábra: Az ezerszemtömeg alakulása a különböző talajművelési rendszerekben három év átlagában (g; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

A szántás művelési mód 435 g-os átlaga szignifikánsan nem különbözött a talajvédő műveléstől (425 g), viszont a redukált (402 g) és a sávos műveléstől (396 g) igazolhatóan nagyobb volt. A redukált és a sávos művelés sem különbözött statisztikailag egymástól (32. ábra).

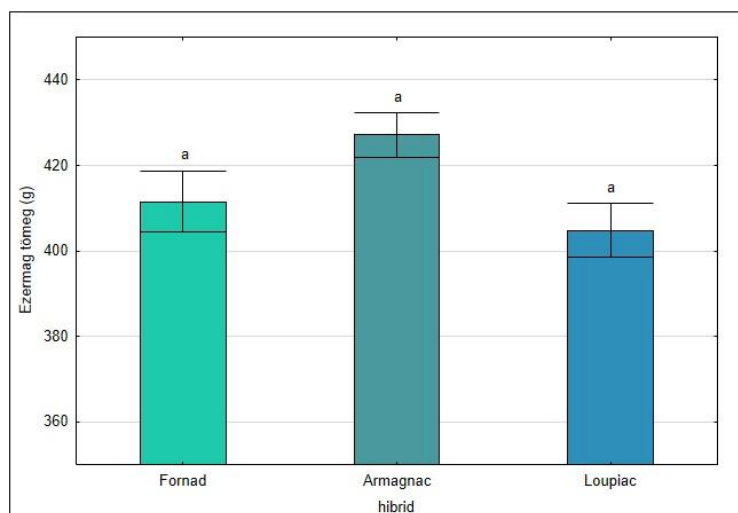
A különböző évjáratok szerint az ezerszemtömeg alakulásában eltérések voltak tapasztalhatók a különböző talajművelési rendszerekben (2020: KW-H = 29,8461; $p = 0,00000$; 2021: KW-H = 6,9212; $p = 0,0745$; 2023: KW-H = 43,8743; $p = 0,00000$) 2020-ban a szántás művelési mód (488 g) nem különbözött statisztikailag a talajvédő műveléstől (482 g), de nagyobb volt a redukált (463 g) és a sávos (441 g) művelésektől. Az utóbbi két művelés között is valós különbség alakult ki. 2021-ben ismét a szántás művelésben volt mérhető a legmagasabb ezerszemtömeg (309 g), ami nem tért el a talajvédő (304 g) és a sávos (288 g) műveléstől. A 2020-as évhez képest 37%-kal volt kevesebb ez az érték a szántás művelésmódban. 2021-ben a redukált művelésben mértem a legalacsonyabb ezerszemtömeget (281 g), ami a sávos műveléstől nem volt statisztikailag kisebb, de a szántás és a talajvédő módtól szignifikánsan kisebb volt. 2023-ban 495 g-os átlaggal a szántás művelésben volt a legmagasabb az ezerszemtömeg, ez az érték statisztikailag igazolható módon magasabb volt a másik három művelésben mért értéktől. A redukált (447 g), a talajvédő (463 g) és a sávos (449 g) művelés szignifikánsan nem tért el egymástól (33. ábra).



33. ábra: Az ezerszemtömeg alakulása a különböző talajművelési rendszerekben éves bontásban (g; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

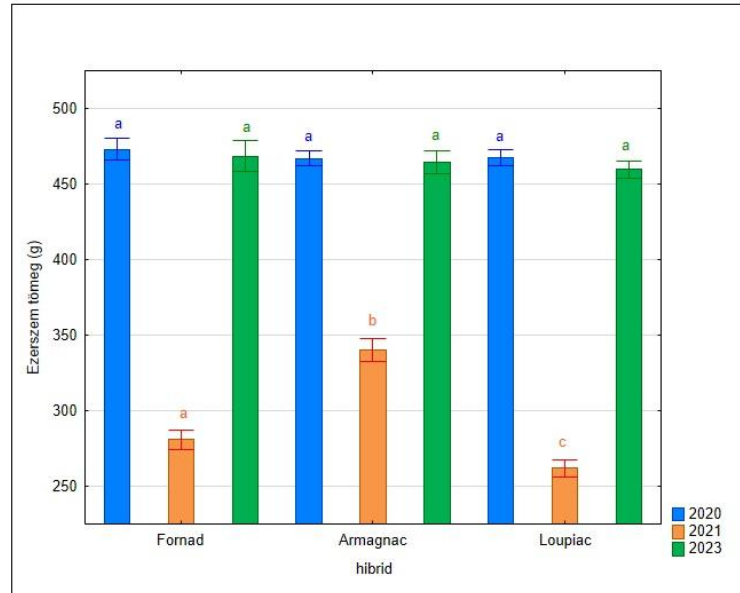
4.3.4.2. A szemek ezerszemtömege a hibrdek szerint

A hibrdek esetében az ezerszemtömeg alakulásában nem volt igazolható statisztikai különbség (KW-H = 3,1861; $p = 0,2033$). A hibrdek ezerszemtömegének átlagában ugyan az Armagnac hibrid volt a legnagyobb (417 g), de ez statisztikailag nem különbözött a Fornad (411 g) és a Loupiac (404 g) hibrdtől (34. ábra).



34. ábra: Az ezerszemtömeg alakulása a hibrdeknél három év átlagában (g; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

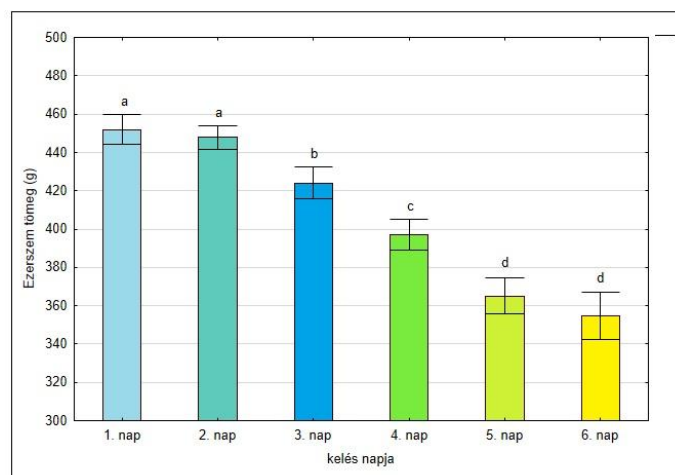
Az ezerszemtömeg a hibrdenként nem minden évjáratban különbözött egymástól (2020: KW-H = 0,4405; $p = 0,8023$; 2021: KW-H = 69,4895; $p = 0,0000$; 2023: KW-H = 0,232; $p = 0,8905$). 2020-ban és 2023-ban nem volt statisztikai különbség a hibrdek között. 2021-ben mindhárom hibrid különbözött statisztikailag egymástól. Az Armagnac hibrid volt a legnagyobb az ezerszemtömeget illetően (340 g), ezt követte a Fornad (281 g) és végül a Loupiac hibrid (262 g) (35. ábra).



35. ábra: Az ezerszemtömeg alakulása a hibrideknél éves bontásban (g; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

4.3.4.3. A szemek ezerszemtömege a kelés időpontja szerint

A szemek ezerszemtömege eltérő volt a kelési időpontok függvényében (KW-H = 103,1552; $p = 0.0000$).

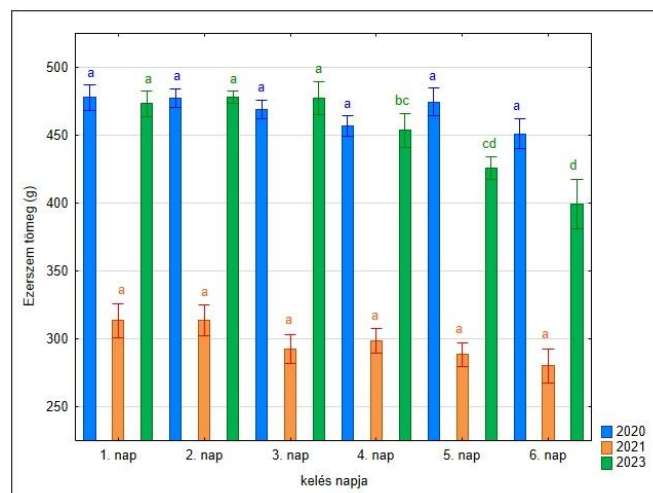


36. ábra: Az ezerszemtömeg alakulása kelési idő szerint három év átlagában (g; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

Az első két napon kelt egyedek között nem volt igazolható különbség, azonban a harmadik (424 g), a negyedik (397 g) és az ötödik (365 g) napon kelt egyedek

statisztikailag különböztek az első két napon kelt egyedektől és egymáshoz képest is. Az ötödik és a hatodik (355 g) napon kelt egyedek ezerszemtömege között nem volt igazolható statisztikai különbség (36. ábra).

Az ezerszemtömeg nem minden évjáratban mutatott statisztikai különbséget (2020: KW-H = 6,0077; p = 0,3055; 2021: KW-H = 4,3485; p = 0,5004; 2023: KW-H = 45,3326; p = 0,00000). 2020-ban és 2021-ben nem volt statisztikai különbség, 2023-ban az első három napon kelt egyedek nem különböztek statisztikailag (473-478 g), míg a negyedik (454 g), az ötödik (426 g) és a hatodik (399 g) napon kelt egyedek ezerszemtömege kisebb volt, mint az első három napon kelt egyedeké, amely szignifikáns különbség volt. A negyedik és az ötödik nap nem tért el egymáshoz képest, valamint az ötödik és a hatodik nap sem, ezzel szemben a negyedik és a hatodik nap szignifikánsan különbözött (37. ábra).



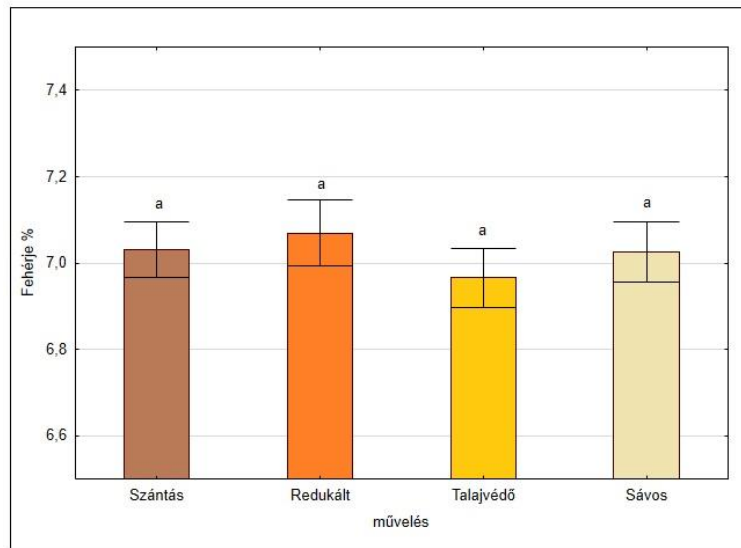
37. ábra: Az ezerszemtömeg alakulása kelési idő szerint éves bontásban (g; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

4.4. Beltartalmi paraméterek

4.4.1. Fehérje

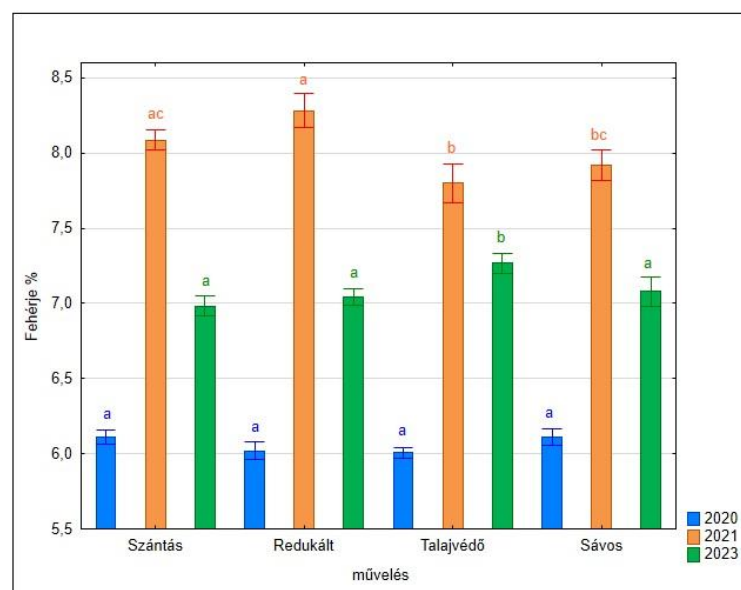
4.4.1.1. A szemek fehérjetartalma talajművelési rendszerek szerint

A fehérjetartalomban nem volt különbség a talajművelési rendszereknél (KW-H = 1,1116; p = 0,7743). A négy különböző talajművelési rendszer szignifikánsan nem tért el egymáshoz képest. A fehérjetartalom 6,96-7,07% között változott (38. ábra).



38. ábra: A kukoricaszemek fehérjetartalmának alakulása talajművelési rendszerek szerint három év átlagában (%; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

A fehérjetartalom éves bontásban több esetben statisztikai különbséget mutat (2020: KW-H = 3,6281; $p = 0,3045$; 2021: KW-H = 14,3125; $p = 0,0025$; 2023: KW-H = 17,8516; $p = 0,0005$). 2020-ban a művelések nem tértek el egymástól, a fehérjetartalmak nagyon egységesen alakultak a kezelésekben (6,01-6,11%).

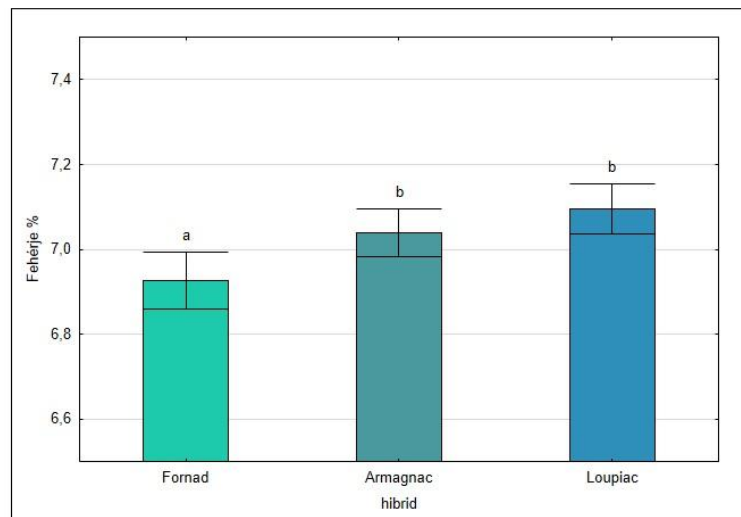


39. ábra: A kukoricaszemek fehérjetartalmának alakulása talajművelési rendszerek szerint éves bontásban (%; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

2021-ben a fehérjetartalmak eltértek egymástól a művelésekben. A szántás művelés fehérjetartalma (8,08%) nem tért el a redukált (8,28%) és a sávós (7,92%) műveléshez képest. A 2020-as évhez képest 37%-kal magasabb volt a fehérjetartalom 2021-ben. 2023-ban a talajvédő művelésben mértem a legmagasabb, 7,27%-os fehérjetartalmat, ez szignifikánsan jobb volt a szántás (6,98%), a redukált (7,04%) és a sávós (7,08%) műveléstől (39. ábra).

4.4.1.2. A szemek fehérjetartalma a hibridek szerint

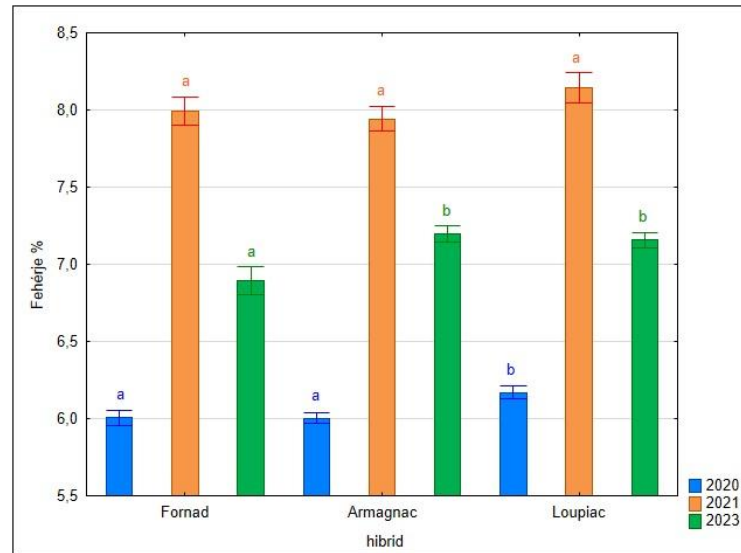
A hibridek fehérjetartalma között statisztikai eltérés volt (KW-H = 7,5074; $p = 0,0234$). A Fornad hibrid esetében mértem a legalacsonyabb fehérjetartalmat (6,93%), ami szignifikánsan alacsonyabb volt, mint a Loupiac (7,1%) és az Armagnac (7,04%) hibrid fehérjeszintje. A Loupiac és az Armagnac nem különbözött statisztikailag egymástól (40. ábra).



40. ábra: A kukoricaszemek fehérjetartalmának alakulása a hibrideknél három év átlagában (%; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

A hibridek fehérjetartalma nem minden évben mutatott statisztikai különbséget (2020: KW-H = 11,5841; $p = 0,0031$; 2021: KW-H = 2,4943; $p = 0,2873$; 2023: KW-H = 36,7406; $p = 0,00000$). 2021-ben nem volt szignifikáns különbség a hibridek között, a fehérjetartalom 7,94-8,14% között alakult. 2020-ban valós különbség volt a hibridek között, míg a Fornad (6%) és az Armagnac hibrid (6%) statisztikailag nem különbözött,

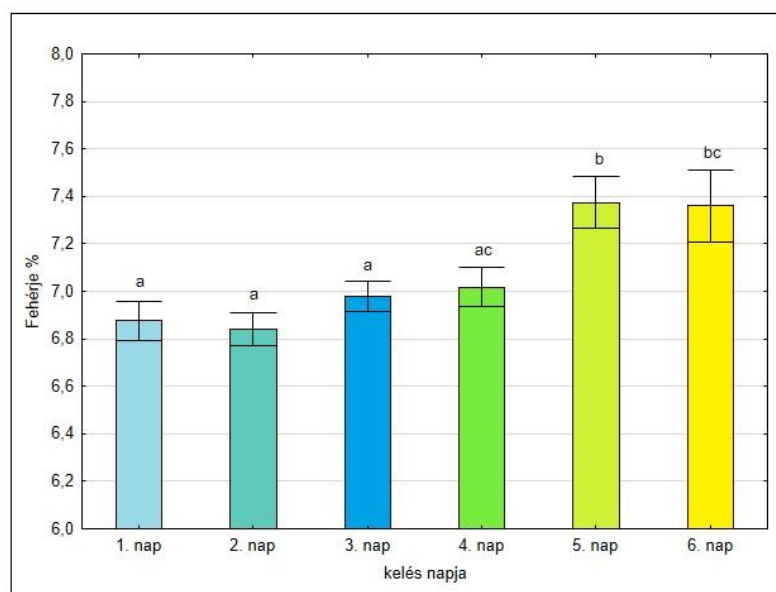
addig a Loupiac hibrid mindkét hibridtől magasabb fehérjetartalommal bírt (6,19%). 2023-ban a Fornad hibridtől (6,89%) magasabb fehérjetartalmú volt az Armagnac (7,2%) és a Loupiac hibrid (7,16%) is, mely szignifikáns is volt. Az utóbbi két hibrid között nem volt statisztikai különbség (41. ábra).



41. ábra: A kukoricaszemek fehérjetartalmának alakulása a hibrideknél éves bontásban (%; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

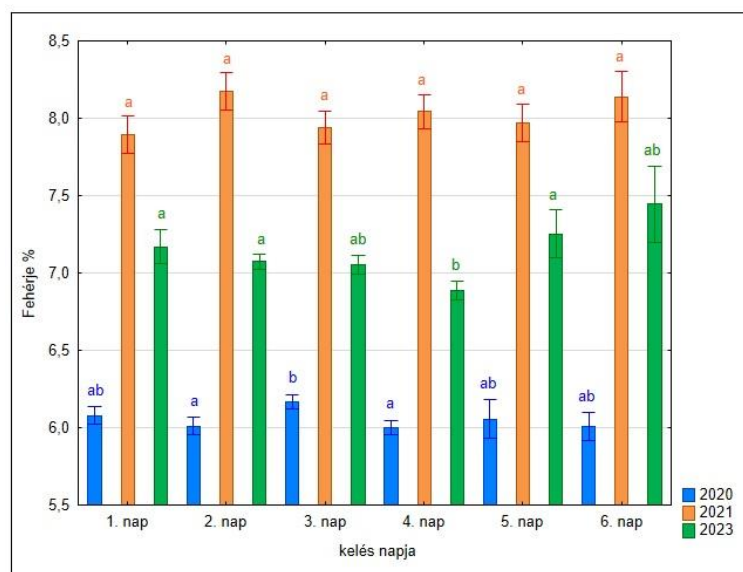
4.4.1.3. A szemek fehérjetartalma a kelés időpontja szerint

A szemek fehérjetartalma statisztikailag különbözött a kelés időpontja alapján (KW-H = 24,6707; $p = 0,0002$). Az első négy napon kelt egyedek fehérjetartalma között nincs statisztikai különbség (6,84-7,02%), az ötödik (7,37%) és a hatodik (7,36%) napon kelt egyedek szignifikánsan magasabb fehérjetartalmúak voltak, melyek egymástól statisztikailag nem tértek el (42. ábra).



42. ábra: A kukoricaszemek fehérjetartalmának alakulása kelési idő szerint három év átlagában (%; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

A fehérjetartalomban nem minden évjáratban alakult ki $p < 0,05$ szinten statisztikai különbség (2020: KW-H = 7,6366; $p = 0,1774$; 2021: KW-H = 3,3641; $p = 0,6440$; 2023: KW-H = 8,3062; $p = 0,1401$). 2021-ben nem volt szignifikáns eltérés a különböző időpontban kelt egyedek fehérjetartalmában.



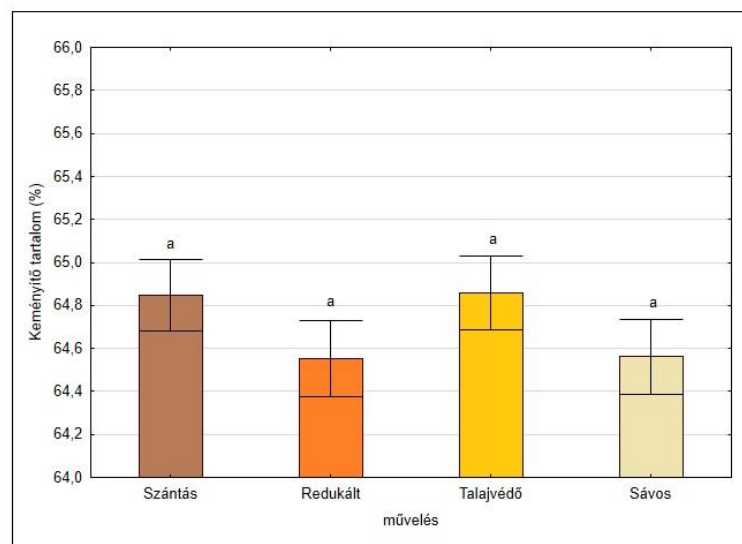
43. ábra: A kukoricaszemek fehérjetartalmának alakulása kelési idő szerint éves bontásban (%; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

2020-ban csak a második (6,01%) és a negyedik napon kelt egyedek (6%) különböztek statisztikailag a harmadik napon kelt egyedek fehérjetartalmától (6,17%). 2023-ban a negyedik napon kelt egyedek fehérjetartalma tért el (6,89%) statisztikailag igazolható módon az első (7,17%), a második (7,08%) és az ötödik napon kelt (7,25%) egyedeknél mért értéktől (43. ábra).

4.4.2. Keményítő

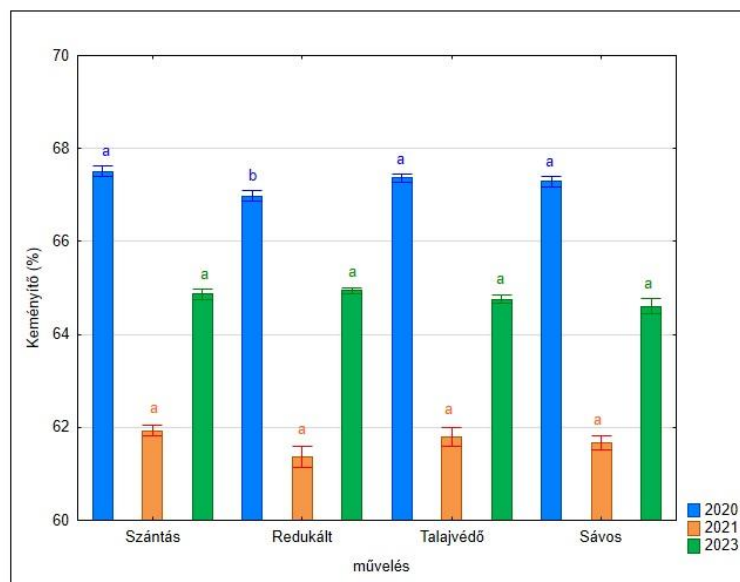
4.4.2.1. A szemek keményítőtartalma talajművelési rendszerek szerint

A keményítőtartalmaknál nem volt statisztikai eltérés a különböző talajművelési rendszereknél (KW-H = 1,9186; p = 0,5895) (44. ábra).



44. ábra: A kukoricaszemek keményítőtartalmának alakulása talajművelési rendszerek szerint három év átlagában (%; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

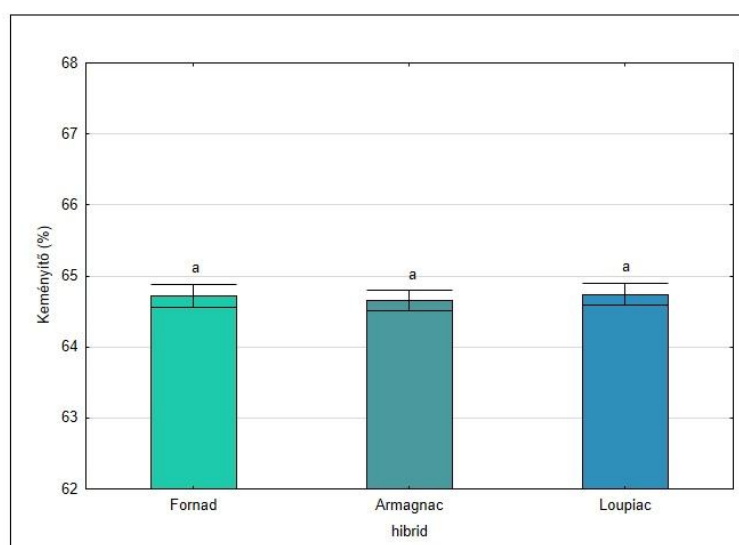
A talajművelési rendszerek keményítőtartalmának értékelésénél csak 2020-ban volt statisztikai különbség (2020: KW-H = 12,1313; p = 0,0069; 2021: KW-H = 3,2223; p = 0,3586; 2023: KW-H = 2,7426; p = 0,4330). 2021-ben és 2023-ban nem alakult ki statisztikai különbség a művelések között. 2020-ban a redukált művelésben szignifikánsan alacsonyabb volt a keményítőtartalom (66,98%), mint a másik három kezelésben. A szántás (67,51%), a talajvédő (67,37%) és a sávós művelés (67,29%) statisztikailag nem különbözött egymástól (45. ábra).



45. ábra: A kukoricaszemek keményítőtartalmának alakulása talajművelési rendszerek szerint éves bontásban (%; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

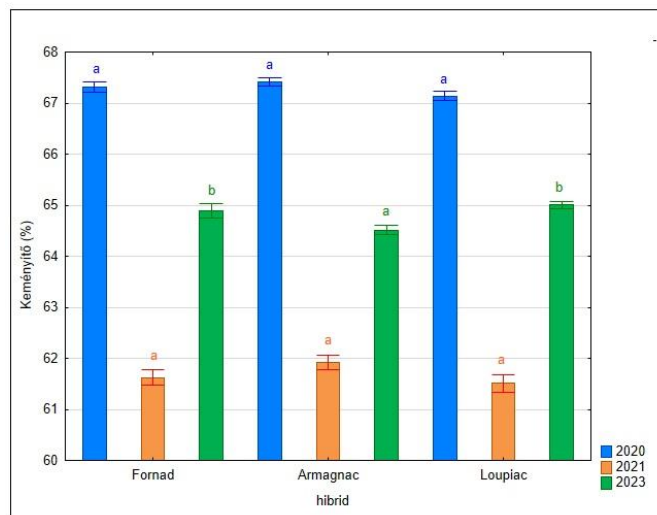
4.4.2.2. A szemek keményítőtartalma a hibridek szerint

A hibridek között nem volt statisztikai különbség a keményítőtartalomban (KW-H= 1,1984; $p = 0,5493$). A Fornad (64,72%), az Armagnac (64,66%) és a Loupiac hibrid (64,74%) sem tért el egymástól szignifikáns szinten a keményítőtartalom tekintetében (46. ábra).



46. ábra: A kukoricaszemek keményítőtartalmának alakulása hibridek szerint három év átlagában (%; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

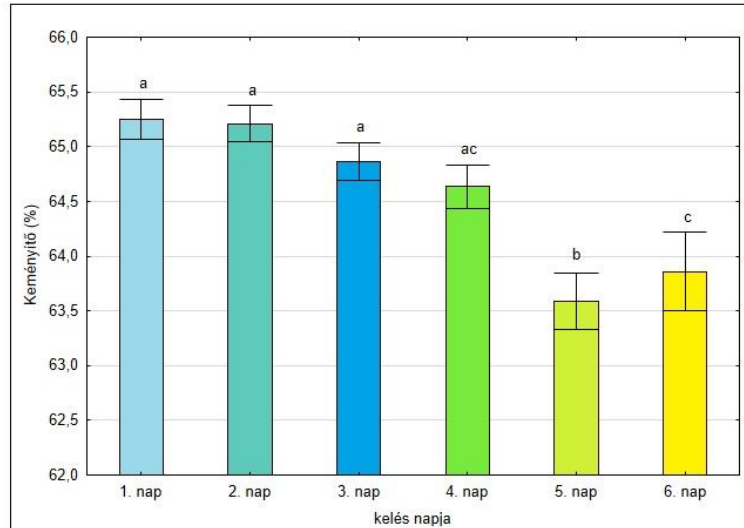
A keményítőtartalomban nem minden évjáratban volt statisztikai különbség a hibridek között (2020: KW-H = 3,6025; p = 0,1651; 2021: KW-H = 2,6445; p = 0,2665; 2023: KW-H (2;302) = 28,1867; p = 0,00000). 2020-ban és 2021-ben nem volt statisztikai különbség a keményítőtartalomban a hibridek között. 2023-ban az Armagnac hibrid keményítőtartalma (64,52%) szignifikánsan alacsonyabb volt, mint a másik két hibridé. A Fornad (64,89%) és a Loupiac hibrid (65%) között nem volt szignifikáns eltérés (47. ábra).



47. ábra: A kukoricaszemek keményítőtartalmának alakulása hibridek szerint éves bontásban (%; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

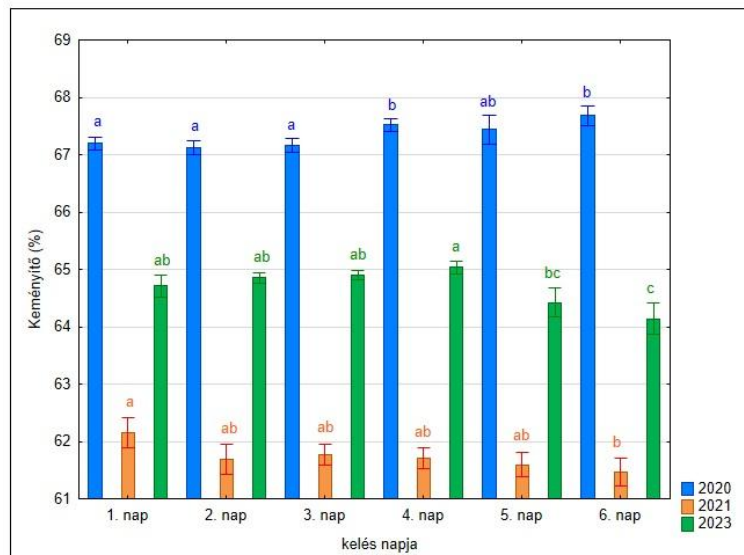
4.4.2.3. A szemek keményítőtartalma a kelés időpontja szerint

A keményítőtartalom alakulása különböző napokon kelt egyedek között jelentősen eltért (KW-H = 40,3033; p = 0,00000). Az első négy nap során kelt egyedek keményítőtartalma enyhe csökkenő tendenciát mutatott, azonban ezek a változások statisztikailag nem voltak szignifikánsak. Az ötödik napon kelt egyedek keményítőtartalma (63,59%) szignifikánsan eltért az összes többi nap során kelt egyedek értékeitől. A hatodik napon kelt egyedek keményítőtartalma (63,86%) alacsonyabb volt az első három nap növényeinél, de meghaladta az ötödik napon kelt egyedek értékét (48. ábra).



48. ábra: A kukoricaszemek keményítőtartalmának alakulása kelési idő szerint, három év átlagában (%; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

A keményítőtartalom nem minden évjáratban tért el a kelési időpontok szerint (2020: KW-H = 14,9083; $p = 0,0108$; 2021: KW-H = 4,0546; $p = 0,5416$; 2023: KW-H = 12,4899; $p = 0,0287$).



49. ábra: A kukoricaszemek keményítőtartalmának alakulása kelési idő szerint éves bontásban (%; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

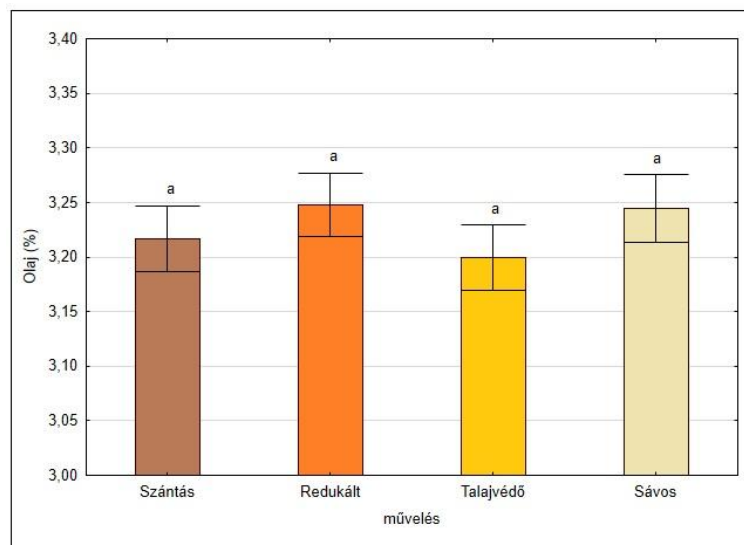
2020-ban a negyedik (67,52%) és a hatodik napon kelt egyedek (67,68%) szignifikánsan magasabb keményítőtartalmúak voltak, mint az első három napon kelt egyedek, viszont

nem különböztek az ötödik napon kelt (67,44%) egyedektől. 2021-ben csak az első (62,15%) és az utolsó nap (61,46%) különbözött egymástól statisztikailag. A 2020-as évtől 9%-kal alacsonyabb keményítőtartalom volt mérhető 2021-ben. 2023-ban az első négy napon kelt egyedek különböztek statisztikailag igazolható módon a hatodik napon kelt egyedek keményítőtartalmától, az ötödik (64,42%) és a hatodik napon (64,14%) kelt egyedek nem tértek el egymástól (49. ábra).

4.4.3. Olaj

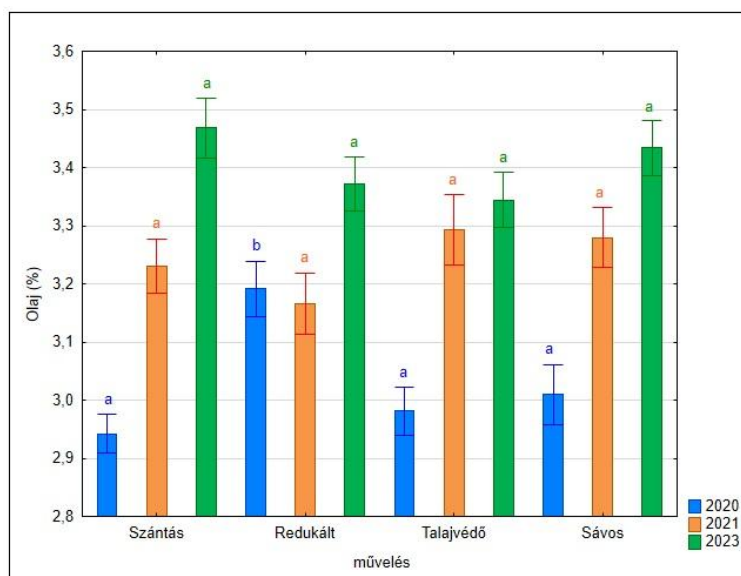
4.4.3.1. A szemek olajtartalma talajművelési rendszerek szerint

A különböző talajművelési rendszerekben mért olajtartalom között nem volt statisztikai különbség (KW-H = 3,0222; $p = 0,3882$) (50. ábra).



50. ábra: A kukoricaszemek olajtartalmának alakulása talajművelési rendszerek szerint, három év átlagában (%; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

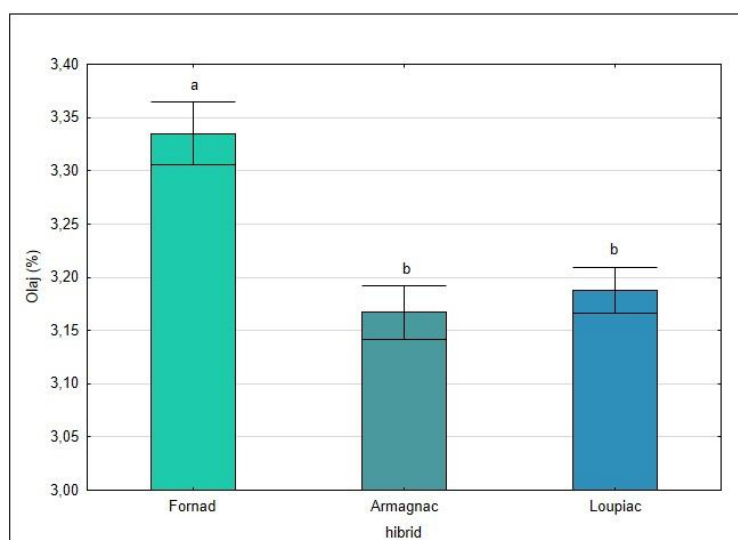
A talajművelési rendszerekben nem minden évben tért el szignifikánsan az olajtartalom (2020: KW-H = 17,0472; $p = 0,0007$; 2021: KW-H = 4,4177; $p = 0,2197$; 2023: KW-H = 3,6514; $p = 0,3016$). 2020-ban a redukált művelésben mértem a legmagasabb olajtartalmat (3,19%), ami szignifikánsan jobb volt a szántás (2,94%), a talajvédő (2,98%) és a sávós műveléstől (3,01%). Az utóbbi három művelés statisztikailag nem különbözött egymástól. 2021-ben és 2023-ban nem tértek el egymástól a talajművelési rendszerekben mért olajtartalmak (51. ábra).



51. ábra: A kukoricaszemek olajtartalmának alakulása talajművelési rendszerek szerint éves bontásban (%; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

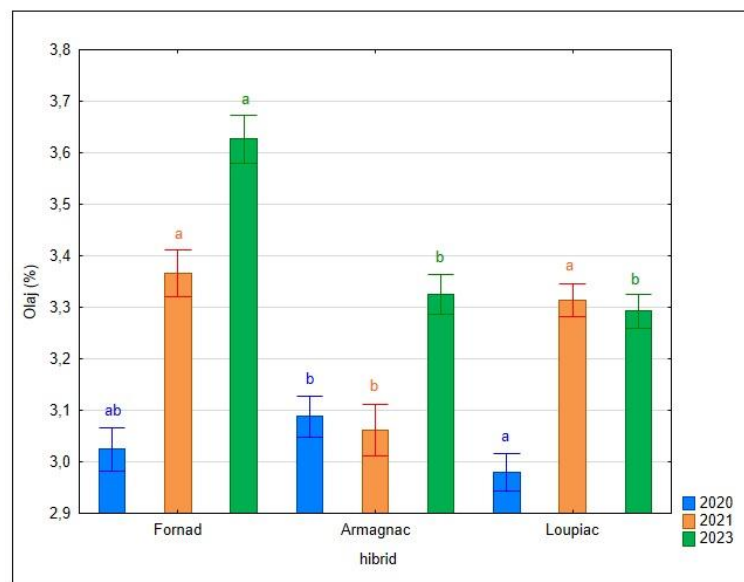
4.4.3.2. A szemek olajtartalma a hibridek szerint

Az olajtartalomban különbség volt a hibridek között (KW-H = 21,5491; $p = 0,00002$). A Fornad hibridnek szignifikánsan magasabb volt az olajtartalma (3,34%), mint az Armagnac (3,17%) és a Loupiac hibridnek (3,19%), az utóbbi két hibrid között nem volt statisztikai különbség (52. ábra).



52. ábra: A kukoricaszemek olajtartalmának alakulása hibridek szerint három év átlagában (%; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

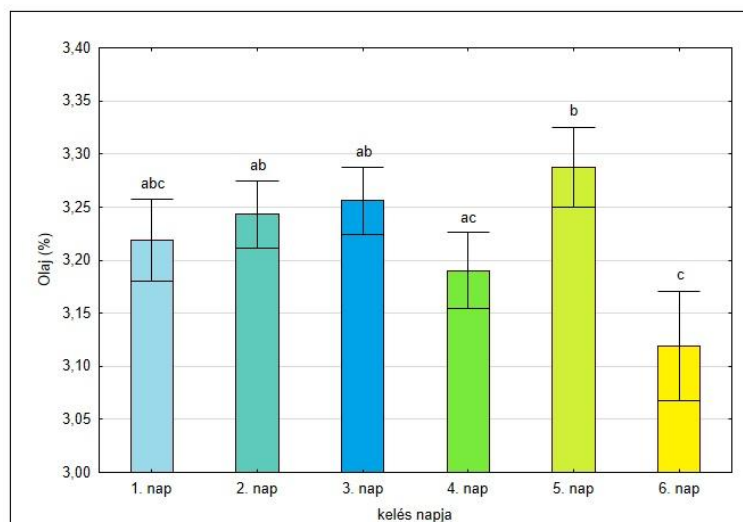
A hibridek olajtartalom között nem minden évjáratban volt szignifikáns különbség (2020: KW-H = 4,5818; p = 0,1012; 2021: KW-H = 23,8611; p = 0,00001; 2023: KW-H = 34,0215; p = 0,00000). 2020-ban csak az Armagnac (3,08%) és a Loupiac hibridek (2,98%) között volt statisztikai különbség. 2021-ben az Armagnac hibridnek (3,06%) statisztikailag igazolhatóan alacsonyabb volt az olajtartalma, mint a másik két hibridnek. A Fornad (3,37%) és a Loupiac (3,31%) nem különbözött egymástól. 2023-ban a Fornad hibrid olajtartalma (3,67%) volt a legmagasabb, mely statisztikai különbséget is mutatott a másik két hibridhez képest. A Loupiac (3,29%) és az Armagnac (3,33%) nem különbözött egymástól (53. ábra).



53. ábra: A kukoricaszemek olajtartalmának alakulása hibridek szerint éves bontásban (%; ±SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik (p<0,05). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

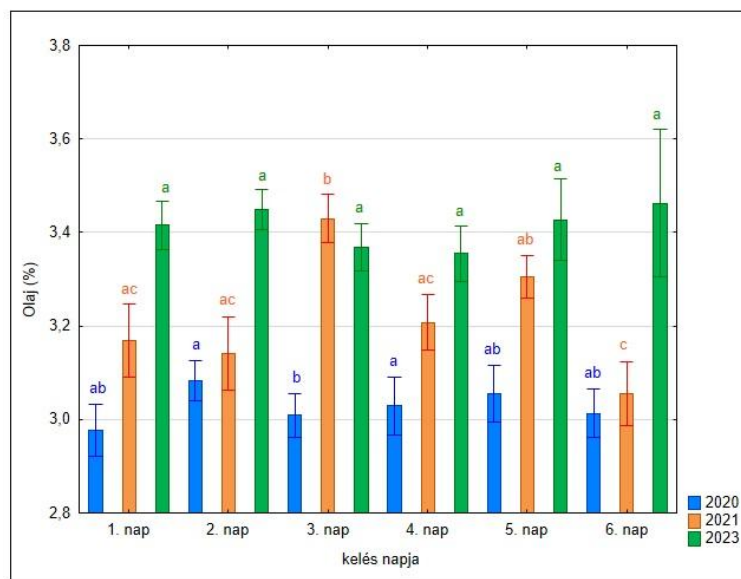
4.4.3.3. A szemek olajtartalma a kelés időpontja szerint

A kukorica kelési időpontja alapján statisztikailag szignifikáns különbséget találtunk a termés olajtartalmában (KW-H = 10,088; p = 0,0728). Az első négy napon kelt növények olajtartalma nem mutatott szignifikáns eltérést. Az első napon kelt egyedek olajtartalma nem különbözött a többi nap eredményeitől. A hatodik napon kelt növények olajtartalma (3,12%) csak az első naptól (3,22%) nem tért el, a többitől szignifikánsan kisebb volt (54. ábra).



54. ábra: A kukoricaszemek olajtartalmának alakulása kelésidő szerint három év átlagában (%; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

Az olajtartalom nem minden évben mutatott statisztikai különbséget (2020: KW-H = 4,6959; $p = 0,4541$; 2021: KW-H = 18,7954; $p = 0,0021$; 2023: KW-H = 3,7032; $p = 0,5929$). 2023-ban nem volt különbség a különböző napokon kelt egyedek között. 2020-ban mindössze a harmadik nap (3,01%) különbözött a második (3,03%) és a negyedik naptól (3,08%). A többi esetben szignifikáns különbség nem volt.



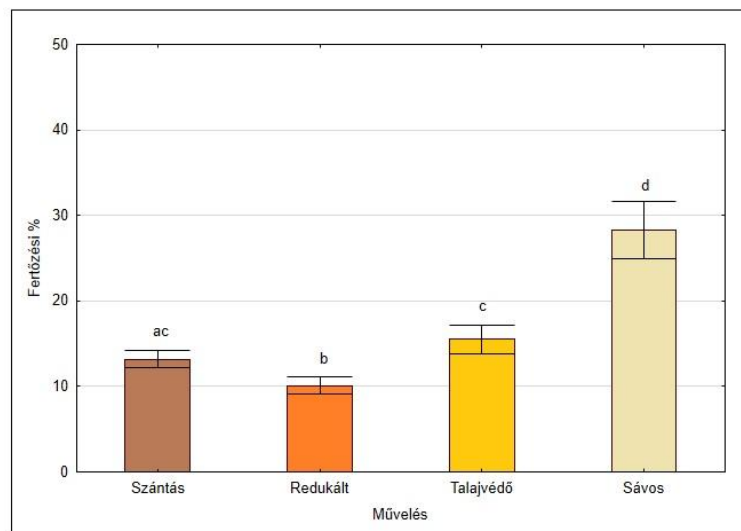
55. ábra: A kukoricaszemek olajtartalmának alakulása kelésidő szerint éves bontásban (%; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U teszt szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

2021-ben a harmadik napon kelt egyedek olajtartalma volt a legmagasabb (3,43%), mely statisztikailag is különbözött az első (3,14%), a második (3,16%), a negyedik (3,2%) és a hatodik (3,06%) napon kelt egyedek olajtartalmától (55. ábra).

4.5. Szártó-megbetegedés vizsgálat eredményei

4.5.1. A szártó-megbetegedés mértéke művelésenként

A szártó-megbetegedés mértékében statisztikailag különböztek a talajművelési rendszerek (KW-H = 19,897; $p = 0,0002$). A redukált művelésben mértem a legalacsonyabb fertőzési %-ot (10,12%), ez szignifikánsan eltért a többi műveléstől. A szántás művelésmód (13,21%) statisztikailag nem tért el a talajvédő műveléstől (15,52%). A sávos művelésben volt a legmagasabb a szártófertőzés mértéke (28,28%), mely szignifikáns volt a többi műveléshez képest (56. ábra).



56. ábra: A szártó-megbetegedés mértékének alakulása különböző talajművelési rendszerekben kézi roppantással elvégzett felmérés alapján három év átlagában (%; \pm SE). A kisbetűk a Mann-Whitney U teszt szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

4.5.2. A szártó-megbetegedés hatása a cső fizikai paramétereire

A kukoricatermés fizikai jellemzőiben szignifikáns eltérések mutatkoztak a növények szártóvének egészségi állapotától függően. Az egészséges töveken fejlődött csövek tömege átlagosan 59 grammal nagyobb volt, ami statisztikailag is szignifikáns különbséget jelentett. Az egészséges töveken nevelkedett kukoricacsöveken a szemek száma is magasabb volt, és ez a különbség szintén szignifikánsnak bizonyult. Emellett a

szemek tömege, valamint az ezerszemtömeg is szignifikánsan nagyobb volt az egészséges növényeken (10. táblázat).

10. táblázat: A kukoricatermés fizikai paramétereinek vizsgálata szártőfertőzés jelenléte szerint. A kisbetűk a Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

| Egészségi állapot | Cső súlya (átlag) g \pm SE | Szemek száma (átlag) db \pm SE | Szemek tömege (átlag) g \pm SE | Ezerszemtömeg (átlag) g \pm SE |
|-------------------|------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Egészséges | 236 \pm 5,71 a | 487 \pm 7,83 a | 207 \pm 4,9 a | 424 \pm 7,75 a |
| Beteg | 177 \pm 7,34 b | 426 \pm 14,35 b | 158 \pm 6,51 b | 370 \pm 6,95 b |

4.6. Mikotoxinvizsgálat eredményei

A mikotoxin-szennyezettség mérése alkalmával megállapítottam, hogy a DON-toxin-szennyezettség eltérően alakult a három évjáratban. 2020-ban 0,2 mg/kg átlag koncentrációt mértem, míg 2021-ben és a 2023-ban nem termelődött DON toxin.

Az FB1 toxin szintje minden évben szignifikánsan különbözött egymástól. A legmagasabb értéket 2021-ben mértem (0,4 mg/kg).

Az FB2 toxin koncentrációja alacsonyabb volt, mint az FB1-é, 2021-ben mértem a legmagasabb szintet (0,13 mg/kg), mely szignifikánsan meghaladta a 2020-ban a mért 0,02 mg/kg-os szintet, ugyanakkor nem tért el a 2023-ban mért 0,03 mg/kg-hoz képest. Az FB3 toxin szintje 2020-ban 0,01 mg/kg volt, mely szignifikánsan nem különbözött a 2021-ben mért értéktől (0,12 mg/kg), viszont szignifikánsan alacsonyabb volt a 2023-ban mért értéktől.

Az FB4 mikotoxin szintje volt a legalacsonyabb a mért toxinszintek közül. 2020-ban 0,003 mg/kg mennyiséget mértem, amely statisztikailag nem tért el a 2021-ben mért 0,02 mg/kg-tól, de alacsonyabb volt statisztikailag, mint a 2023-ban mért érték. Ezek az FB1-4 toxin mérési eredmények egyezést mutatnak az irodalomban található adatokkal mely szerint a legtöbb *F. verticillioides* és *F. proliferatum* fajok az FB1>FB2>FB3>FB4 csökkenő arányban termeli a B típusú fumonizineket (Marín et al., 1995; Musser és Plattner, 1997; Anumudu et al., 2024).

Az FB1 és az FB2 toxin összevont szintjét is értékeltem, mert a jogszabály együttes határértéket ír elő ezekre a vegyületekre. A vizsgálat egyik évében sem haladta meg a mikotoxin-szennyezettség mértéke a jogszabályban meghatározott értéket. A

legmagasabb koncentrációt 2021-ben mértem (0,53 mg/kg), mely szignifikánsan meghaladta a másik két évben mért értékeket (11. táblázat).

11. táblázat: Az évjárat hatása a DON és a fumonizin (FB1, FB2, FB3, FB4) mikotoxinok szintjére éves bontásban. A kisbetűk a páronkénti Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

| Év | DON (átlag) mg/kg \pm SE | FB1 (átlag) mg/kg \pm SE | FB2 (átlag) mg/kg \pm SE | FB3 (átlag) mg/kg \pm SE | FB4 (átlag) mg/kg \pm SE | FB1+FB2 (átlag) mg/kg \pm SE |
|------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---|
| 2020 | 0,20 \pm 0,0218 a | 0,07 \pm 0,0473 a | 0,02 \pm 0,0173 a | 0,01 \pm 0,0050 a | 0,003 \pm 0,0027 a | 0,09 \pm 0,0646 a |
| 2021 | 0 \pm 0,0000 b | 0,40 \pm 0,0925 b | 0,13 \pm 0,0327 b | 0,12 \pm 0,0870 ab | 0,02 \pm 0,0079 ab | 0,53 \pm 0,1252 b |
| 2023 | 0 \pm 0,0000 b | 0,05 \pm 0,0113 c | 0,03 \pm 0,0058 b | 0,02 \pm 0,0034 b | 0,02 \pm 0,0034 b | 0,08 \pm 0,0171 c |

A talajművelési rendszerek összehasonlítása során a DON toxin koncentrációi között nem mutatkozott szignifikáns különbség a három évjárat együttes elemzése során. A legmagasabb értéket a sávos művelésben mértem (0,1 mg/kg).

12. táblázat: A talajművelés hatása a DON és a fumonizin mikotoxinok (FB1, FB2, FB3, FB4) szintjére három év vizsgálati alapján. A kisbetűk a páronkénti Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

| Művelés | DON (átlag) mg/kg \pm SE | FB1 (átlag) mg/kg \pm SE | FB2 (átlag) mg/kg \pm SE | FB3 (átlag) mg/kg \pm SE | FB4 (átlag) mg/kg \pm SE | FB1+FB2 (átlag) mg/kg \pm SE |
|-----------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---|
| Szántás | 0,04 \pm 0,0111 a | 0,05 \pm 0,0240 a | 0,02 \pm 0,0083 a | 0,01 \pm 0,0027 a | 0,01 \pm 0,0027 a | 0,07 \pm 0,0323 a |
| Redukált | 0,06 \pm 0,0176 a | 0,19 \pm 0,1057 a | 0,06 \pm 0,0333 a | 0,14 \pm 0,1157 a | 0,02 \pm 0,0091 a | 0,25 \pm 0,1389 a |
| Talajvédő | 0,07 \pm 0,0244 a | 0,29 \pm 0,0767 b | 0,11 \pm 0,0281 b | 0,03 \pm 0,0106 a | 0,02 \pm 0,0061 a | 0,40 \pm 0,1048 b |
| Sávos | 0,1 \pm 0,0288 a | 0,15 \pm 0,0637 a | 0,04 \pm 0,0256 a | 0,01 \pm 0,0065 a | 0,01 \pm 0,0042 a | 0,19 \pm 0,0893 a |

Az FB1 toxin szintje a talajvédő művelésben volt a legmagasabb (0,29 mg/kg), ami szignifikánsan meghaladta a másik három művelésben mért értéket. A szántás, a redukált és a sávos művelés között nem volt statisztikai eltérés.

Az FB2 mikotoxin esetében szintén a talajvédő művelésben mértem a legmagasabb szintet (0,11 mg/kg), mely szignifikánsan is különbözött a többi művelési rendszertől.

Az FB3 és az FB4 toxin esetében nem alakult ki szignifikáns különbség a művelések között. A mért értékek 0,01 és 0,03 mg/kg között mozogtak.

Az összevont FB1 és FB2 toxin szintje esetében a talajvédő művelésben volt a legmagasabb a mért koncentráció (0,40 mg/kg), amely szignifikánsa magasabb érték volt, mint a másik három művelési rendszerben mért érték (12. táblázat).

A három évjárat eredményeit egyben elemezve a DON-toxin-tartalom esetében nem mutatkozott szignifikáns különbség a kukorica hibridek között.

Az FB1 koncentrációja a Fornad hibridnél volt a legmagasabb (0,33 mg/kg), amely statisztikailag nem különbözött az Armagnac hibridtől (0,08 mg/kg) azonban szignifikánsan eltért a Loupiac hibridtől (0,1 mg/kg). Az FB1, FB2 és az FB3 toxin esetében nem alakult ki szignifikáns különbség a hibridek között.

Az FB1 és FB2 toxin összege tekintetében szintén a Fornad hibrid esetében mértem a legmagasabb toxinszintet (0,44 mg/kg), amely statisztikailag nem tért el az Armagnac hibridtől (0,11 mg/kg), ugyanakkor igazolható módon különbözött a Loupiac hibridtől (0,14 mg/kg). A Loupiac és az Armagnac hibridek között nem volt kimutatható különbség (13. táblázat).

13. táblázat: A kukorica hibridek hatása a DON és a fumonizin mikotoxinok (FB1, FB2, FB3, FB4) szintjére három év vizsgálatai alapján. A kisbetűk a páronkénti Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

| Hibrid | DON (átlag) mg/kg ± SE | FB1 (átlag) mg/kg ± SE | FB2 (átlag) mg/kg ± SE | FB3 (átlag) mg/kg ± SE | FB4 (átlag) mg/kg ± SE | FB1+FB2 (átlag) mg/kg ± SE |
|----------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|
| Armagnac | 0,06 ± 0,0143 a | 0,08 ± 0,0198 ab | 0,02 ± 0,0086 a | 0,01 ± 0,0026 a | 0,01 ± 0,0026 a | 0,10 ± 0,0284 ab |
| Loupiac | 0,07 ± 0,0219 a | 0,10 ± 0,0483 a | 0,04 ± 0,0185 a | 0,1 ± 0,0864 a | 0,01 ± 0,0033 a | 0,14 ± 0,0668 a |
| Fornad | 0,07 ± 0,0193 a | 0,33 ± 0,0953 b | 0,11 ± 0,0323 a | 0,04 ± 0,0144 a | 0,02 ± 0,0078 a | 0,44 ± 0,1276 b |

Az évjáratok külön elemzése alapján 2020-ban a DON-toxin-szennyezettség a sávos művelésben érte el a legmagasabb értéket (0,29 mg/kg), amely szignifikánsan meghaladta a másik három művelési rendszerben mért koncentrációt. A szántás, a redukált és a

talajvédő művelések között nem mutatkozott statisztikai különbség. 2020-ban nem volt kimutatható fumonizin toxin a szántás, a redukált és a sávos művelésben sem. Csupán a talajvédő művelésben mértem egy csekély koncentrációt, amely azonban nem tért el statisztikailag a többi műveléstől (14. táblázat).

14. táblázat: 2020-ban a talajművelés hatása a DON és a fumonizin mikotoxinok (FB1, FB2, FB3, FB4) szintjére. A kisbetűk a páronkénti Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar)

| Művelés | DON (átlag) mg/kg \pm SE | | FB1 (átlag) mg/kg \pm SE | | FB2 (átlag) mg/kg \pm SE | | FB3 (átlag) mg/kg \pm SE | | FB4 (átlag) mg/kg \pm SE | | FB1+FB2 (átlag) mg/kg \pm SE | |
|-----------|-------------------------------------|---|----------------------------------|---|-------------------------------------|---|-------------------------------------|---|----------------------------------|---|---|---|
| Szántás | 0,13 \pm 0,0123 | a | 0,00 \pm 0,0000 | a | 0,00 \pm 0,0000 | a | 0,00 \pm 0,0000 | a | 0,00 \pm 0,0000 | a | 0,00 \pm 0,0000 | a |
| Redukált | 0,19 \pm 0,0287 | a | 0,00 \pm 0,0000 | a | 0,00 \pm 0,0000 | a | 0,00 \pm 0,0000 | a | 0,00 \pm 0,0000 | a | 0,00 \pm 0,0000 | a |
| Talajvédő | 0,21 \pm 0,0556 | a | 0,27 \pm 0,1828 | a | 0,1 \pm 0,0669 | a | 0,03 \pm 0,0191 | a | 0,01 \pm 0,0108 | a | 0,28 \pm 0,2497 | a |
| Sávós | 0,29 \pm 0,0538 | b | 0,00 \pm 0,0000 | a | 0,00 \pm 0,0000 | a | 0,00 \pm 0,0000 | a | 0,00 \pm 0,0000 | a | 0,00 \pm 0,0000 | a |

A 2020-ban mért adatok elemzése alapján nem volt statisztikai különbség a hibridek DON- és fumonizin-szennyezettsége között. A DON koncentrációja 0,17 és 0,22 mg/kg között mozgott. A fumonizin toxin esetében kizárólag a Loupiac hibrid esetében volt kimutatható rendkívül alacsony toxinszint, amely nem mutatott szignifikáns különbséget a többi hibridtől (15. táblázat).

15. táblázat: 2020-ban a kukorica hibrid hatása a DON és a fumonizin mikotoxinok (FB1, FB2, FB3, FB4) szintjére. A kisbetűk a páronkénti Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar)

| Hibrid | DON (átlag) mg/kg \pm SE | | FB1 (átlag) mg/kg \pm SE | | FB2 (átlag) mg/kg \pm SE | | FB3 (átlag) mg/kg \pm SE | | FB4 (átlag) mg/kg \pm SE | | FB1+FB2 (átlag) mg/kg \pm SE | |
|----------|-------------------------------------|---|----------------------------------|---|-------------------------------------|---|-------------------------------------|---|----------------------------------|---|---|---|
| Armagnac | 0,17 \pm 0,0256 | a | 0,00 \pm 0,0000 | a | 0,00 \pm 0,0000 | a | 0,00 \pm 0,0000 | a | 0,00 \pm 0,0000 | a | 0,00 \pm 0,0000 | a |
| Loupiac | 0,22 \pm 0,0483 | a | 0,07 \pm 0,0508 | a | 0,04 \pm 0,0185 | a | 0,02 \pm 0,0145 | a | 0,01 \pm 0,0081 | a | 0,11 \pm 0,0693 | a |
| Fornad | 0,22 \pm 0,0369 | a | 0,00 \pm 0,0000 | a | 0,00 \pm 0,0000 | a | 0,00 \pm 0,0000 | a | 0,00 \pm 0,0000 | a | 0,00 \pm 0,0000 | a |

2021-ben a mért toxinszintek alapján megállapítható, hogy a DON toxin egyik művelési rendszerében sem volt kimutatható, így nem volt közöttük statisztikai különbség sem. Ezzel szemben az FB1 koncentrációja eltérően alakult a kezelésekben. A legalacsonyabb szintet a szántás művelésmódban mértem (0,1 mg/kg), amely szignifikánsan is alacsonyabb volt a többi művelési rendszerénél. A legmagasabb értéket a talajvédő művelésben mértem, ami nem tért el statisztikailag a redukált és a sávós műveléstől.

Az FB2 mikotoxin szintjének mértéke a talajvédő művelésben volt a legmagasabb (0,2 mg/kg), ez az érték statisztikailag nem különbözött a sávós és a redukált művelési rendszertől, de szignifikánsan magasabb volt a szántás művelési rendszerben mért értéktől (0,02 mg/kg). A szántás művelés statisztikailag nem különbözött a redukált (0,15 mg/kg) és a sávós műveléstől (0,13 mg/kg). A négy művelési rendszer között az FB3 és az FB4 toxin alapján nem mutatkozott statisztikai különbség.

Az FB1 és FB2 toxin összege alapján a szántás művelésmód eredményezte a legalacsonyabb koncentrációt (0,12 mg/kg), amely statisztikailag nem különbözött a redukált műveléstől (0,67 mg/kg), azonban szignifikánsan eltért a talajvédő és a sávós műveléshez képest. A talajvédő művelésben mértem a legmagasabb (0,73 mg/kg) toxinkoncentrációt, amely statisztikailag nem különbözött a redukált és a talajvédő műveléstől (16. táblázat).

16. táblázat: 2021-ben a talajművelés hatása a DON és a fumonizin mikotoxinok (FB1, FB2, FB3, FB4) szintjére. A kisbetűk a páronkénti Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar)

| Művelés | DON (átlag) mg/kg \pm SE | | FB1 (átlag) mg/kg \pm SE | | FB2 (átlag) mg/kg \pm SE | | FB3 (átlag) mg/kg \pm SE | | FB4 (átlag) mg/kg \pm SE | | FB1+FB2 (átlag) mg/kg \pm SE | |
|-----------|-------------------------------------|---|----------------------------------|----|-------------------------------------|----|-------------------------------------|---|----------------------------------|---|---|----|
| Szántás | 0,00 \pm 0,0000 | a | 0,10 \pm 0,0684 | a | 0,02 \pm 0,0193 | a | 0,00 \pm 0,0000 | a | 0,00 \pm 0,0000 | a | 0,12 \pm 0,0877 | a |
| Redukált | 0,00 \pm 0,0000 | a | 0,52 \pm 0,3013 | ab | 0,15 \pm 0,0961 | ab | 0,41 \pm 0,3436 | a | 0,03 \pm 0,0264 | a | 0,67 \pm 0,3974 | ab |
| Talajvédő | 0,00 \pm 0,0000 | a | 0,53 \pm 0,1134 | b | 0,2 \pm 0,0408 | b | 0,03 \pm 0,0255 | a | 0,02 \pm 0,0135 | a | 0,73 \pm 0,1542 | b |
| Sávós | 0,00 \pm 0,0000 | a | 0,45 \pm 0,1638 | b | 0,13 \pm 0,0729 | ab | 0,03 \pm 0,0185 | a | 0,02 \pm 0,0116 | a | 0,58 \pm 0,2367 | b |

A 2021-ben mért toxinszintek elemzése alapján a hibridek esetében hasonló eredmények születtek, mint a művelési rendszereknél. A DON toxin egyik hibridnél sem volt kimutatható, így statisztikai különbségek sem alakultak ki közöttük.

Az FB1 mikotoxin szintjének mértéke eltérő volt a hibridek esetében. Az Armagnac és a Loupiac hibridek toxinkoncentrációja között statisztikai különbség nem volt, azonban a Fornad hibridhez képest szignifikánsan magasabb volt mind a két hibrid esetében. Az Armagnac hibridnél volt mérhető a legmagasabb toxinszint az FB1 esetében (0,18 mg/kg).

Az FB2 toxin esetében a tendencia fordított volt az FB1-hez képest. A Fornad hibridnél mértem a legmagasabb értéket (0,3 mg/kg), amely szignifikánsan is meghaladta a Loupiac és az Armagnac hibrid esetében mért értéket. Az utóbbi két hibrid között nem volt igazolható különbség. Az FB3 és FB4 toxin alapján nem lehetett különbséget tenni a hibridek között.

Az összevont FB1 és FB2 toxin elemzése alapján a Fornad hibridnél mértük a legmagasabb toxinszintet (0,3 mg/kg), amely szignifikánsan is magasabb volt a Loupiac (0,13 mg/kg) és az Armagnac hibridtől (0,22 mg/kg). Az utóbbi két hibrid között nem alakult ki statisztikai különbség (17. táblázat).

17. táblázat: 2021-ben a kukoricahibridek hatása a DON és a fumonizin mikotoxinok (FB1, FB2, FB3, FB4) szintjére. A kisbetűk a páronkénti Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar)

| Hibrid | DON (átlag) mg/kg \pm SE | FB1 (átlag) mg/kg \pm SE | FB2 (átlag) mg/kg \pm SE | FB3 (átlag) mg/kg \pm SE | FB4 (átlag) mg/kg \pm SE | FB1+FB2 (átlag) mg/kg \pm SE |
|----------|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|---|
| Armagnac | 0,00 \pm 0,0000 | 0,18 \pm 0,0462 | 0,04 \pm 0,0229 | 0,00 \pm 0,0000 | 0,00 \pm 0,0000 | 0,22 \pm 0,0691 |
| Loupiac | 0,00 \pm 0,0000 | 0,09 \pm 0,0349 | 0,04 \pm 0,0213 | 0,26 \pm 0,2593 | 0,00 \pm 0,0041 | 0,13 \pm 0,0562 |
| Fornad | 0,00 \pm 0,0000 | 0,00 \pm 0,0000 | 0,3 \pm 0,0785 | 0,09 \pm 0,0400 | 0,05 \pm 0,0216 | 0,3 \pm 0,0785 |

A talajművelési rendszereknél 2023-ban nem volt kimutatható DON toxin, így a művelések között nem alakultak ki statisztikai különbségek.

Az FB1 toxin szintje a talajvédő művelésben volt a legmagasabb (0,09 mg/kg). Ez az érték nem különbözött statisztikailag a szántástól (0,04 mg/kg) és a redukált műveléstől

(0,05 mg/kg). A sávos művelésben mértem a legalacsonyabb FB1 toxin szintet (0,01 mg/kg), amely csak a talajvédő műveléstől tért el szignifikánsan.

Az FB2 toxin koncentrációja minden művelésben alacsonyabb volt, azonban statisztikai különbségek megegyeztek az FB1 esetében tapasztaltakkal. A talajvédő művelésben volt mérhető a legmagasabb az FB2 toxin szintje (0,04 mg/kg), amely nem tért el szignifikánsan a szántástól (0,03 mg/kg) és a redukált műveléstől (0,03 mg/kg), de magasabb volt statisztikailag igazolható módon a sávos műveléstől.

Az FB3 és FB4 toxin mért értékei rendkívül alacsonyak voltak, de ettől függetlenül itt is a talajvédő művelésben volt mérhető a legmagasabb toxinszint.

Az összevont FB1 és FB2 toxin szintjének mérései alapján a tendencia nem változott. A talajvédő művelésben mértem a legmagasabb értéket (0,13 mg/kg), amely szignifikánsan magasabb volt, mint a sávos művelésben mért érték (0,01 mg/kg), azonban nem különbözött a szántás (0,07 mg/kg) és a redukált művelési rendszerhez (0,08 mg/kg) képest (18. táblázat).

18. táblázat: 2023-ban a talajművelési rendszerek hatása a DON és a fumonizin mikotoxinok (FB1, FB2, FB3, FB4) szintjére. A kisbetűk a páronkénti Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar)

| Művelés | DON (átlag) mg/kg \pm SE | | FB1 (átlag) mg/kg \pm SE | | FB2 (átlag) mg/kg \pm SE | | FB3 (átlag) mg/kg \pm SE | | FB4 (átlag) mg/kg \pm SE | | FB1+FB2 (átlag) mg/kg \pm SE | |
|-----------|-------------------------------------|---|-------------------------------------|----|-------------------------------------|----|-------------------------------------|----|-------------------------------------|----|---|----|
| Szántás | 0,00 \pm 0,0000 | a | 0,04 \pm 0,0180 | ab | 0,03 \pm 0,0154 | ab | 0,02 \pm 0,0071 | ab | 0,02 \pm 0,0071 | ab | 0,07 \pm 0,0334 | ab |
| Redukált | 0,00 \pm 0,0000 | a | 0,05 \pm 0,0268 | ab | 0,03 \pm 0,0129 | ab | 0,02 \pm 0,0071 | ab | 0,02 \pm 0,0071 | ab | 0,08 \pm 0,0397 | ab |
| Talajvédő | 0,00 \pm 0,0000 | a | 0,09 \pm 0,0266 | a | 0,04 \pm 0,0100 | a | 0,03 \pm 0,0074 | a | 0,03 \pm 0,0074 | a | 0,13 \pm 0,0366 | a |
| Sávos | 0,00 \pm 0,0000 | a | 0,01 \pm 0,0142 | b | 0,00 \pm 0,0042 | b | 0,00 \pm 0,0042 | b | 0,00 \pm 0,0042 | b | 0,01 \pm 0,0183 | b |

A 2023-as évjáratban a hibridek vizsgálata során nem volt kimutatható DON toxin, ezért statisztikai különbségek sem voltak a hibridek között. A fumonizin-szennyezettség (FB1-FB4) nagyon alacsony maradt (0,01-0,07 mg/kg) minden hibridnél. Ezen értékek alapján nem tapasztaltunk szignifikáns különbségeket a hibridek között (19. táblázat).

19. táblázat: 2023-ban a kukoricahibridek hatása a DON és a fumonizin mikotoxinok (FB1, FB2, FB3, FB4) szintjére. A kisbetűk a páronkénti Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar)

| Hibrid | DON (átlag) mg/kg \pm SE | | FB1 (átlag) mg/kg \pm SE | | FB2 (átlag) mg/kg \pm SE | | FB3 (átlag) mg/kg \pm SE | | FB4 (átlag) mg/kg \pm SE | | FB1+FB2 (átlag) mg/kg \pm SE | |
|----------|-------------------------------------|---|----------------------------------|---|-------------------------------------|---|-------------------------------------|---|----------------------------------|---|---|---|
| Armagnac | 0,00 \pm 0,0000 | a | 0,07 \pm 0,0221 | a | 0,03 \pm 0,0101 | a | 0,02 \pm 0,0064 | a | 0,02 \pm 0,0064 | a | 0,1 \pm 0,0322 | a |
| Loupiac | 0,00 \pm 0,0000 | a | 0,02 \pm 0,0185 | a | 0,01 \pm 0,0071 | a | 0,01 \pm 0,0043 | a | 0,01 \pm 0,0043 | a | 0,03 \pm 0,0256 | a |
| Fornad | 0,00 \pm 0,0000 | a | 0,05 \pm 0,0176 | a | 0,03 \pm 0,0119 | a | 0,02 \pm 0,0064 | a | 0,02 \pm 0,0064 | a | 0,08 \pm 0,0295 | a |

4.7. Belső fuzárium-fertőzöttség vizsgálati eredményei

A belső fuzárium-fertőzöttség eltérő volt a három vizsgált évjáratban. 2020-ban és 2021-ben a fertőzöttség mértéke 27% és 29% volt, amelyek szignifikánsan nem különböztek egymástól, ezzel szemben 2023-ban belső fertőzöttsége 40%-ra emelkedett, amely szignifikánsan magasabb volt az előző két évhez viszonyítva (20. táblázat).

20. táblázat: A belső fuzárium-fertőzöttség alakulása a három vizsgált évben. A kisbetűk a páronkénti Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

| Év | Belső fuzáriumfertőzöttség (átlag) % \pm SE | |
|------|---|---|
| 2020 | 27 \pm 2,51 | a |
| 2021 | 29 \pm 2,84 | a |
| 2023 | 40 \pm 2,96 | b |

A különböző talajművelési rendszerek belső fuzárium-fertőzöttség eltérően alakult a vizsgált három évjáratban. Amennyiben a három évjárat eredményeit egyben elemzem, statisztikai különbségek nem voltak kimutathatók a művelési rendszerek között. A belső fertőzöttség mértéke 27-36% között alakult a művelési rendszerekben.

Az éveket külön vizsgálva megállapítható, hogy 2020-ban nem volt szignifikáns különbség a művelési rendszerek között.

2021-ben a szántás művelésmódban a fertőzöttség mértéke szignifikánsan magasabb (31%) volt, mint a redukált művelésben (20%). Ugyanakkor a redukált művelés nem különbözött statisztikailag a talajvédő és a sávos műveléstől.

2023-ban a szántás művelésmódban mértem a legalacsonyabb (25%) belső fertőzöttséget a kukoricaszemekben, amely szignifikánsan alacsonyabb volt a redukált (55%) és a sávos műveléshez (41%) képest. A szántás a talajvédő műveléstől nem különbözött statisztikailag igazolható módon (21. táblázat).

21. táblázat: A belső fuzárium-fertőzöttség alakulása a különböző talajművelési rendszerekben. A kisbetűk a páronkénti Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

| Művelés | Belső fuzárium-fertőzöttség (átlag) % ± SE 2020-as év | | Belső fuzárium-fertőzöttség (átlag) % ± SE 2021-es év | | Belső fuzárium-fertőzöttség (átlag) % ± SE 2023-as év | | Belső fuzárium-fertőzöttség (átlag) % ± SE 3 év egyben | |
|-----------|---|---|---|----|---|----|--|---|
| Szántás | 25 ± 2,22 | a | 31 ± 4,64 | a | 25 ± 3,45 | a | 27 ± 2,06 | a |
| Redukált | 34 ± 8,72 | a | 20 ± 1,07 | b | 55 ± 5,47 | b | 36 ± 4,13 | a |
| Talajvédő | 24 ± 3,49 | a | 31 ± 7,39 | ab | 38 ± 7,08 | ab | 31 ± 3,63 | a |
| Sávos | 23 ± 2,78 | a | 33 ± 7,19 | ab | 41 ± 3,9 | b | 33 ± 3,06 | a |

A hibridek belső fuzárium-fertőzöttsége eltérően alakult a vizsgált időszakban. A három év adatait egyben elemezve megállapítható, hogy a Loupiac hibrid fertőzöttsége volt a legalacsonyabb (20%), amely szignifikánsan alacsonyabb volt az Armagnac (36%) és a Fornad hibridekhez (39%) képest.

2020-ban a hibridek belső fuzárium-fertőzöttsége között a Loupiac hibrid szignifikánsan alacsonyabb (18%) fertőzöttséget mutatott a másik két hibridhez képest.

2021-ben a Loupiac hibridnél 23%-os belső fertőzést mértem, amely statisztikailag a Fornad hibridtől alacsonyabb volt, de nem különbözött az Armagnac hibridtől. Az Armagnac hibrid fertőzöttsége statisztikailag nem tért el a másik két hibridtől.

A legmagasabb belső fertőzöttség 2023-ban alakult ki, az Armagnac hibrid esetébe 49%-os, míg a Fornad hibridnél 50%-os fertőzöttséget mértem, amelyek között nem volt statisztikai különbség. A Loupiac hibridnél ebben az évben is alacsony, 20%-os belső fertőzöttséget mértem, amely szignifikánsan alacsonyabb volt a másik két hibridhez képest (22. táblázat).

22. táblázat: A belső fuzárium-fertőzöttség alakulása a vizsgálatban szereplő kukorica hibridek esetében. A kisbetűk a páronkénti Mann-Whitney U tesztek szerinti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$). (Nádudvar, 2020, 2021, 2023)

| Hibrid | Belső fuzárium-fertőzöttség (átlag) % \pm SE 2020-as év | | Belső fuzárium-fertőzöttség (átlag) % \pm SE 2021-es év | | Belső fuzárium-fertőzöttség (átlag) % \pm SE 2023-as év | | Belső fuzárium-fertőzöttség (átlag) % \pm SE 3 év egyben | |
|----------|---|---|---|----|---|---|--|---|
| Armagnac | 31 \pm 4,94 | a | 28 \pm 5,66 | ab | 49 \pm 3,99 | a | 36 \pm 3,08 | a |
| Loupiac | 18 \pm 4,08 | b | 23 \pm 3,9 | a | 20 \pm 2,99 | b | 20 \pm 2,11 | b |
| Fornad | 31 \pm 3,27 | a | 36 \pm 4,81 | b | 50 \pm 4,32 | a | 39 \pm 2,65 | a |

4.8. Acilezett fumonizin B1 származékok vizsgálata

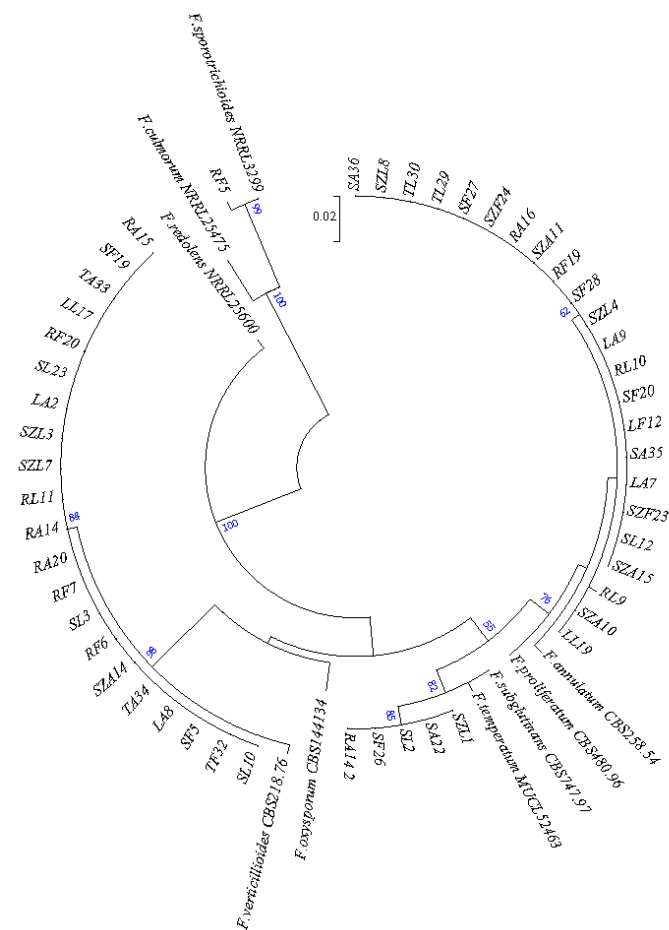
A 2021 évben betakarított mintákból tudunk kimutatni acilezett fumonizin B1 származékokat. Minden talajművelési rendszerben megtaláltuk a 10-*O*-linoleoil-FB1, 5-*O*-linoleoil-FB1, 10-*O*-palmitoil-FB1, 5-*O*-palmitoil-FB1, 10-*O*-oleoil-FB1, 5-*O*-oleoil-FB1. Nem minden toxinvizsgálatra begyűjtött mintában voltak detektálhatók az FB1 acilezett származékai, így statisztikai értékelést az alacsony mintaszám miatt nem lehetett végezni (23. táblázat). A 10-*O*-acil-FB1 származékok egyelőre csak feltételezett származékok, a későbbiekben a kukorica mintákból történő izolálásuk és szerkezetük azonosítása tömegspektrometriás és magmágneses rezonancia spektroszkópiás eljárásokkal szükségeltetik.

23. táblázat: Acilezett fumonizin B1 származékok mennyisége különböző talajművelési rendszerekben (Nádudvar, 2021)

| mértékegység/ minta | feltételezhető- en 10- <i>O</i> - linoleoil-FB1 | 5- <i>O</i> - linoleoil- FB1 | feltételezhető- en 10- <i>O</i> - palmitoil-FB1 | 5- <i>O</i> - palmitoil -FB1 | feltételezhető -en 10- <i>O</i> - oleoil-FB1 | 5- <i>O</i> - oleoil- FB1 |
|------------------------|---|------------------------------------|---|------------------------------------|--|---------------------------------|
| | $\mu\text{g}/\text{kg}$ | $\mu\text{g}/\text{kg}$ | $\mu\text{g}/\text{kg}$ | $\mu\text{g}/\text{kg}$ | $\mu\text{g}/\text{kg}$ | $\mu\text{g}/\text{kg}$ |
| Szántás 2021 | 15,4 | 21,1 | 2,0 | 3,7 | 6,4 | 5,4 |
| Redukált 2021 | 15,2 | 33,2 | 32,9 | 77,1 | 5,2 | 8,4 |
| Talajvédő 2021 | 11,6 | 21,6 | 3,6 | 8,0 | 3,8 | 6,2 |
| Sávós 2021 | 17,2 | 18,5 | 2,7 | 3,1 | 6,6 | 4,6 |
| Talajvédő 2021 | 18,7 | 17,4 | 3,3 | 3,9 | 8,4 | 5,0 |

4.9. Kukoricaszemből izolált endofiton *Fusarium* törzsek laboratóriumi vizsgálata

A kukoricaszemből izolált *Fusarium* fajokat béta-tubulin (β -tub) génszakasz alapján azonosítottuk. A vizsgálat három éve során a *F. verticillioides* és a *F. annulatum* bizonyult dominánsnak, mindkettő a *Fusarium fujikuroi* fajkomplex (FFSC) tagjai. Ezen fajokon kívül megtaláltuk a *F. sporotrichioides* törzset is, amely a *Fusarium sambucinum* fajkomplex (FSAMSC) tagja. Továbbá öt mintából nem lehetett egyértelműen megállapítani, hogy az *F. temperatum* vagy a *F. subglutinans*, ezek a fajok is az FFSC tagjai. Ezekben az esetekben további vizsgálatok szükségesek a pontos azonosításhoz (57. ábra, 24. táblázat).

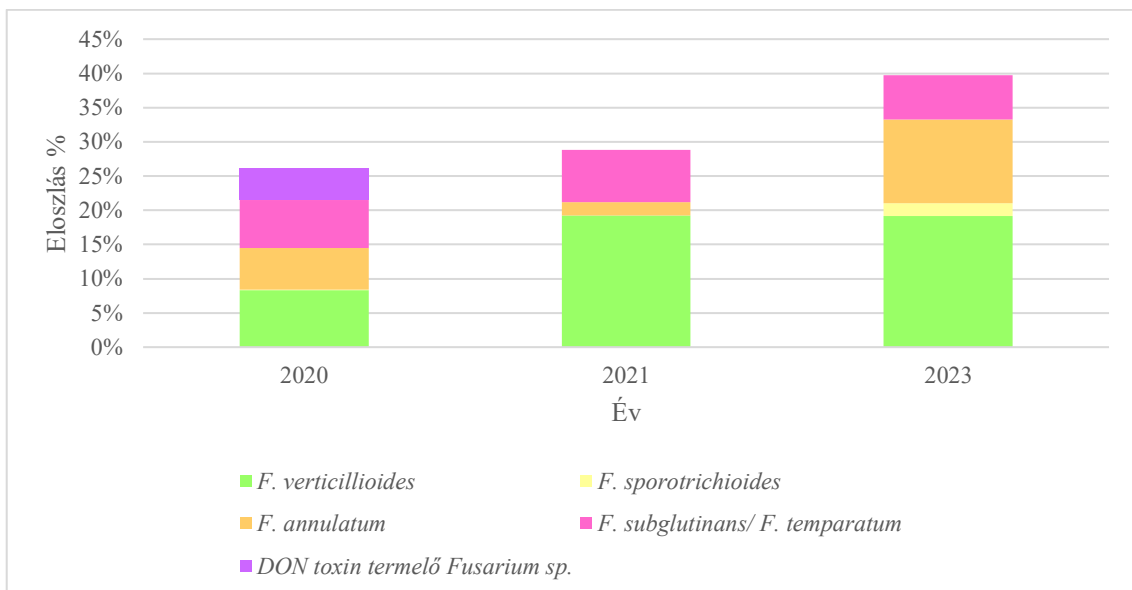


57. ábra: A *Fusarium* izolátumok Maximum Likelihood elemzésen alapuló filogenetikus törzsfája, 1000 bootstrap replikátummal számolt támogatottsági értékekkel (MEGA7). Az ábrán az elemzéshez használt *Fusarium* fajok nevét és törzsszámát, illetve az izolátumok jelét (24. táblázat) tüntettük fel. Az elágazásoknál feltüntetett kék számok a bootstrap értékeket (%) jelzik. Csak az 50-nél nagyobb értékek szerepelnek az ábrán.

24. táblázat: A kukoricaszemekből izolált *Fusarium* fajok jele, neve és a típusörzsek művelésenként és hibridenként csoportosítva.

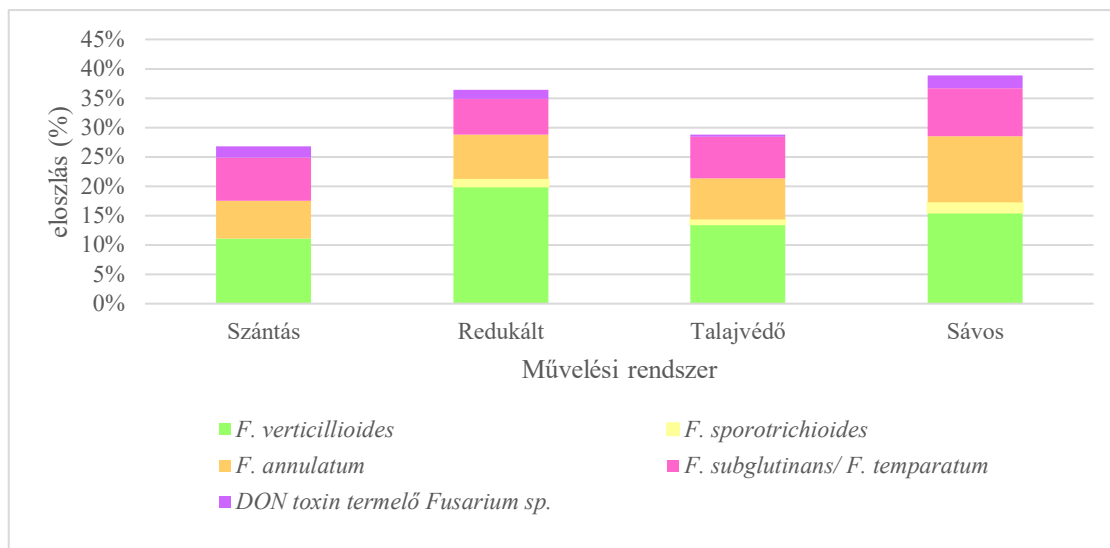
| Év | Művelés | Hibrid | Izolátumok kódja | Faj | Típusörzsek |
|------|-----------|----------|---------------------|----------------------------|-------------|
| 2023 | Talajvédő | Armagnac | LA7, LA9 | | |
| 2023 | Talajvédő | Fornad | LF12 | | |
| 2023 | Talajvédő | Loupiac | LL19 | | |
| 2023 | Redukált | Armagnac | RA16 | | |
| 2023 | Redukált | Fornad | RF19 | | |
| 2023 | Redukált | Loupiac | RL9, RL10 | | |
| 2023 | Sávós | Armagnac | SA35, SA36 | <i>F. annulatum</i> | CBS258.54 |
| 2023 | Sávós | Fornad | SF20, SF27, SF28 | | |
| 2023 | Sávós | Loupiac | SL12 | | |
| 2023 | Szántás | Armagnac | SZA10, SZA11, SZA15 | | |
| 2023 | Szántás | Fornad | SZF23, SZF24 | | |
| 2023 | Szántás | Loupiac | SZL4, SZL8 | | |
| 2023 | Talajvédő | Loupiac | TL29, TL30 | | |
| 2023 | Redukált | Fornad | RF5 | <i>F. sporotrichioides</i> | NRRL3299 |
| 2023 | Redukált | Armagnac | RA14_2 | | |
| 2023 | Sávós | Armagnac | SA22 | <i>F. subglutinans/</i> | CBS747.97 |
| 2023 | Sávós | Fornad | SF26 | <i>F. temperatum</i> | MUCL52463 |
| 2023 | Sávós | Loupiac | SL2 | | |
| 2023 | Szántás | Loupiac | SZL1 | | |
| 2023 | Talajvédő | Armagnac | LA2, LA8 | | |
| 2023 | Talajvédő | Loupiac | LL17 | | |
| 2023 | Redukált | Armagnac | RA14, RA15, RA20 | | |
| 2023 | Redukált | Fornad | RF6, RF7, RF20 | | |
| 2023 | Redukált | Loupiac | RL11 | | |
| 2023 | Sávós | Fornad | SF5, SF19 | <i>F. verticillioides</i> | CBS218.76 |
| 2023 | Sávós | Loupiac | SL3, SL10, SL23 | | |
| 2023 | Szántás | Armagnac | SZA14 | | |
| 2023 | Szántás | Loupiac | SZL3, SZL7 | | |
| 2023 | Talajvédő | Armagnac | TA33, TA34 | | |
| 2023 | Talajvédő | Fornad | TF32 | | |

A három évjárat során eltérő mértékű volt a kukoricaszemek belső *Fusarium* fertőzöttsége. Nemcsak a fuzárium fertőzöttség %-os aránya tért el évenként, művelésenként és hibridenként, hanem a fuzárium fajösszetétel is. A három évet külön elemezve 2023-ban mértem a legmagasabb belső fuzárium fertőzöttség mértéket (39,7%), ahol a *F. verticillioides* faj részaránya volt a legmagasabb (19,17%). 2021-ben alacsonyabb belső fuzárium fertőzöttség szintet regisztráltam (28,86%) a 2023-ban mért adatokhoz viszonyítva, ellenben a *F. verticillioides* aránya ebben az évben volt a legmagasabb (19,27%). 2020-ban mértem a legalacsonyabb belső fuzárium fertőzöttséget (26,09%), ugyanakkor a DON toxint termelő fuzárium fajok aránya ebben az évben volt a legmagasabb (4,58%), amely meghaladta a másik két évben mért értéket. 2020-ban *F. verticillioides* 8,33%-os fertőzöttségi szintje a legalacsonyabb érték volt a három vizsgált évben (58.ábra).



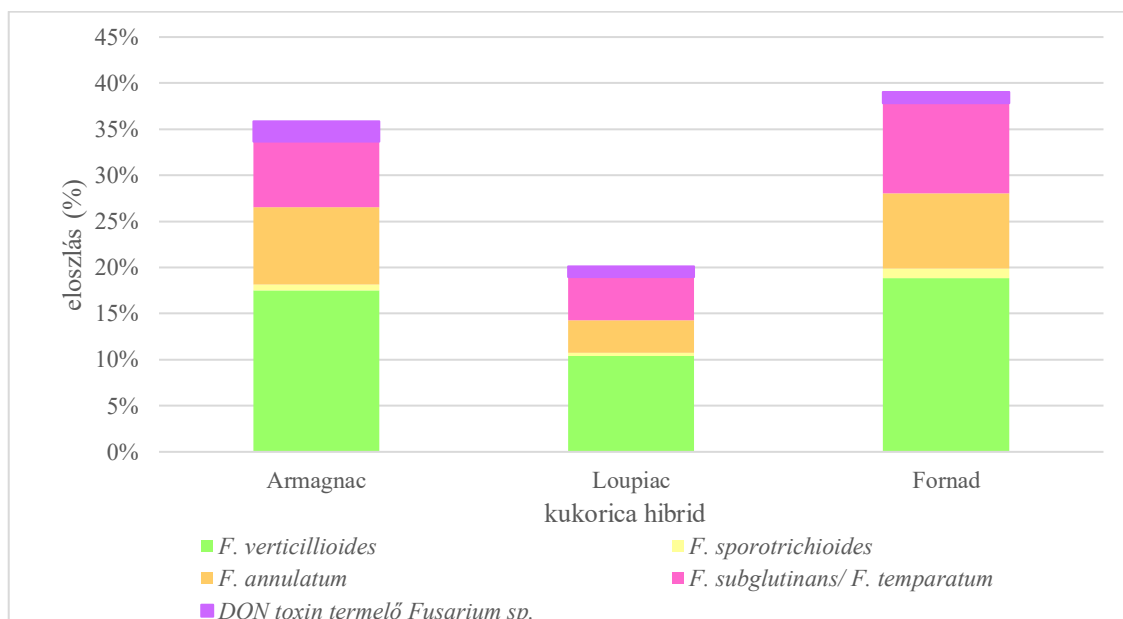
58. ábra: A *Fusarium* fajösszetétel három év átlagában

Az összesített adatok alapján a művelési rendszerek is hatással voltak a belső fuzárium fertőzöttség mértékére. A sávos művelésmódban mértem a kukoricaszemekben a legmagasabb belső fuzárium fertőzöttséget (38,89%), ezt követte a redukált (36,39%), a talajvédő művelés (28,81%), majd a szántás művelés (26,8%). A *F. verticillioides* részaránya a redukált művelésben (20%) volt a legmagasabb, míg a *F. annulatum* (11,25%), *F. sporotrichioides* (1,67%), *F. subglutinans/F. temperatum* (8,19%) és a DON toxint termelő *Fusarium sp.* (2,22%) a sávos művelésben volt a legmagasabb (59.ábra).



59. ábra: A *Fusarium* fajösszetétel a talajművelési rendszerekben a három év átlagban

A kukorica hibridek belső fuzárium fertőzöttségének hároméves adatainak együttes értékelésekor a Fornad hibrid esetében mértem a legmagasabb belső fertőzöttséget (39,06%). Ezt követte az Armagnac (35,84) és a Loupiac hibrid (20,11%). A fuzárium fajok közül a *F. verticillioides* (18,85%) és a *F. subglutinans/F. temperatum* (9,79%) előfordulása a Fornad hibridnél volt a legmagasabb. A belső fertőzöttség és a fuzárium fajok részarányát tekintve a Loupiac kukorica hibridnél mértem a legalacsonyabb értékeket (60. ábra).



60. ábra: A kukorica hibridek *Fusarium* fajösszetétele három év átlagában

5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A kukorica termesztéstechnológiájának első lépése az alapművelés, amely során az alapművelő eszközök eltérő módon dolgozzák be a szármadaradványt. Ennek eredményeként a megművelt terület szármadaradvány-borítottsága (0-30%) is változó lesz. A vetés után a kukorica kelésdinamikáját elsősorban a talaj hőmérséklete határozza meg. Az egyenletes kelés alapfeltétele a megfelelően felmelegedett magágy, amit a felszíni szármadaradvány-borítottság aránya is befolyásol. A vizsgálatomat három eltérő agrometeorológiai körülmény között végeztem, ahol négy különböző talajművelési rendszert hasonlítottam össze. Elemeztem, hogy a különböző időpontban kelt kukoricahibridek milyen fizikai és beltartalmi tulajdonságokkal rendelkeznek.

A három év összesített terméseredményei alapján a szántás művelési módban mértem a legmagasabb termésszintet (13,13 t/ha), a redukált, a talajvédő és a sávos művelésmód szignifikánsan alacsonyabb volt. Az évjáratok között nagy termésátlag-ingadozás tapasztalható, ami a csapadék egyenletlen eloszlásával igazolható. 2020-ban a szántás művelésben mértem a legmagasabb termésátlagot (15,84 t/ha), amely szignifikánsan magasabb volt a talajvédő és a sávos műveléstől, de nem tért el a redukált műveléstől. 2021-ben a szántás művelésben 5,46 t/ha termésátlagot mértem, ami az előző évhez képest 65,5%-os csökkenést jelentett. Ebben az évben a szántás eredménye szignifikánsan meghaladta mindhárom másik művelési módét. 2023-ban a szántás (16,07 t/ha), a talajvédő (16,21 t/ha) és a sávos művelés (16,26 t/ha) terméseredményei között nem volt igazolható statisztikai különbség. Ezzel szemben a redukált művelés (15,47 t/ha) szignifikánsan alacsonyabb termésátlagú volt mindhárom másik műveléshez képest. Ezen eredményeim összhangban vannak Gyórfy és Szabó (1968), Drimba és Nagy (1998), Nagy (1995, 1996, 2007), Wilhelm és Wortmann (2004), Rátonyi et al. (2005), Jones et al. (2006), Cociu és Alionte (2011), valamint Kecskés et al. (2023) eredményeivel.

A három év összesített adatai alapján a Fornad hibrid termésátlaga 13,55 t/ha volt, amely szignifikánsan meghaladta az Armagnac (12,46 t/ha) és a Loupiac (12,37 t/ha) hibrid értékét. Az évjáratok külön elemzésekor minden esetben a Fornad hibrid volt a legmagasabb termésátlagú, amely statisztikailag is igazolt volt.

Három év adatainak együttes elemzése után megállapítottam, hogy a különböző szármadaradvány-borítottság miatt a talajfelszín felmelegedése eltérő, ami a kukorica

kelésdinamikában is megmutatkozik. A leggyorsabb és legdinamikusabb kelés a szántás művelésmódban volt mérhető. Ebben a művelésben a 3. napra kikelt az elvetett szemek 80%-a, a sávós művelésben ezzel szemben csak az ötödik napon érte el ezt a szintet. A negyedik naptól nem volt szignifikáns különbség a kelésdinamikában a különböző művelési rendszereknél. A kelésdinamikai megfigyeléseim alátámasztják Sojnóczki és Nagy (2023) megfigyeléseit.

A három év összesített adatainak elemzése alapján a legnagyobb kukoricacsősúlyt a szántás művelésmódban (199 g/cső) mértem. Ez az érték nem különbözött statisztikailag a talajvédő művelésben mért eredménytől, ugyanakkor szignifikánsan meghaladta a redukált (183 g/cső) és a sávós (177 g/cső) művelésekben mért csősúlyokat. Az évjáratok külön-külön történő vizsgálata során minden esetben a szántás művelés eredményezte a legnagyobb csősúlyokat, azonban ezek a különbségek nem minden esetben voltak statisztikailag igazolhatók. A kukoricahibridek esetében három év összesített adatai alapján a legnagyobb csősúlyt az Armagnac hibridnél mértem (196 g/cső), amely szignifikánsan meghaladta a Fornad (182 g/cső) és a Loupiac (182 g/cső) hibridek átlagos csősúlyát. A kelés időbeni eltolódásával fokozatos csökkenés volt megfigyelhető a csősúlyokban. Az első két napon kelt egyedek csősúlya között nem volt statisztikai különbség (217, 212 g/cső). A harmadik naptól kezdődően (197 g/cső) azonban a csősúlyok folyamatosan csökkentek, és ezek egyben szignifikáns különbséget is jelentettek az első két naphoz képest. A hatodik napon kelt egyedek átlagosan 138 g/cső tömegű csövet fejlesztettek, ami a kelési idő előrehaladtával bekövetkező termésnövekedést igazolja. Azonos megállapítást tett Petersen et al. (1986), miszerint a hagyományos forgatásos művelésben magasabb volt a kukorica csősúlya, mint a sávós és a művelés nélküli („no till”) művelésekben.

A három év során gyűjtött adatok elemzése szerint a szemek száma is különbséget mutatott a talajművelési rendszereknél. A szántás (404 db/cső) és a sávós művelés esetében (405 db/cső) mértem a legtöbb szemet átlagosan a csöveken, ez a két művelés statisztikailag nem különbözött egymástól. Azonban a talajvédő művelésben mért érték (378 db/cső) szignifikánsan alacsonyabb volt ezekhez képest. A hároméves adatsor elemzése során a hibridek között nem mutatkozott statisztikai különbség. Az évenkénti adatsorok alapján viszont a száraz évjáratban (2021) a hosszabb tenyészidejű Armagnac (FAO 490) hibrid (307 db/cső) szignifikánsan kevesebb szemet fejlesztett, mint a

rövidebb tenyészidejű Fornad (FAO 420) (348 db/cső). Ezzel szemben csapadékosabb évjáratban az Armagnac hibridnél 452 db/cső, míg a Fornad hibridnél 424 db szemszámot mértem. A szemek száma eltérően alakult a kelésidő függvényében. A korábban kelt egyedek esetén szignifikánsan több szemszámot mértem. Az első (419 db/cső) napon kelt egyedeknél mért szerszámhoz képest a hatodik napon kelt egyedeknél 26%-kal alacsonyabb (325 db/cső) szemszámot mértem.

Három év adatainak együttes elemzésekor a szemek tömegének vizsgálatánál megállapítottam, hogy a szántás művelésben (177 g/cső) volt a legmagasabb a szemek tömege, ami szignifikánsan meghaladta a másik három művelés eredményeit. A legalacsonyabb értéket a redukált művelésben mértem (160 g/cső), amely a sávós és a talajvédő műveléstől statisztikailag nem különbözött. Az évjárat hatása a szemek tömegére is kimutatható volt. Minden évjáratban a szántás művelésmódban volt mérhető a legmagasabb szemtömeg. Ugyanakkor a 2023-ban mért átlaghoz képest (208 g/cső) 2021-ben (110 g/cső) 53%-kal alacsonyabb értéket mértem a szántás művelésmódban. A hibridek elemzése során szintén igazolható volt az évjárat hatása. Csapadékosabb évjáratokban a hosszabb tenyészidejű Armagnac hibrid nagyobb szemtömeget (210 g/cső) eredményezett, amely szignifikánsan is különbözött a többi hibridtől. A kelés időpontjának vizsgálata alapján hasonló összefüggést tapasztaltam, mint a csövek súlyánál. Minél később kelt a növényegyed, annál kisebb a szemek tömege, amely statisztikailag is igazolható különbséget mutatott. Vizsgálataim egybevágóak Smit et al. (1997) megfigyelésével, miszerint a hibridek termésének fizikai paramétereit elsősorban az éghajlati tényezők befolyásolják.

Az ezerszemtömeg hároméves adatsorát elemezve igazoltam, hogy a szántás művelésmód (435 g) nem különbözött statisztikailag a talajvédő műveléstől (425 g). A redukált (402 g) és a sávós művelés (396 g) nem tért el ugyan egymástól, de szignifikánsan alacsonyabb volt a szántás és a talajvédő műveléshez képest. Az eredmények alapján itt is mérhető az évjárat hatása. Bizonyítottam, hogy a szántás művelésben minden évjáratban a legmagasabb az ezerszemtömeg. Szántás művelésmódban a 2021-ben mért érték 37%-kal volt alacsonyabb, mint a 2020-ban mért érték. A hibridek között csak 2021-ben volt mérhető különbség, akkor a leghosszabb tenyészidejű Armagnac hibrid (340 g) esetében mértem a legnagyobb ezerszemtömeget, amely szignifikánsan magasabb volt, mint a Fornad (281 g) és a Loupiac hibrid (262 g). A kelés időpontját idősorosán vizsgálva

megállapítottam, hogy az első két napon kelt egyedek ezerszemtömege szignifikánsan magasabb volt, mint az azt követően kelt egyedeké, a hatodik napon kelt egyedek (355 g) ezerszemtömege 21,5%-kal volt kevesebb, mint az első napon kelt (451 g) egyedeken mért átlag. A talajművelési rendszerek és az éghajlati kölcsönhatások voltak képesek a legnagyobb mértékben befolyásolni az ezerszem tömeg alakulását.

A beltartalmi paraméterek (fehérje, keményítő, olaj) hároméves adatsorát elemezve megállapítottam, hogy a talajművelési rendszerek nem gyakoroltak számottevő hatást ezekre az értékekre. A hibridek vizsgálatánál igazoltam, hogy a keményítőtartalom alakulására nem volt hatása a hibrideknek, ugyanakkor az olajtartalom tekintetében a Fornad hibrid 6%-kal magasabb volt, mint a Loupiac és Armagnac hibridek. A fehérjetartalom esetében fordított tendencia figyelhető meg. A Fornad hibridnél (6,93%) mértem a legalacsonyabb értéket, míg a Loupiac (7,4%) és az Armagnac hibridek (7,1%) szignifikánsan magasabb fehérjetartalommal rendelkeztek. Az eredmények alapján megállapítható, hogy az évjáratnak nagyobb szerepe van a beltartalmi paraméterek változásában, mint a hibrideknek. Az évjárat különbségek jelentős hatást gyakoroltak a beltartalmi értékekre. A fehérjetartalom csapadékosabb évben (2020) 25%-kal alacsonyabb volt. Ezzel ellentétben a keményítőtartalom 2020-ban 9%-kal volt magasabb, mint a szárazabb 2021-es évben. Az olajtartalom esetében szintén az évjárat hatás érvényesült. A szárazabb évjáratban (2021) 7%-kal magasabb értéket mértem, mint a csapadékos évben (2020). Az eltérő napon kelt egyedek olajtartalma között nem volt igazolható statisztikai különbség. A keményítőtartalom az ötödik és a hatodik napon kelt egyedek esetében szignifikánsan alacsonyabb volt (63,58%), mint az első napon (65,25%) kelt egyedeknél mért érték. A fehérjetartalom is az ötödik és a hatodik napon (7,37%) volt magasabb az első naphoz (6,87%) képest, ami statisztikailag is igazolt különbség volt. Az eredményeim összhangban vannak Houx et al. (2016) és Baghdadi et al. (2012) megfigyeléseivel. Ezzel szemben Cociu és Alionte (2011) megfigyelései azt mutatták, hogy alacsonyabb terméshozamú években a kukoricaszemek olaj- és keményítőtartalma magasabb a szántás művelésben, mint a sávos művelésben. A fehérjetartalomban ők sem találtak különbséget a művelési rendszerek között.

A szártő-megbetegedés mértéke eltérően alakult a négy művelési rendszerben. A három év összesített adatainak együttes értékelésekor igazoltam, hogy a redukált művelésben (10,12%) volt a legalacsonyabb a fertőzés, amely szignifikánsan alacsonyabb érték volt

a többi műveléshez képest. A szántás (13,21%) és a talajvédő művelés (15,52%) eredményei statisztikailag nem különböztek egymástól, azonban alacsonyabb mértékűek voltak, mint a sávos (28,28%) művelésben mért érték. A sávos művelésben mértem a legmagasabb fertőzési %-ot, amely szignifikáns is volt a többi műveléshez képest. A sávos művelésben 2,1-szer magasabb fertőzés volt megfigyelhető a szántás műveléshez képest. A fizikai paraméterek vizsgálata során szignifikáns különbségeket állapítottam meg az egészséges és a szártőfertőzött egyedek között. A fertőzött töveken a csövek súlya 25%-kal volt alacsonyabb, ami statisztikai különbséget is jelentett. A szemek számánál 13%-os csökkenést mértem a megbetegedést mutató töveken. A szemek tömegénél 24%-os csökkenést tapasztaltam az egészséges egyedekhez képest, míg az ezerszemtömegnél 13%-os csökkenés mutatkozott a beteg tövekről származó minták alapján, a szártő-megbetegedésben szenvedő egyedek termés-csökkenése minden mért paraméter esetében szignifikáns eltért az egészséges tövekről származó csöveken mért adatoktól. A növényi maradványok talajfelszínen hagyásával elősegítjük a növényi kórokozók fennmaradását és felszaporodását (Cook és Haglund, 1991). A vizsgálataimmal összhangban Govaerts et al. (2006) megállapította, hogy a forgatás nélküli rendszerek esetén magasabb a talajból fertőző *Fusarium* fajokhoz köthető megbetegedések aránya. A szártő-megbetegedés termés fizikai paramétereire gyakorolt hatásával összefüggésben azonos megállapításokat tett Costa et al. (2019).

A mikotoxin-szennyezettség mérésekor megállapítottam, hogy a talajművelési rendszerek és a hibridek mellett az agrometeorológiai tényezők is jelentős hatást gyakorolnak a mikotoxinok termelődésére. 2020-ban a DON toxin termelődése számára optimális volt az időjárási feltétel, míg 2021-ben és 2023-ban a fumonizin toxinok domináltak a mintákban. A fumonizin csoporton belül az FB1 toxin fordult elő leggyakrabban, ezt követte az FB2, míg kisebb mértékben ugyan, de FB3 és FB4 toxint is sikerült megmérnem a mintákban. 2020-ban a DON toxin legmagasabb koncentrációját a sávos művelésben (0,29 mg/kg) mértem, ami szignifikánsan magasabb volt a többi műveléstől. A szántás művelésben (0,13 mg/kg) mért értéktől 2,23-szor volt magasabb ez az érték. Fumonizinek termelődése ebben az évben nagyon alacsony volt, így különbségek nem alakultak ki a művelések között. A vizsgálatban szereplő hibrideknél nem volt igazolható különbség 2020-ban. Mansfield et al. (2005) azonos megállapítást tett, miszerint a forgatás nélküli rendszerek esetében a DON toxin tartalom magasabb volt a forgatásos műveléshez képest.

2021-ben a mintákban nem volt kimutatható DON toxin, ezzel szemben az FB1 és FB2 toxin koncentrációi között statisztikai különbségek alakultak ki a művelési módoknál. A szántás művelésből származó mintákból mértem az FB1 toxin legalacsonyabb koncentrációját, amely szignifikánsan alacsonyabb volt a talajvédő (0,53 mg/kg) és a sávós (0,45 mg/kg) művelésből származó mintáktól. A sávós és a talajvédő művelés módban 4-5-ször magasabb FB1 szintet mértem a szántáshoz képest. FB2 toxin esetén a szántás művelésben mértem a legalacsonyabb toxinszintet (0,02 mg/kg), amely szignifikánsan csak a talajvédő műveléstől tért el (0,2 mg/kg). Az FB3 és FB4 mikotoxin a négy művelésben statisztikailag nem különbözött. Az FB1 és FB2 toxinok összege a szántás művelésben volt a legalacsonyabb (0,12 mg/kg), ezzel szemben a sávós (0,58 mg/kg) és a talajvédő művelésben (0,73 mg/kg) szignifikánsan magasabb volt ez az érték. A forgatás nélküli rendszerek esetén 5-6-szor több mikotoxin-szennyeződést mértem 2021-ben, mint a szántás művelésben. 2021-ben a Fornad hibrid esetében mértem a legmagasabb FB1+FB2-szennyezettséget, amely szignifikánsan meghaladta a másik két hibrid értékét. 2023-ban a DON és a fumonizinek koncentrációja nagyon alacsony volt, így a talajművelési rendszerek és a hibridek esetében nem alakultak ki számottevő különbségek. A fumonizinek közül az FB1 és FB2 aránya megegyezett a Rheeder et al. (2002), Chen et al. (2020) vizsgálataival. Továbbá Mesterházy et al. (2022) 2012-2017 között végzett vizsgálatait a teljes fumonizin- koncentráció esetén az FB1 dominanciáját mutatta (72,63%), majd ezt követte az FB2 (20,34%) és FB3 (7,03%) toxin szintje.

A belső fuzárium-fertőzöttség esetén a három év adatainak együttes értékelésekor 2023-ban mértem a legmagasabb (40%) fertőzési %-ot. Ezzel szemben szignifikánsan alacsonyabb értéket mértem 2020-ban (27%) és 2021-ben (29%). Ez utóbbi két érték statisztikailag nem különbözött. A toxintermelődés tekintetében viszont 2023 volt az az évjárat, amikor a legalacsonyabb koncentrációkat mértem a mintákban. 2020-ban 23-34% között volt a belső fertőzés mértéke a művelésekben, statisztikai különbségek nem voltak, a hibrideknél a Loupiac esetén (18%) mértem a legalacsonyabb fertőzési %-ot, amely szignifikánsan alacsonyabb volt a Fornad (31%) és az Armagnac (31%) hibridektől. 2021-ben a redukált művelésben mértem a legalacsonyabb (20%) fertőzési %-ot, amely csak a szántás műveléstől (31%) volt szignifikánsan alacsonyabb érték, a talajvédő (31%) és a sávós műveléstől (33%) nem különbözött statisztikailag. Az ebben az évben vizsgált minták alapján a hibridek közül csak a Fornad (23%) és a Loupiac (36%) különbözött statisztikailag egymástól.

2023-ban a szántás művelési módban mértem a legalacsonyabb fertőzést (25%), a forgatás nélküli rendszerekben minden esetben magasabb volt ez az érték, ugyanakkor csak a sávostól (41%) és a redukált műveléstől (55%) tért el statisztikailag igazolható módon. A hibridek közül ismét a Loupiac hibridnél mértem a legalacsonyabb fertőzési %-ot, amely szignifikánsan is a legalacsonyabb volt a hibridek között. A megfigyeléseimmel azonosak Tóth et al. (2012) kutatási eredményeivel.

A genetikai fajmeghatározás során a *F. verticillioides* és a *F. annulatum* bizonyult dominánsnak. A három évjárat során eltérő mértékű volt a kukoricaszemek belső *Fusarium* fertőzöttsége évjáratonként, művelésenként és hibridenként is. 2023-ban mértem a legmagasabb belső fuzárium fertőzöttséget (39,7%), ahol a *F. verticillioides* faj részaránya volt a legmagasabb (19,17%). 2021-ben alacsonyabb belső fuzárium fertőzöttség szintet regisztráltam (28,86%) a 2023-ban mért adatokhoz viszonyítva, ellenben a *F. verticillioides* aránya ebben az évben volt a legmagasabb (19,27%). 2020-ban mértem a legalacsonyabb belső fuzárium fertőzöttséget (26,09%), ugyanakkor a DON toxint termelő fuzárium fajok aránya ebben az évben volt a legmagasabb (4,58%), amely meghaladta a másik két évben mért értéket. A művelések között a sávos művelésben volt mérhető a legmagasabb belső fertőzés (38,89%), a szántás művelésben volt a legalacsonyabb (26,8%). A *F. verticillioides* részaránya a redukált művelésben (20%) volt a legmagasabb, míg a *F. annulatum* (11,25%), *F. sporotrichioides* (1,67%), *F. subglutinans/F. temperatum* (8,19%) és a DON toxin termelő *Fusarium* sp. (2,22%) a sávos művelésben volt a legmagasabb. A kukorica hibridek esetében a Fornad hibridnél mértem a legmagasabb belső fertőzést (39,06%), ugyan ennél a hibridnél a *F. verticillioides* (18,85%) és a *F. subglutinans/F. temperatum* (9,79%) részaránya volt a legmagasabb. Az eredményeimmel azonos megállapítást tett Tóth et al. (2012), miszerint a *F. verticillioides* volt domináns Magyarországon, míg a *F. sporotrichioides* és a *F. subglutinans* alacsonyabb számban képviseltette magát.

A 2021-es kukorica mintákban volt mérhető nagyobb mennyiségű fumonizin koncentráció, így ezekben a mintákat használtuk fel acilezett FB1 toxin származékok vizsgálatára. A mintákból minden talajművelési rendszer esetében detektáltunk FB1 acilezett származékokat. Szántóföldi körülmények között azonos megállapítást tett Falavigna et al. (2013) Olaszországban. Az FB1 acilezett formái a kukoricában található összes FB1 kis részét képezik, ugyanakkor jóval toxikusabbak, mint maga az FB1 toxin

(Park et al., 2013; Csenki et al., 2023). A humán toxicitási profilja még nem tisztázott, ezért a jövőben az élelmiszer– biztonság és az állati takarmányokkal kapcsolatos kockázatértékelésnél figyelembe kell venni.

A kukorica terméshozama nagy ingadozást mutat évjáratonként. Ez elsősorban az éghajlati adottságokra adott növényélettani reakció. A növény igényeit előtérbe helyező integrált növénytermesztési és növényvédelmi gyakorlat alkalmazása kiemelt fontosságú. A helyes talajművelési rendszer és hibridválasztás mellett számos bizonyítottan alkalmas eszköz áll a rendelkezésünkre, hogy a növény fejlődését veszélyeztető és korlátozó biotikus és abiotikus tényezők ellen beavatkozzunk. A fent taglalt eredmények figyelembevételével javítani tudjuk a termelési színvonalunkat és ezáltal növelni tudjuk a termés-, és az élelmiszer biztonságot.

6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Megállapítottam, hogy szántóföldi körülmények között 2021-ben Nádudvaron *Fusarium verticillioides* által fertőződött kukorica szemtermésében a gombafaj által termelt fumonizinek között acilezett származékok is előfordultak. A világon először határoztunk meg kukoricából acilezett FB1 toxin származékokat valós kalibrációs standardok mérését követően. Ez a gombafaj meleg, száraz időjárási viszonyok mellett termelt fumonizineket, míg a DON toxint termelő *Fusarium* sp. által fertőzött csövekben meleg, nedves időjárási körülmények között termelt DON toxint. Nádudvaron természetes *Fusarium* spp. fertőzésnél a különböző talajművelési módok között eltérő mikotoxin-szennyezettség alakult ki.
2. Megállapítottam, hogy a forgatás nélküli rendszerekben a kukorica kelésdinamikája 1-2 nappal hosszabb a szántás művelési módhoz képest. A Nádudvaron 3 éven keresztül végzett vizsgálatok alapján megállapítottam, hogy a kelésdinamika művelésenként különbözött. A kevesebb szármaradvánnyal borított talaj (szántás, redukált művelés) 1-2 °C-kal magasabb hőmérsékletű volt a vetést követő 2-3 hétben. Az 1. napon és az 5. napon kelt egyedek termésparaméterei között szignifikáns különbség alakult ki, a korábban kelt egyedek magasabb termésszintet voltak képesek elérni, mint a később kelt növények.
3. Megállapítottam, hogy a vizsgált három évjáratban a szántás művelésmódban volt a legmagasabb a terméseredmény. Az évjáratok között nagy eltérés volt, 2021-ben a sokéves átlagtól kevesebb lehullott csapadék miatt a szántás művelésben 5,46 t/ha-t mértem, amely szignifikánsan magasabb volt ebben az évjáratban a többi műveléstől. 2020-ban és 2023-ban is a szántás művelésmódban mértem a legmagasabb termésátlagokat a művelések között. A 2021-es évhez viszonyítva a kiegyenlített csapadéknak köszönhetően 2020-ban 10,38 t/ha-ral, míg 2023-ban 10,61 t/ha-ral volt magasabb a termésátlag a szántás művelésmódban.
4. Megállapítottam, hogy Nádudvaron, réti csernozjom talajon a kukorica termésátlagért elsősorban a vegetációs időszak közepén (június-július) lehullott

csapadék mennyisége befolyásolta. A csapadékos 2020-ban a leghosszabb tenésziidejű (FAO 490) Armagnac hibridnek 16,13 t/ha volt a legmagasabb a termésátlaga, míg az aszályos 2021-es évjáratban a rövidebb tenésziidejű Fornad (FAO 420) hibrid (4,36 t/ha) szerepelt a legjobban. A szintén csapadékos 2023-ban a Fornad hibrid 17,14 t/ha termésmennyisége statisztikailag igazolhatóan meghaladta a Loupiac (15,6 t/ha) és az Armagnac (15,17 t/ha) hibrid termésátlagát. 2020 június és július hónapban a csapadék sokéves átlagának 1,5-szerese hullott le, ezzel szemben 2021 azonos hónapjában a sokéves átlag 14, illetve 69%-a hullott le. 2023-ban a sokéves átlaghoz viszonyítva júniusban 79, míg júliusban 110% esett.

5. Bizonyítottam, hogy Nádudvaron, réti csernozjom talajon végzett vizsgálatomban (2020,2021,2023) a kukorica beltartalmi paramétereit (fehérje-, keményítő-, olajtartalom) a talajművelési módok és az évjárat hatások együttese befolyásolták. A szemek fehérjetartalmában 2021-ben és 2023-ban szignifikáns különbség volt a művelésmódok között. A 2020-as értékhez képest (6%) 30%-kal magasabb (8%) volt 2021-ben, és 15%-kal volt magasabb 2023-ban. Az olaj és a keményítőtartalom 2020-ban statisztikailag különbözött a művelésmódokban. A keményítőtartalom a 2020-as értékhez képest (67%) 8-9%-kal volt alacsonyabb a 2021-es évjáratban és 4-5%-kal volt alacsonyabb a 2023-as évjáratban (64%). Az olajtartalom 4-9%-kal volt magasabb 2021-ben a 2020-ban mért értékhez képest (3,1%), 2023-ban 16-18%-kal volt magasabb.
6. Bizonyítottam, hogy a szártő-megbetegedés mértékét a talajművelési rendszerek is befolyásolják. A legalacsonyabb fertőzési arányt a redukált (10,12%) és a szántás (13,21%) művelésben mértem, amelyek között nem volt szignifikáns különbség. A legmagasabb fertőzési arányt a sávos művelésben mértem (28,28%), amely szignifikánsan magasabb volt a többi művelésben mért értékekhez képest. A fizikai paraméterek közül a csősúly 33%-kal, a szemek száma 14%-kal, a szemek tömege 31%-kal és az ezerszemtömeg 31%-kal szignifikánsan alacsonyabb volt a szártőbetegségben nem szenvedő egyedekhez képest.

7. GYAKORLATBAN ALKALMAZHATÓ EREDMÉNYEK

1. A kukorica kelésdinamikáját jelentősen befolyásolja a négyféle talajművelési mód. Az első 48-72 órában kelt egyedek termés potenciálja a legnagyobb, ezért nagy hangsúly van az alpművelést követően a talajfelszínen maradó szármagadvány- borítottság mértékén, ugyanis a kelés ütemét, a kora tavaszi talajmelegedést ezen tényező befolyásolja leginkább.
2. A mikotoxin szennyezettség évjárat, művelés és hibridfüggő. A csapadékosabb években (2020) a DON toxin, míg szárazabb évjáratokban (2021, 2023) a fumonizinek dominálnak. A DON szennyezettség a sávos művelésben volt a legmagasabb. A fumonizin szennyezettség a sávos, talajvédő és redukált művelésben is egyaránt magas volt. A Loupiac hibrid esetében mértem a legalacsonyabb toxinszinteket. A mikotoxin kockázat értékelésekor ezek a tényezők figyelembevétele jelentős.
3. Minden művelési rendszerben megtalálhatóak az acilezett fumonizinek, az élelmiszer biztonság növelése érdekében érdemes lesz a jövőben vizsgálni ezen paramtereket is.
4. A szártő-megbetegedés mértéke a sávos művelési rendszerben volt a legmagasabb. A sávos művelés alkalmazása esetén figyelmet kell fordítanunk a megbetegedést kiváltó tényezők (talajból fertőző *Fusarium* és egyéb fajok, károsítók által nyitott fertőzési kapuk) mérséklésére integrált növényvédelmi módszerekkel.
5. A kukorica terméseredménye integrált növénytermesztési beavatkozásokkal javítható. A szélsőséges időjárási tényezők hatásának mérséklése irányuló technológiai beavatkozások, a megfelelő művelésmód, hibridválasztás, vetéshez optimális talajhőmérséklet révén csökkenthetjük a termésingadozást.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

A kukorica fuzáriózisa az egyik legnagyobb kórtani probléma a kukoricatermesztés során, amely a kukorica bármely fejlődési állapotában képes komoly gazdasági kárt okozni. A növénytermesztési technológia fejlődése számos a fuzáriózissal kapcsolatos problémára megoldást nyújtott viszont az időjárási szélsőségek folyamatosan újabb megoldandó problémák elé állítja a kutatókat. A különböző talajművelési rendszerek és a kukorica hibridek is igazoltan eltérő hatást gyakorolnak a kukorica szemtermésére. Mind a fizikai, mind a beltartalmi értékek változása megfigyelhető ezen tényezők hatására. Az évjárat hatása mellett az alpművelések és a hibridek a fuzárium fajok megjelenése, részaránya és toxintermelésére is hatással van.

Dolgozatomban felmértem, hogy réti csernozjom talajon négyféle talajművelési rendszer (szántás-, redukált-, talajvédő-, sávós művelés) és három eltérő éréscsoportba tartozó (FAO 420, FAO 490, FAO 380) kukorica hibrid milyen hatást gyakorol a fuzárium fajok megjelenésére, azok toxintermelésére, a szártő-megbetegedés mértékére és a kukoricaszemek fizikai és beltartalmi mutatóira.

Dolgozatomban az alábbi célkitűzéseim voltak:

1. Négyféle talajművelési rendszerben a kukorica kelésdinamikájának vizsgálata.
2. Négyféle talajművelési rendszerben a kukorica-egyedek kelési időpontjának hatása a kukoricatermés mennyiségére, a szemtermés fizikai és beltartalmi paramétereire.
3. A kukoricaszártő-megbetegedés mértékének vizsgálata négyféle talajművelési rendszerben, a megbetegedés termésmennyiségre gyakorolt hatása.
4. Milyen fuzárium fajok (*Fusarium spp.*) fordulnak elő a kukorica szemtermésében négyféle talajművelési rendszerben
5. A kukoricaszemek dezoxinivalenol (DON) és fumonizin toxin (FB1, FB2, FB3, FB4) szennyezettségi szintjének meghatározása különböző talajművelési rendszerekben.
6. A kukoricaszemek belső fuzárium-fertőzöttség mértékének meghatározása négyféle talajművelési rendszerben.
7. Acilezett fumonizin B1 származékok kimutatása kukoricamintákból.

A kísérleteket a KITE Zrt. Nádudvar határában elhelyezkedő Multifaktoriális Agrotechnológiai Kísérleti Telepén végeztem 2020-2023 között. A vizsgálatban szereplő

három évből 2020-ban és 2023-ban kielégítő volt a csapadékmennyiség a kukorica szempontjából. A csapadék eloszlása nagyon fontos volt ebben a két évjáratban, 2020. június és július hónapban a sokéves átlag másfélszerese hullott, míg 2023. július és augusztus hónapban ez az érték 10-15%-kal volt magasabb a megszokottól. 2021-ben a csapadék eloszlása a kukorica számára kedvezőtlenül alakult, március (33%) és április (52%) hónapban a sokéves átlag kevesebb, mint a fele hullott, továbbá a termékenyülés és szemkitelítődés időszakában is (június: 14%, július: 69%) szélsőségesen alacsony volt ez az érték.

A kukorica legfontosabb értékmérője a termés mennyisége, a három év összesített terméseredményei alapján a talajművelési rendszereknél a szántás művelési módban mértem a legmagasabb termésszintet (13,13 t/ha), a redukált, a talajvédő és a sávos művelésmód szignifikánsan alacsonyabb volt. Az évjáratok között nagy termésátlag-ingadozás volt, ami a csapadék egyenetlen eloszlásával igazolható. A hibridek vizsgálatánál a Fornad hibrid termésátlaga 13,55 t/ha volt, amely szignifikánsan meghaladta az Armagnac (12,46 t/ha) és a Loupiac (12,37 t/ha) hibrid értékét. Az évjáratok külön elemzésekor minden esetben a Fornad hibrid volt a legmagasabb termésátlagú, amely statisztikailag is igazolt volt. A terméseredmények értékeléséhez hozzámérővel felszerelt kombájn által gyűjtött nagy mennyiségű betakarítási adatot használtam fel, amelyet az SPSS statisztikai program segítségével dolgoztam fel és értékeltem.

Az eltérő szármaradvány-borítottság miatt a talajfelszín felmelegedése különbözött a talajművelési rendszerekben, ami hatással volt a kukorica kelésdinamikájára. A kelésdinamikai felvételezéseket művelésenként 12 véletlenszerűen elhelyezett 3 fm-es mintaterületen az első kikelt egyed megjelenésétől számítva 7 napig végeztem. A legdinamikusabb kelés a szántás művelésmódban volt mérhető. Ebben a művelésben a 3. napra kikelt az elvetett szemek 80%-a, a sávos művelésben ezzel szemben csak az ötödik napon érte el ezt a szintet. A negyedik naptól nem volt szignifikáns különbség a kelésdinamikában a különböző művelési rendszereknél.

A kukorica szemtermés fizikai paramétereinek vizsgálatakor megállapítottam, hogy a legnagyobb kukorica csősúly a szántás művelésmódban (199 g/cső) volt, amely szignifikánsan meghaladta a redukált (183 g/cső) és a sávos (177 g/cső) művelésekben mért csősúlyokat. Az évjáratokban rendre a szántás művelésben volt a legmagasabb

csősúly, de a különbség nem mindig volt statisztikailag igazolható. A kukoricahibridek esetében az Armagnac hibridnél mértem (196 g/cső) a legnagyobb csősúlyt. A kelés időbeni eltolódásával fokozatos csökkenés volt megfigyelhető a csősúlyokban. A szemszám tekintetében a szántás (404 db/cső) és a sávos művelés (405 db/cső) statisztikailag nem különbözött egymástól. A hibridek között csak az évenkénti adatsorok alapján volt különbség, a száraz évjáratban (2021) a hosszabb tenyészidejű Armagnac (FAO 490) hibrid (307 db/cső) szignifikánsan kevesebb szemet fejlesztetett, mint a rövidebb tenyészidejű Fornad (FAO 420) (348 db/cső). Ezzel szemben csapadékosabb évjáratban az Armagnac hibridnél 452 db/cső, míg a Fornad hibridnél 424 db szemszámot mértem. A szemek száma eltérően alakult a kelésidő függvényében. A korábban kelt egyedek esetén szignifikánsan több szemszámot mértem. A szemek tömege a szántás művelésben (177 g/cső) volt a legmagasabb, ami szignifikánsan meghaladta a másik három művelés eredményeit. Minden évjáratban a szántás művelésmódban volt mérhető a legmagasabb szemtömeg. Ugyanakkor a 2023-ban mért átlaghoz képest (208 g/cső) 2021-ben (110 g/cső) 53%-kal alacsonyabb értéket mértem a szántás művelésmódban. Az ezerszemtömeg alapján a szántás művelésmód (435 g) nem különbözött statisztikailag a talajvédő műveléstől (425 g). Bizonyítottam, hogy a szántás művelésben minden évjáratban a legmagasabb az ezerszemtömeg. Szántás művelésmódban a 2021-ben mért érték 37%-kal volt alacsonyabb, mint a 2020-ban mért érték. A hibridek között csak 2021-ben volt mérhető különbség, akkor a leghosszabb tenyészidejű Armagnac hibrid (340 g) esetében mértem a legnagyobb ezerszemtömeget, amely szignifikánsan magasabb volt, mint a Fornad (281 g) és a Loupiac hibrid (262 g). Az eredmények alapján a kelés időpontja, a művelés és az évjárat hatások egyaránt statisztikailag igazolható módon befolyásolták a termés minőségét.

A beltartalmi paraméterek (fehérje, keményítő, olaj) vizsgálatára egy PerkinElmer DA 7250 típusú analitikai műszert alkalmaztam, amely a közeli infravörös (Near-Infrared: NIR) spektroszkópián alapul. A hároméves adatsort elemezve megállapítottam, hogy a talajművelési rendszerek nem gyakoroltak számottevő hatást ezekre az értékekre. A hibridek vizsgálatánál igazoltam, hogy a keményítőtartalom alakulására nem volt hatása a hibrideknek, ugyanakkor az olajtartalom tekintetében a Fornad hibrid 6%-kal magasabb volt, mint a Loupiac és Armagnac hibridek. A fehérjetartalom esetében fordított tendencia figyelhető meg. A Fornad hibridnél (6,93%) mértem a legalacsonyabb értéket, míg a Loupiac (7,4%) és az Armagnac hibridek (7,1%) szignifikánsan magasabb

fehérjetartalommal rendelkeztek. Az eredmények alapján megállapítható, hogy az évjáratnak nagyobb szerepe van a beltartalmi paraméterek változásában, mint a hibrideknek. A fehérjetartalom csapadékosabb évben (2020) 25%-kal alacsonyabb volt. Ezzel ellentétben a keményítőtartalom 2020-ban 9%-kal volt magasabb, mint a szárazabb 2021-es évben. Az olajtartalom esetében szintén az évjárat hatása érvényesült. A szárazabb évjáratban (2021) 7%-kal magasabb értéket mértem, mint a csapadékos évben (2020). Az eltérő napon kelt egyedek olajtartalma között nem volt igazolható statisztikai különbség. A keményítőtartalom az ötödik és a hatodik napon kelt egyedek esetében szignifikánsan alacsonyabb volt (63,58%), mint az első napon (65,25%) kelt egyedeknél mért érték. A fehérjetartalom is az ötödik és a hatodik napon (7,37%) volt magasabb az első naphoz (6,87%) képest, ami statisztikailag is igazolt különbség volt.

A szártó-megbetegedés mértékének megállapítása a szártó rész kézi roppantásos vizsgálatával történt. A megbetegedés mértéke eltérően alakult a négy művelési rendszerben. A három év összesített adatainak együttes értékelésekor igazoltam, hogy a redukált művelésben (10,12%) volt a legalacsonyabb a fertőzés, amely szignifikánsan alacsonyabb érték volt a többi műveléshez képest. A szántás (13,21%) és a talajvédő művelés (15,52%) eredményei statisztikailag nem különböztek egymástól, azonban alacsonyabb mértékűek voltak, mint a sávos (28,28%) művelésben mért érték. A sávos művelésben mértem a legmagasabb fertőzési %-ot, amely szignifikáns is volt a többi műveléshez képest. A fizikai paraméterek vizsgálata során szignifikáns különbségeket állapítottam meg az egészséges és a szártófertőzött egyedek között. A fertőzött töveken a csövek súlya 25%-kal volt alacsonyabb, ami statisztikai különbséget is jelentett. A szemek számánál 13%-os csökkenést mértem a megbetegedést mutató töveken. A szemek tömegénél 24%-os csökkenést tapasztaltam az egészséges egyedekhez képest, míg az ezerszemtömegnél 13%-os csökkenés mutatkozott a beteg tövekről származó minták alapján.

A minták DON és fumonizin B1, B2, B3 és B4 toxintartalmát HPLC-MS módszerrel határoztuk meg. A mikotoxin-szennyezettség mérésekor megállapítottam, hogy 2020-ban a DON toxin, míg 2021-ben és 2023-ban a fumonizin toxinok domináltak a mintákban. A négy B-típusú fumonizin közül az FB1 toxin fordult elő leggyakrabban. 2020-ban a DON toxin legmagasabb koncentrációját a sávos művelésben (0,29 mg/kg) mértem, ami szignifikánsan magasabb volt a többi műveléstől. A vizsgálatban szereplő hibrideknél

nem volt igazolható különbség 2020-ban. 2021-ben a mintákban nem volt kimutatható DON toxin, ezzel szemben az FB1 és FB2 toxin koncentrációi között statisztikai különbségek alakultak ki a művelési módoknál. A szántás művelésből származó mintákból mértem az FB1 toxin legalacsonyabb koncentrációját, amely szignifikánsan alacsonyabb volt a talajvédő (0,53 mg/kg) és a sávos (0,45 mg/kg) művelésből származó mintáktól. Az FB1 és FB2 toxinok összege a szántás művelésben volt a legalacsonyabb (0,12 mg/kg), ezzel szemben a sávos (0,58 mg/kg) és a talajvédő művelésben (0,73 mg/kg) szignifikánsan magasabb volt ez az érték. 2021-ben a Fornad hibrid esetében mértem a legmagasabb FB1+FB2-szennyezettséget, amely szignifikánsan meghaladta a másik két hibrid értékét. 2023-ban a DON és a fumonizin koncentráció is nagyon alacsony volt, így a talajművelési rendszerek és a hibridek esetében nem alakultak ki számottevő különbségek.

A belső fuzárium-fertőzöttséget laboratóriumi körülmények között határoztam meg. Minden parcellából (48 db) 20 kukoricaszemet helyeztem táptalajra. Ez alapján a három év adatainak együttes értékelésekor 2023-ban mértem a legmagasabb (40%) fertőzési %-ot. Ezzel szemben szignifikánsan alacsonyabb értéket mértem 2020-ban (27%) és 2021-ben (29%). 2020-ban 23-34% között volt a belső fertőzés mértéke a művelésekben, statisztikai különbségek nem voltak, a hibrideknél a Loupiac esetén (18%) mértem a legalacsonyabb fertőzési %-ot, amely szignifikánsan alacsonyabb volt a Fornad (31%) és az Armagnac (31%) hibridektől. 2021-ben a redukált művelésben mértem a legalacsonyabb (20%) fertőzési %-ot, amely csak a szántás műveléstől (31%) volt szignifikánsan alacsonyabb érték, a talajvédő (31%) és a sávos műveléstől (33%) nem különbözött statisztikailag. Az ebben az évben vizsgált minták alapján a hibridek közül csak a Fornad (23%) és a Loupiac (36%) különbözött statisztikailag egymástól. 2023-ban a szántás művelési módban mértem a legalacsonyabb fertőzést (25%), a forgatás nélküli rendszerekben minden esetben magasabb volt ez az érték, ugyanakkor csak a sávostól (41%) és a redukált műveléstől (55%) tért el statisztikailag igazolható módon. A hibridek közül ismét a Loupiac hibridnél mértem a legalacsonyabb fertőzési %-ot, amely szignifikánsan is a legalacsonyabb volt a hibridek között.

Azokból a mintákból, ahol magas fumonizin FB1 toxinkoncentrációt detektáltunk, acilezett fumonizin B1 tartalomra is elvégeztük a méréseket. A vizsgálathoz HPLC-MS műszert alkalmaztunk. A 2021-es mintákból sikeresen azonosítottuk az acilezett

fumonizin B1 származékokat. Minden talajművelési rendszerben az 5-*O*-acil-FB1 származékok közül kimutatható volt az 5-*O*-linoleoil-FB1, 5-*O*-palmitoil-FB1 és 5-*O*-oleoil-FB1, valamint a feltételezetten 10-*O*-acil-FB1 származékok közül a 10-*O*-linoleoil-FB1, 10-*O*-palmitoil-FB1, és 10-*O*-oleoil-FB1.

A kukoricaszemekből izolált *Fusarium* fajokat béta-tubulin (β -tub) génszakasz alapján azonosítottuk. A vizsgálat során a *F. verticillioides* és a *F. annulatum* bizonyult dominánsnak, mindkettő a *Fusarium fujikuroi* fajkomplex (FFSC) tagja. A három évjárat során eltérő mértékű volt a kukoricaszemek belső *Fusarium* fertőzöttsége évjáratonként, művelésenként és hibridenként is. 2023-ban mértem a legmagasabb belső fuzárium fertőzöttséget (39,7%), ahol a *F. verticillioides* faj részaránya volt a legmagasabb (19,17%). 2021-ben alacsonyabb belső fuzárium fertőzöttség szintet regisztráltam (28,86%) a 2023-ban mért adatokhoz viszonyítva, ellenben a *F. verticillioides* aránya ebben az évben volt a legmagasabb (19,27%). 2020-ban mértem a legalacsonyabb belső fuzárium fertőzöttséget (26,09%), ugyanakkor a DON toxint termelő fuzárium fajok aránya ebben az évben volt a legmagasabb (4,58%), amely meghaladta a másik két évben mért értéket. A művelések között a sávos művelésben volt mérhető a legmagasabb belső fertőzés (38,89%), a szántás művelésben volt a legalacsonyabb (26,8%). A *F. verticillioides* részaránya a redukált művelésben (20%) volt a legmagasabb, míg a *F. annulatum* (11,25%), *F. sporotrichioides* (1,67%), *F. subglutinans*/*F. temperatum* (8,19%) és a DON toxin termelő *Fusarium* sp. (2,22%) a sávos művelésben volt a legmagasabb. A kukorica hibridek esetében a Fornad hibridnél mértem a legmagasabb belső fertőzést (39,06%), ugyanennél a hibridnél a *F. verticillioides* (18,85%) és a *F. subglutinans*/*F. temperatum* (9,79%) részaránya volt a legmagasabb.

9. SUMMARY

Fusarium ear rot is one of the most significant phytopathological problems in maize production, capable of causing serious economic damage at any developmental stage of the plant. While advancements in crop production technologies have solved many fusarium-related issues, increasing weather extremes continue to pose new challenges for researchers. Different tillage systems and maize hybrids have demonstrably varying effects on grain yield. These factors influence both the physical characteristics and the compositional values of the maize kernels. In addition to the impact of the crop year, the type of tillage and hybrid variety also affect the occurrence, prevalence, and toxin production of Fusarium species. Furthermore, tillage systems have a measurable effect on the emergence dynamics of maize.

In my thesis, I assessed how four tillage systems (conventional plowing, reduced, conservation, and strip tillage) and three maize hybrids from different maturity groups (FAO 420, FAO 490, FAO 380) influence Fusarium incidence, toxin production, stalk rot severity, and the physical and compositional traits of maize kernels on meadow chernozem soil.

My objectives were:

1. To examine maize emergence dynamics under four tillage systems.
2. To assess how the emergence timing under four tillage systems affects yield and kernel physical/compositional parameters.
3. To evaluate stalk rot severity across tillage systems and its impact on yield.
4. To identify Fusarium species (*Fusarium* spp.) present in maize grain under the four tillage systems.
5. To determine DON and fumonisin toxin (FB1, FB2, FB3, FB4) levels in maize kernels from different tillage systems.
6. To evaluate internal Fusarium infection levels in kernels under each tillage system.
7. To detect acylated fumonisin B1 derivatives in maize samples.

The experiments were conducted between 2020–2023 at the Multifactorial Agrotechnological Experimental Site of KITE Zrt. in Nádudvar. In 2020 and 2023, precipitation was adequate for maize growth. June and July 2020 saw 1.5 times the long-term average rainfall, while July and August 2023 were 10–15% wetter than usual. In contrast, 2021 experienced below-average rainfall, particularly in March (33%) and April (52%), and extremely low levels during pollination and grain filling (June: 14%, July: 69%).

Yield is the most important indicator of maize productivity. Across three years, conventional tillage produced the highest average yield (13.13 t/ha), significantly exceeding reduced, conservation, and strip tillage systems. Annual variation in yields correlated with uneven rainfall distribution. Among hybrids, Fornad yielded highest at 13.55 t/ha, statistically outperforming Armagnac (12.46 t/ha) and Loupiac (12.37 t/ha). Fornad consistently achieved the highest yields in each year, confirmed statistically. Yield data was collected using a combine harvester equipped with a yield monitor and analyzed via SPSS.

Tillage systems influenced soil warming due to differences in residue cover, which affected maize emergence dynamics. Emergence was tracked for 7 days after the first seedling appearance on twelve randomly placed 3-meter plots per treatment. The fastest emergence was observed under conventional tillage, where 80% of seeds emerged by day 3; under strip tillage, this rate was reached only by day 5. From day 4 onward, no significant differences were observed among tillage systems.

Regarding physical parameters, the highest ear weight was observed under conventional tillage (199 g/ear), significantly higher than reduced (183 g/ear) and strip tillage (177 g/ear). Although conventional tillage consistently produced the heaviest ears across all years, statistical significance varied. Armagnac had the highest ear weight among hybrids (196 g/ear). A delay in emergence corresponded with decreasing ear weight. Kernel number did not differ significantly between conventional (404 kernels/ear) and strip tillage (405 kernels/ear). In 2021, the longer-season Armagnac (FAO 490) developed fewer kernels (307/ear) than the earlier Fornad (FAO 420, 348/ear). In wetter years, Armagnac produced 452 kernels/ear, compared to 424 for Fornad. Early-emerging plants produced significantly more kernels. Kernel mass was also highest under conventional tillage (177 g/ear), consistently surpassing other systems annually. However, compared

to the 2023 average (208 g/ear), kernel mass was 53% lower in 2021 (110 g/ear). Thousand kernel weight was highest under conventional (435 g) and did not differ significantly from conservation tillage (425 g). In all years, conventional tillage led to the highest thousand kernel weight. In 2021, the Armagnac hybrid had the highest thousand kernel weight (340 g), significantly surpassing Fornad (281 g) and Loupiac (262 g). Emergence timing, tillage, and year significantly affected grain quality.

For compositional traits (protein, starch, oil), I used a PerkinElmer DA 7250 analyzer based on NIR spectroscopy. Over three years, tillage systems did not significantly affect these traits. Hybrid selection did not influence starch content but did impact oil and protein levels. Fornad showed 6% higher oil content than Loupiac and Armagnac. Conversely, Fornad had the lowest protein content (6.93%), while Loupiac (7.4%) and Armagnac (7.1%) had significantly higher values. Year had a greater effect than hybrid on compositional traits. Protein content was 25% lower in the wetter 2020, while starch was 9% higher than in 2021. Oil content was 7% higher in the drier 2021. No statistical difference in oil content was found based on emergence day. Starch content was significantly lower (63.58%) in plants emerging on days 5–6 compared to day 1 (65.25%). Protein content was higher on days 5–6 (7.37%) versus day 1 (6.87%), a statistically confirmed difference.

Stalk rot severity was determined via manual stem crushing. Infection severity varied by tillage system. Reduced tillage had the lowest infection rate (10.12%), significantly lower than others. Conventional (13.21%) and conservation (15.52%) did not differ significantly but were lower than strip tillage (28.28%), which showed the highest and statistically significant infection rate. Physically, infected plants had 25% lower ear weight, 13% fewer kernels, 24% lower kernel mass, and 13% lower thousand kernel weight.

DON and fumonisin toxins (FB1, FB2, FB3, FB4) were quantified using HPLC-MS. In 2020, DON was dominant; in 2021 and 2023, fumonisins were more prevalent. FB1 was the most common fumonisin. In 2020, DON peaked under strip tillage (0.29 mg/kg), significantly higher than other systems. No hybrid differences were observed that year. In 2021, DON was not detected, but FB1 and FB2 levels varied significantly among systems. FB1 levels were lowest under conventional tillage, significantly lower than conservation (0.53 mg/kg) and strip (0.45 mg/kg). The combined FB1+FB2 content was lowest under

conventional (0.12 mg/kg), but significantly higher under strip (0.58 mg/kg) and conservation tillage (0.73 mg/kg). Fornad had the highest FB1+FB2 content in 2021, significantly surpassing other hybrids. In 2023, both DON and fumonisin levels were very low, with no significant variation among tillage systems or hybrids.

Internal *Fusarium* infection was assessed in lab conditions by placing 20 kernels from each of 48 plots onto growth media. The highest infection rate (40%) was recorded in 2023. Significantly lower rates were observed in 2020 (27%) and 2021 (29%). In 2020, infection ranged from 23–34% across tillage types with no statistical differences. Loupiac showed the lowest infection (18%), significantly below Fornad and Armagnac (both 31%). In 2021, reduced tillage had the lowest infection (20%), significantly lower than conventional (31%) but not different from conservation (31%) or strip (33%). Only Fornad (23%) and Loupiac (36%) differed statistically among hybrids. In 2023, infection was lowest under conventional (25%), significantly lower than under strip (41%) and reduced tillage (55%). Loupiac again had the lowest hybrid infection rate.

Samples with high FB1 levels were also tested for acylated fumonisin B1 derivatives using HPLC-MS. In 2021, acylated FB1 derivatives were successfully identified in all tillage systems, including 5-O-linoleoyl-FB1, 5-O-palmitoyl-FB1, and 5-O-oleoyl-FB1, as well as presumed 10-O-acyl-FB1 derivatives: 10-O-linoleoyl-FB1, 10-O-palmitoyl-FB1, and 10-O-oleoyl-FB1.

Fusarium species isolated from maize kernels were identified via beta-tubulin gene (β -tub) sequencing. *F. verticillioides* and *F. annulatum* were dominant, both members of the *Fusarium fujikuroi* species complex (FFSC). Internal infection levels varied by year, tillage system, and hybrid. In 2023, the highest infection (39.7%) and *F. verticillioides* prevalence (19.17%) were recorded. In 2021, overall infection was lower (28.86%), but *F. verticillioides* prevalence was highest (19.27%). The lowest infection occurred in 2020 (26.09%), but DON-producing *Fusarium* species were most prevalent (4.58%). Among tillage types, strip tillage had the highest infection (38.89%), and conventional the lowest (26.8%). *F. verticillioides* prevalence was highest under reduced tillage (20%), while *F. annulatum* (11.25%), *F. sporotrichioides* (1.67%), *F. subglutinans*/*F. temperatum* (8.19%), and DON-producing *Fusarium* spp. (2.22%) peaked under strip tillage. Fornad showed the highest hybrid infection (39.06%), as well as the highest *F. verticillioides* (18.85%) and *F. subglutinans*/*F. temperatum* (9.79%) levels.

10. IRODALOMJEGYZÉK

1. Alexander, N. J. – Proctor, R. H. – McCormick, S. P.: 2009. Genes, gene clusters, and biosynthesis of trichothecenes and fumonisins in *Fusarium*. *Toxin reviews*. 28: 198-215.
2. Allmaras, R. R. – Copeland, S. M. – Wilkins, D. E.: 1997. Tillage tool control over crop residue placement: conservation impacts. *Soil and Tillage Research*. 43: 255–268.
3. Allmaras, R.R. – Unger, P.W. – Wilkins, D.E.: 1985. Conservation tillage systems and soil productivity. [In: Follett R. F. and Stewart B. A. (Editors), *Soil Erosion and Crop Productivity*]. University of Wisconsin, Madison, 357-411.
4. Anumudu, C. K. – Ekwueme, C. T. – Uhegwu, C. C. – Ejilegha, C. – Augustine, J., Okolo, C. A. – Onyeaka, H.: 2024. A Review of the Mycotoxin Family of Fumonisins, Their Biosynthesis, Metabolism, Methods of Detection and Effects on Humans and Animals. *International Journal of Molecular Sciences*. 26: 184.
5. ApSimon, J. W. – Blackwell, B. A. – Blais, L. – Fielder, D. A. – Greenhalgh, R. – Kasitu, G. – Miller, J. D. – Savard, M.: 1990. Mycotoxins from *Fusarium* species: detection, determination and variety. *Pure and Applied Chemistry*. 62: 1339-1346.
6. Arshad, M. A. – Schnitzer, M. – Angers, D. A. – Ripmeester, J. A.: 1990. Effects of till vs no-till on the quality of soil organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*. 22: 595-599.
7. Backhouse, D. – Burgess, L.W. – Summerell, B.A.: 2001. Biogeography of *Fusarium*. *Fusarium: Paul E. Nelson Memorial Symposium*. [In Summerell, B.A., Leslie, J.F., Backhouse, D., Bryden, W.L., Burgess, L.W. (Editors)]. University of New England, Armidale. 122–137.
8. Bádonyi K. – Madarász B. – Kertész Á. – Csepinszky B.: 2008. A talajművelési módok és a talajerózió kapcsolatának vizsgálata zalai mintaterületen. *Földrajzi értesítő*. 57: 147-167
9. Baghdadi, A. – Halim, R. A. – Majidian, M. – Daud, W. N. W. – Ahmad, I.: 2012. Plant density and tillage effects on forage corn quality. *Journal of Food, Agriculture and Environment*. 10: 366-370.
10. Bakker, T. – Bontsema, J. – Müller, J.: 2010. Systematic design of an autonomous platform for robotic weeding. *Journal of Terramechanics*. 47: 63-73.

11. Barber, R.: 2000. Principal tillage methods. In: Manual on integrated soil management and conservation practices. FAO Land and Water Bulletin No. 8. pp. 55-80.
12. Bartalos, T., – Lal, R. – Németh, T.: 1995. Conservation tillage for sustaining soil and water quality. Ministry for Environment and Regional Policy, AKAPRINT Budapest.
13. Bartók, T. – Szécsi, Á. – Szekeres, A. – Mesterházy, Á. – Bartók, M.: 2006. Detection of new fumonisin mycotoxins and fumonisin-like compounds by reversed-phase high-performance liquid chromatography/electrospray ionization ion trap mass spectrometry. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*. 20: 2447-2462.
14. Bartók, T. – Szekeres, A. – Szécsi, Á. – Bartók, M. – Mesterházy, Á.: 2008. A new type of fumonisin series appeared on the scene of food and feed safety. *Cereal Research Communications*. 36. Supplement 6: 315–319.
15. Bartók, T. – Tölgyesi, L. – Szekeres, A. – Varga, M. – Bartha, R. – Szécsi, Á. – Bartók, M. – Mesterházy, Á.: 2010. Detection and characterization of twenty-eight isomers of fumonisin B1 (FB1) mycotoxin in a solid rice culture infected with *Fusarium verticillioides* by reversed-phase high-performance liquid chromatography/electrospray ionization time-of-flight and ion trap mass spectrometry. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*. 24: 35–42.
16. Becher, R. – Miedaner, T. – Wirsel, S. G. R.: 2013. 8 Biology, diversity, and management of FHB-causing *Fusarium* species in small-grain cereals. [In: Kempken, F. (Editors)]. *Agricultural Applications*. 2nd ed. The Mycota XI. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. 199–241.
17. Békési, P. – Hinfner, K.: 1970. Adatok a kukorica fuzáriumos eredetű megbetegedéseinek ismeretéhez. (Data to the knowledge of Fusarium-caused diseases of Maize.) *Növényvédelem*. 6: 13-18.
18. Bennett J.W. – Klich M.: 2003. Mycotoxins. *Clinical Microbiology Reviews*. 16: 497–516
19. Bernhoft, A. – Torp, M. – Clasen, P. E. – Løes, A. K. – Kristoffersen, A. B.: 2012. Influence of agronomic and climatic factors on *Fusarium* infestation and mycotoxin contamination of cereals in Norway. *Food Additives & Contaminants: Part A*. 29: 1129-1140.

20. *Berzsenyi, Z. – Dang, Q. L.:* 2008. Effect of various crop production factors on the yield and yield stability of maize in a long-term experiment. *Cereal Research Communications*. 36: 167-176.
21. *Birkás M. – Dekemati I. – Kende Z. – Pósa B.:* 2017. Review of soil tillage history and new challenges in Hungary. *Hungarian Geographical Bulletin*. 66: 55–64.
22. *Birkás M. – Jug D. – Kende Z. – Kisić I. – Szemők, A.:* 2018. Soil tillage response to the climate threats – Revaluation of the classic theories. *Agriculturae Conspectus Scientificus*. 83: 1–9.
23. *Birkás M. – Kisić I. – Mesić M. – Jug D. – Kende Z.:* 2015. Climate induced soil deterioration and methods for mitigation. *Agriculturae Conspectus Scientificus*. 80: 17–24.
24. *Birkás, M.:* 2018. Okszerű talajművelés Győrffy Béla nyomán (1.)–(a szellemi hagyaték folytatása) *Agrofórum*. 2018. november 4.
25. *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: 312-326.
26. *Blaney, B. J. – Dodman, R. L.:* 2002. Production of zearalenone, deoxynivalenol, nivalenol, and acetylated derivatives by Australian isolates of *Fusarium graminearum* and *F. pseudograminearum* in relation to source and culturing conditions. *Australian Journal of Agricultural Research*. 53: 1317-1326.
27. *Bocz E. – Nagy J.:* 2003. A kukorica nagy termésének feltételei. *Gyakorlati Agrofórum Extra*. 2: 2-3.
28. *Boltovsky, S. N. – Sokolovsky, A. V. – Sokolovsky, V. V.:* 2020. Review of precision farming systems. In *Innovative Technologies in the Agricultural Industry, as a Factor of Science Development in Modern Conditions*. 75-80.
29. *Booth C.:* 1971. The Genus *Fusarium*. Commonwealth Mycological Institute, Kew. 237.
30. *Buckingham, F. – Pauli, A.W.:* 1993. Tillage. Fundamentals of machine operation. Deere and Company, Illinois. 158.
31. *Bullerman, L. B.:* 1983. Effects of potassium sorbate on growth and aflatoxin production by *Aspergillus parasiticus* and *Aspergillus flavus*. *Journal of Food Protection*. 46: 940-943.

32. *Campbell, H.*: 1907. Soil Cultur Mannuel. Okszerű talajművelés. (átd. ford. K. Ruffy) Pátria Rt. Budapest.
33. *Cannel R. Q.*: 1985. Reduced tillage in north-west Europe – A review. *Soil and Tillage Research*. 5: 129-177.
34. *Çerçioğlu, M. – Anderson, S. H. – Udawatta, R. P. – Alagele, S.*: 2019. Effect of cover crop management on soil hydraulic properties. *Geoderma*. 343: 247-253.
35. *Chelkowski, J.*: 1989. Mycotoxins associated with corn cob fusariosis. *Fusarium* Elsevier. 53-62.
36. *Chen, J. – Li, Z. – Cheng, Y. – Gao, C. – Guo, L. – Wang, T. – Xu, J.*: 2020. Sphinganine-analog mycotoxins (SAMs): chemical structures, bioactivities, and genetic controls. *Journal of Fungi*. 6: 312.
37. *Cociu, A. I. – Alionte, E.*: 2011. Yield and some quality traits of winter wheat, maize and soybean, grown in different tillage and deep loosening systems aimed to soil conservation. *Romanian Agricultural Research*. 28: 109-120.
38. *Conservation Tillage Information Center*: 1984. Conservation Tillage: Local Action and Views: A Survey of America's Conservation Districts. CTIC, Fort Wayne. 19.
39. *Constable, P. D. – Smith, G. W. – Rottinghaus, G. E. – Tumbleson, M. E. – Haschek, W. M.*: 2003. Fumonisin-induced blockade of ceramide synthase in sphingolipid biosynthetic pathway alters aortic input impedance spectrum of pigs. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*. 284: H2034-H2044.
40. *Cook, R. J. – Haglund, W. A.*: 1991. Wheat yield depression associated with conservation tillage caused by root pathogens in the soil not phytotoxins from the straw. *Soil Biology and Biochemistry*, 23: 1125-1132.
41. *Costa, R. V. D. – Simon, J. – Cota, L. V. – Silva, D. D. D. – Almeida, R. E. M. D. – Lanza, F. E. – Lago, B. C. – Pereira, A. A. – Campos, L. J. M. – Figueiredo, J. E. F.*: 2019. Yield losses in off-season corn crop due to stalk rot disease. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 54. e00283-e00296.
42. *Csenki, Z. – Bartók, T. – Bock, I. – Horváth, L. – Lemli, B. – Zsidó, B. Z. – Balázs Z. – Cserne, A. – Hetényi Cs. – Szabó, I. – Urbányi, B. – Kovács, M. – Poór, M.*: 2023. Interaction of fumonisin B1, N-palmitoyl-fumonisin B1, 5-O-palmitoyl-fumonisin B1, and fumonisin B4 mycotoxins with human serum albumin and their toxic impacts on zebrafish embryos. *Biomolecules*. 13: 755.
43. *Cserhádi, S.*: 1896. Az okszerű talajművelés alapelvei. Pátria Rt. Nyomdája, Budapest

44. da Rocha, M. E. B. – Freire, F. D. C. O. – Maia, F. E. F. – Guedes, M. I. F. – Rondina, D.: 2014. Mycotoxins and their effects on human and animal health. *Food control*. 36: 159-165.
45. Dall'Asta, C. – Falavigna, C. – Galaverna, G. – Battilani, P.: 2012. Role of maize hybrids and their chemical composition in *Fusarium* infection and fumonisin production. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 60: 3800-3808.
46. De Leon, C.: 1974. Maize diseases: A guide for field identification. Information bulletin No. 11. Mexico. 77.
47. Denti, E. A. – Reis, E. M.: 2003. Levantamento de fungos associados às podridões do colmo e quantificação de danos em lavouras de milho do planalto médio gaúcho e dos campos gerais do Paraná. *Fitopatologia Brasileira*. 28: 585-590.
48. Desjardins, A. E. – Plattner, R. D. – Nelson, P. E.: 1997. Production of fumonisin B1 and moniliformin by *Gibberella fujikuroi* from rice from various geographic areas. *Applied and Environmental Microbiology*. 63: 1838– 1842.
49. Desjardins, A. E. – Proctor, R. H.: 2007. Molecular biology of *Fusarium* mycotoxins. *International Journal of Food Microbiology*. 119: 47-50.
50. Desjardins, A. E.: 2006. *Fusarium* Mycotoxins: Chemistry, genetics, and biology. The American Phytopathological Society. St. Paul. 260.
51. DeVay, J.E. – Covey, R.P. – Nair, P.N.: 1957. Corn diseases and their importance in Minnesota in 1956. *Plant Disease Reporter*. 41: 505-507.
52. Doehlert, D. C. – Knutson, C. A. – Vesonder, R. F.: 1994. Phytotoxic effects of fumonisin B 1 on maize seedling growth. *Mycopathologia*, 127: 117-121.
53. Domijan, A. M. – Abramov, A. Y.: 2011. Fumonisin B1 inhibits mitochondrial respiration and deregulates calcium homeostasis—implication to mechanism of cell toxicity. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*. 43. 6. 897-904.
54. 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.
55. Döll, S. – Dänicke, S.: 2011. The *Fusarium* toxins deoxynivalenol (DON) and zearalenone (ZON) in animal feeding. *Preventive Veterinary Medicine*. 102: 132-145.
56. Drimba P. – Nagy J.: 1998. A talajművelés hatásának eredményei a kukoricatermesztésben a kockázat figyelembevételével. *Növénytermelés*. 47: 59-70.

57. DSM.: 2021. *Mycotoxin Survey Report – Q4 2021*. Elérhető: https://pages-anh.dsm.com/rs/944XYO531/images/REP_MTXsurvey_Q4_2021_EN_0122_AU_E.pdf?mkt_tok=OTQ0LVhZTy01MzEAAAGCrARErapOm8MZMNIwvFhpuaKbOL4aSHLFM_ZcrheX318QxGaKEuL2ThomwhFFPxeKuh0CIHRiHCZpm2fBg_nq2E21VWPH-Lw [Hozzáférés dátuma: 2024. november 27.]
58. Duncan, G.H. – Lang, A. L. – Bigger, J. H. – Koehler, B. – Bolin, O.: 1938: Illinois corn performance tests for 1938. *Illinois Agricultural Experiment Station Bulletin* 450.
59. Durrell, L. W.: 1923. Dry rot of corn. Iowa State University. Ames. 1-18.
60. Ekaso, D. – Nex, F. – Kerle, N.: 2020. Accuracy assessment of real-time kinematics (RTK) measurements on unmanned aerial vehicles (UAV) for direct georeferencing. *Geo-spatial Information Science*. 23: 165-181.
61. Ekwomadu, T. I. – Dada, T. A. – Nleya, N. – Gopane, R. – Sulyok, M. – Mwanza, M.: 2020. Variation of *Fusarium* free, masked, and emerging mycotoxin metabolites in maize from agriculture regions of South Africa. *Toxins*. 12: 149.
62. Elmer, W. H.: 1990. *Fusarium proliferatum*, as casual agent in *Fusarium crown* and root rot of asparagus. *Plant Disease*. 74: 938.
63. Erbach, D. C. – Krenn, B.: 1993. Idioms and support verb constructions in hpsg. CLAUS-Report 28, Universitat des Saarlandes. Saarbrücken. 1-24.
64. Európai Bizottság.: n.d. Agrárpolitika és a Zöld Megállapodás. Elérhető: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/agriculture-and-green-deal_hu [Hozzáférés dátuma: 2024. március 2.]
65. European Commission.: 2023. Commission Regulation (EU) 2023/915 of 25 April 2023 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs and repealing Regulation (EC) No 1881/2006. *Official Journal of the European Union*. L 119. 103–134. Available at: <https://eur-lex.europa.eu> [Accessed 27 November 2024].
66. European Commission.: 2024a. Commission Regulation (EU) 2024/1022 of 8 April 2024 amending Regulation (EU) 2023/915 as regards maximum levels of deoxynivalenol (DON) in cereals and cereal products. *Official Journal of the European Union*, L 124. 45–60. Available at: <https://eur-lex.europa.eu> [Accessed 27 November 2024].
67. European Commission.: 2024b. Commission Regulation (EU) 2024/1038 of 9 April 2024 amending Regulation (EU) 2023/915 as regards maximum levels for T-2 and HT-2 toxins in cereals and cereal products. *Official Journal of the European Union*.

- L 126. 12–25. Available at: <https://eur-lex.europa.eu> [Accessed 27 November 2024].
68. Falavigna, C. – Lazzaro, I. – Galaverna, G. – Battilani, P. – Dall'Asta, C.: 2013. Fatty acid esters of fumonisins: production on cornmeal media and occurrence in naturally infected maize kernels. *Food Additives and Contaminants. PART A. Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment*. 30: 1606-1613.
69. FAO.: 2009. How to Feed the World in 2050. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Elérhető: https://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues_papers/HLEF2050_Global_Agriculture.pdf [Hozzáférés dátuma: 2024. március 2.]
70. FAO.: 2024. FAOSTAT Database: Crops and livestock products. Available at: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> [Accessed March 2, 2024.]
71. Farkasné Szerletics, A.: 2002. Művelési rendszerek értékelése gyomszabályozási szempontból gödöllői barna erdőtalajon. *Növénytermelés*. 51: 513-527.
72. Farsang, A. – Bartus, M. – Barta, K. – Szatmári, J.: 2013. Csernozjom talajok in situ széleróziós vizsgálata terepi szélcsatornával. *Talajvédelem*. 159-170.
73. Fernández, F. G. – Sorensen, B. A. – Villamil, M. B.: 2015. A comparison of soil properties after five years of no-till and strip-till. *Agronomy Journal*. 107: 1339-1346.
74. Fischl G.: 1990. A kukorica szárkorhadás etiológiája Nyugat-Magyarországon. Kórtani és rezisztenciaproblémák búzában és kukoricában. Szeged. 16.
75. Foley, J. A. – Ramankutty, N. – Brauman, K. A. – Cassidy, E. S. – Gerber, J. S. – Johnston, M. – Mueller N. D. – O'Connell, C. – Ray, D. K. – West, P. C. – Balzer, C. – Bennett, E. M. – Carpenter, S. R. – Hill, J. – Monfreda, C. – Polasky, S. – Rockström, J. – Sheehan, J. – Siebert, S. – Tilman, D. – Zaks, D. P.: 2011. Solutions for a cultivated planet. *Nature*. 478: 337-342.
76. García-González, I. – Hontoria, C. – Gabriel, J. L. – Alonso-Ayuso, M. – Quemada, M.: 2018. Cover crops to mitigate soil degradation and enhance soil functionality in irrigated land. *Geoderma*. 322: 81-88.
77. Gavrilova, O. P. – Gannibal, P. B. – Gagkaeva, T. Y.: 2016. *Fusarium* and *Alternaria* fungi in grain of oats grown in the north-western Russia regarding cultivar specificity. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya*. 51: 111–118.
78. Geiser, D. M. – Aoki, T. – Bacon, C. W. – Baker, S. E. – Bhattacharyya, M. K. – Brandt, M. E. – Brown, D. W. – Burgess, L. W. – Chulze, S. – Coleman, J. J. –

- Correll, J. C. – Covert, S. F. – Crous, P. W. – Cuomo, C. A. – De Hoog, G. S. – Di Pietro, A. – Elmer, W. H. – Epstein, L. – Frandsen, R. J. N. – Freeman, S. – Gagkaeva, T. – Glenn, A. E. – Gordon, T. R. – Gregory, N. F. – Hammond-Kosack, K. E. – Hanson, L. E. – Jiménez-Gasco, M. del M. – Kang, S. – Kistler, H. C. – Kuldau, G. A. – Leslie, J. F. – Logrieco, A. – Lu, G. – Lysøe, E. – Ma, L.-J. – McCormick, S. P. – Migheli, Q. – Moretti, A. – Munaut, F. – O'Donnell, K. – Pfenning, L. – Ploetz, R. C. – Proctor, R. H. – Rehner, S. A. – Robert, V. A. R. G. – Rooney, A. P. – Salleh, B. bin – Scandiani, M. M. – Scauflaire, J. – Short, D. P. G. – Steenkamp, E. – Suga, H. – Summerell, B. A. – Sutton, D. A. – Thrane, U. – Trail, F. – Van Diepeningen, A. – VanEtten, H. D. – Viljoen, A. – Waalwijk, C. – Ward, T. J. – Wingfield, M. J. – Xu, J.-R. – Yang, X.-B. – Yli-Mattila, T. – Zhang, N.: 2013. One fungus, one name: Defining the genus *Fusarium* in a scientifically robust way that preserves longstanding use. *Phytopathology*. 103: 400–408.
79. Gelderblom, W. C. – Jaskiewicz, K. – Marasas, W. F. – Thiel, P. G. – Horak, R. M. – Vlegaar, R. – Kriek, N.: 1988. Fumonisin-novel mycotoxins with cancer-promoting activity produced by *Fusarium moniliforme*. *Applied and Environmental Microbiology*. 54: 1806-1811.
80. Gerlach, W. – Nirenberg, H.: 1982. The Genus *Fusarium*: A Pictorial Atlas. Berlin. 406.
81. Goertz A. – Zuehlke S. – Spiteller, M. – Steiner U. – Dehne, H.W. – Waalwijk, C. – de Vries, I. – Oerke, E. C.: 2010 *Fusarium* species and mycotoxin profiles on commercial maize hybrids in Germany. *European Journal of Plant Pathology*. 128: 101–111.
82. Golinski, P. – Waskiewicz, A. – Wisniewska, H., Kiecana, I. – Mielniczuk, E. – Gromadzka, K. – Kostecki, J. – Bocianowski, J. – Rymaniak, E.: 2010. Reaction of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars to infection with *Fusarium* spp.: mycotoxin contamination in grain and chaff. *Food Additives and Contaminants*. 27: 1015-1024.
83. Golinski, P. – Kostecki, M. – Lasocka, I. – Wisniewska, H. – Chelkowski, J. – Kaczmarek, Z.: 1996. Moniliformin accumulation and other effects of *Fusarium avenaceum* (Fr.) Sacc. on kernels of winter wheat cultivars. *Journal of Phytopathology*. 144: 495-499.
84. Goswami, R. S. – Kistler, H. C.: 2004. Heading for disaster: *Fusarium graminearum* on cereal crops. *Molecular Plant Pathology*. 5: 515-525.

85. Govaerts, B. – Mezzalama, M. – Sayre, K. D. – Crossa, J. – Nicol, J. M. – Deckers, J.: 2006. Long-term consequences of tillage, residue management, and crop rotation on maize/wheat root rot and nematode populations in subtropical highlands. *Applied Soil Ecology*. 32: 305-315.
86. Gregory, J. M.: 1982. Soil cover prediction with various amounts and types of crop residues. *Transactions of the ASAE*. 25: 1333-1337.
87. Griepentrog, H. W. – Christensen, S. – Søgaard, H. T. – Nørremark, M. – Lund, I. – Graglia, E.: 2004. Robotic weeding. In: Proceedings of AgEng 2004 Engineering the Future. Leuven. 1-8.
88. Grove, J. F. – Reimann, E. – Roy, S. – Grovey, J. F.: 2007. The trichothecenes and their biosynthesis. *Progress in the Chemistry of Organic Natural Products*. 63-130.
89. Gruber, S. – Möhring, J. – Claupein, W.: 2011. On the way towards conservation tillage-soil moisture and mineral nitrogen in a long-term field experiment in Germany. *Soil and Tillage Research*. 115: 80-87.
90. Gyárfás, J.: 1925. Sikeres gazdálkodás szárazságban. Az Orsz. magy. gazdasági Egyesület Könyvkiadóvállalata. Pátria Nyomda. Budapest.
91. Győrffy B. – Szabó J. L.: 1968. Tavaszi szántás, minimum tillage és a direktvetés lehetősége a kukoricatermesztésben. Kukoricatermesztési Kísérletek 1965-1968. Akadémiai Kiadó, Budapest. 143-156.
92. Győrffy B.: 1964. Hozzászólás Láng G. A talaj mélyművelése c. vitaanyagához. IV. Osztály Közleményei, 23: 362-370, 417-418.
93. Hall, J. K. – Hartwig, N. L. – Hoffman, L. D.: 1984. Cyanazine losses in runoff from no-tillage corn in “living” and dead mulches vs. unmulched, conventional tillage. *Journal of Environmental Quality*. 13: 105–110.
94. Haller, L. – Moakes, S. – Niggli, U. – Riedel, J. – Stolze, M. – Thompson, M.: 2020. Entwicklungsperspektiven der ökologischen Landwirtschaft in Deutschland. Elérhető: https://orgprints.org/id/eprint/37964/1/haller-etal-2020-UBA-Studie-texte_32-2020_oekologische-landwirtschaft.pdf [Hozzáférés dátuma: 2024. március 16.]
95. Harnos, Z.: 1996. Modelling crop response in Hungary. Climate Change, Climatic Variability and Agriculture in Europe. Annual Report. Environmental Change Unit, University of Oxford, 179-189.

96. Haschek, W. M. – Gumprecht, L. A. – Smith, G. – Tumbleson, M. E. – Constable, P. D.: 2001. Fumonisin toxicosis in swine: an overview of porcine pulmonary edema and current perspectives. *Environmental Health Perspectives*. 109: 251–257.
97. Hawksworth, D. L. – Crous, P. W. – Redhead, S. A. – Reynolds, D. R. – Samson, R. A. – Seifert, K. A. – Taylor, J. W. – Wingfield, M. J. – Abaci, Ö. – Aime, C. – Asan, A. – Bai, F. Y. – de Beer, Z. W. – Begerow, D. – Berikten, D. – Boekhout, T. – Buchanan, P. K. – Burgess, T. – Buzina, W. – Cai, L. – Cannon, P. F. – Crane, J. L. – Damm, U. – Daniel, H. M. – van Diepeningen, A. D. – Druzhinina, I. – Dyer, P. S. – Eberhardt, U. – Fell, J. W. – Frisvad, J. C. – Geiser, D. M. – Geml, J. – Glienke, C. – Gräfenhan, T. – Groenewald, J. Z. – Groenewald, M. – de Gruyter, J. – Guého-Kellermann, E. – Guo, L. D. – Hibbett, D. S. – Hong, S. B. – de Hoog, G. S. – Houbroken, J. – Huhndorf, S. M. – Hyde, K. D. – Ismail, A. – Johnston, P. R. – Kadaifciler, D. G. – Kirk, P. M. – Kõljalg, U. – Kurtzman, C. P. – Lagneau, P. E. – Lévesque, C. A. – Liu, X. – Lombard, L. – Meyer, W. – Miller, A. – Minter, D. W. – Najafzadeh, M. J. – Norvell, L. – Ozerskaya, S. M. – Öziç, R. – Pennycook, S. R. – Peterson, S. W. – Pettersson, O. V. – Quaedvlieg, W. – Robert, V. A. – Ruibal, C. – Schnürer, J. – Schroers, H. J. – Shivas, R. – Slippers, B. – Spierenburg, H. – Takashima, M. – Taşkoin, E. – Thines, M. – Thrane, U. – Uztan, A. H. – van Raak, M. – Varga, J. – Vasco, A. – Verkley, G. – Videira, S. I. R. – de Vries, R. P. – Weir, B. S. – Yilmaz, N. – Yurkov, A. – Zhang, N.: 2011. The Amsterdam declaration on fungal nomenclature. *IMA fungus*. 2: 105-111.
98. Hensch, Á.: 1885. Az okszerű talajművelés elmélete és gyakorlata. Budapest. Pesti Könyvnyomda Rt.
99. Hestbjerg, H. – Nielsen, K.F. – Thrane, U. – Elmoholt, S.: 2002. Production of trichothecenes and other secondary metabolites by *Fusarium culmorum* and *Fusarium equiseti* on common laboratory media and a soil organic matter agar an ecological interpretation. *Journal of agricultural and food chemistry*. 50: 7593–7599.
100. Hietaniemi, V. – Ramo, S. – Yli-Mattila, T. – Jestoi, M. – Peltonen, S. – Kartio, M. – Sieviläinen, E. – Koivisto, T. – Parikka, P.: 2016. Updated survey of *Fusarium* species and toxins in Finnish cereal grains. *Food Additives & Contaminants: Part A*. 33: 831-848.
101. Holbert, J. R. – Burlison, W. L. – Koehler, B. – Woodworth, C.M. – Dungan, G. H.: 1924. Corn root, stalk, and ear rot diseases, and their control thru seed selection and

- breeding (Vol. 255). University of Illinois Agricultural Experiment Station. 255: 239-478.
102. Hollinger, S. E. – Changnon, S. A.: 1994. Response of corn and soybean yields to precipitation augmentation, and implications for weather modification in Illinois. Bulletin (Illinois State Water Survey) no. 73.
 103. Hope, R. – Aldred, D. – Magan, N.: 2005. Comparison of environmental profiles for growth and deoxynivalenol production by *Fusarium culmorum* and *F. graminearum* on wheat grain. *Letters in Applied Microbiology*. 40: 295-300.
 104. Houx III, J. H. – Wiebold, W. J. – Fritschi, F. B.: 2016. Long term tillage treatment effects on corn grain nutrient composition and yield. *Field Crops Research*. 191: 33-40.
 105. Hussein, H. M. – Baxter, M. – Andrew, I. G. – Franich, R. A.: 1991. Mycotoxin production by *Fusarium* species isolated from New Zealand maize fields. *Mycopathologia*. 113: 35-40.
 106. Husz, B.: 1951. Növénybetegségeket okozó konídiumos gombák meghatározása és rendszerezése, Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 195.
 107. Ignjatov, M. – Milošević, D. – Nikolić, Z. – Tamindžić, G. – Stojanović, M. – Popović, V. – Ivanović, Ž.: 2020. First Report of *Fusarium proliferatum* as the Causal Agent of Seed Rot of *Hyssopus officinalis* in Serbia. *Plant Disease*. 104: 1864-1864.
 108. Ismail N. A – Mohd M. H – Nor N. M. I. M. – Zakaria L.: 2017. Fuminisin B1-producing *Fusarium* species from agricultural crops in Malaysia. *Crop Protection*. 98: 70–75.
 109. Jaskulska, I. – Romaneckas, K. – Jaskulski, D. – Gałęzewski, L. – Breza-Boruta, B. – Dębska, B. – Lemanowicz, J.: 2020. Soil properties after eight years of the use of strip-till one-pass technology. *Agronomy*. 10: 1596-1613.
 110. Jávora A. – Szigeti J.: 2011. Termékminőség és termékhigiéna. Debreceni Egyetem, Nyugat Magyarországi Egyetem, Pannon Egyetem. 18-21.
 111. Jestoi, M. – Rokka, M. – Yli-Mattila, T. – Parikka, P. – Rizzo, A. – Peltonen, K.: 2004. Presence and concentrations of the *Fusarium*-related mycotoxins beauvericin, enniatins and moniliformin in Finnish grain samples. *Food Additives and Contaminants*. 21: 794-802.

112. *Jestoi, M.*: 2008. Emerging *Fusarium*-mycotoxins fusaproliferin, beauvericin, enniatins, and moniliformin—A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 48: 21-49.
113. *Jiménez, M. – Manez, M. – Hernandez, E.*: 1996. Influence of water activity and temperature on the production of zearalenone in corn by three *Fusarium* species. *International Journal of Food Microbiology*. 29: 417-421.
114. *Jones Jr, J. N. – Moody, J. E. – Lillard, J. H.*: 1969. Effects of Tillage, No Tillage, and Mulch on Soil Water and Plant Growth 1. *Agronomy Journal*. 61: 719-721.
115. *Jones, C. – Basch, G. – Baylis, A. – Bazzoni, D. – Biggs, J. – Bradbury, R. – Chaney, K. – Deeks, L. – Field, R. – Gómez, J. – Jones, B. – Jordan, V. – Lane, M. – Leake, A. – Livermore, M. – Owens, P. – Ritz, K. – Sturny, W. – Thomas, F.*: 2006. Conservation agriculture in Europe: an approach to sustainable crop production by protecting soil and water? SOWAP; Jealott's Hill International Research Center: Bracknell.
116. *Jones, J. N. – Moody, J. E. – Shear, G. M. – Moschler, W. W. – Lillard, J. H.*: 1968. The No-Tillage System for Corn (*Zea mays L.*) 1. *Agronomy Journal*. 60. 1. 17-20.
117. *Jug D. – Brozovic B. – Durdevic B. – Jug I. – Lipiec J. – Birkás M. – Vukadinovic V.*: 2019. Effect of conservation tillage on crop productivity and nitrogen use efficiency. *Soil and Tillage research*. 194: 104327-104335.
118. *Jugenheimer, R. W.*: 1940. Resistance to *Diplodia* infection in inbred lines and hybrids of maize. PhD Thesis. Iowa State College. 94.
119. *Jurado, M. – Vázquez, C. – Callejas, C. – González-Jaén, M. T.*: 2006. Occurrence and variability of mycotoxigenic *Fusarium* species associated to wheat and maize in South West of Spain. *Mycotoxin Research*. 22: 87–91.
120. *Karlen, D. L.*: 2004. Soil quality as an indicator of sustainable tillage practices. *Soil & Tillage Research*. 78: 129-130.
121. *Kecskés I. – Nagy A. – Sojnóczki I. – Nagy J.*: 2023. Különböző talajművelési rendszerek hatása eltérő genotípusú kukorica (*Zea mays L.*) hibridek termés paramétereire, fehérje, szénhidrát és olajtartalmára. *Növénytermelés*. 72: 37-57.
122. *Kemenessy, E.*: 1961. A földművelés irányelvei. Gazdálkodás: *Scientific Journal on Agricultural Economics*. 5: 30-30.
123. *Késmárki-Gally, S. E.*: 2020. A precíziós gazdálkodás jelentősége a mezőgazdaság versenyképességében. *Multidiszciplináris kihívások, sokszínű válaszok*. 2: 43-58.

124. Kizmus, L. – Marton, L. C. – Krüger, W. – Müller, D. – Drimal, J. – Pronczuk, M. – Zwatz, B. – Craicu, D. S.: 2000. Data on the distribution in Europe of *Fusarium* species causing root and stalk rot in maize. In 50th Anniversary of the Agricultural Research Institute of the Hungarian Academy of Sciences. Scientific Meeting (June 2–3, 1999). Martonvásár. 170-176.
125. Kizmus, L.: 1978. A kukorica csöpenészesedésének vizsgálata mesterséges fertőzéssel. *Növényvédelem*. 14: 49-53.
126. Klik, A. – Rosner, J.: 2020. Long-term experience with conservation tillage practices in Austria: Impacts on soil erosion processes. *Soil and Tillage Research*. 203: 104669.
127. Kniep, K. R. – Mason, S. C.: 1991. Lysine and protein content of normal and opaque-2 maize grain as influenced by irrigation and nitrogen. *Crop Science*. 31: 177-181.
128. Kochiieru, Y. – Mankevičiene, A. – Cesavičiene, J. – Semaškiene, R. – Dabkevičius, Z. – Janavičiene, S.: 2020. The influence of harvesting time and meteorological conditions on the occurrence of *Fusarium* species and mycotoxin contamination of spring cereals. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 100: 2999-3006.
129. Koehler, B. (1960). Cornstalk rots in Illinois. Bulletin (University of Illinois (Urbana-Champaign campus). *Agricultural Experiment Station*); no. 658.
130. Kosiak, B. – Trop, M. – Skjerve, E. – Andersen, B.: 2004. *Alternaria* and *Fusarium* in Norwegian grains of reduced quality-a matched pair sample study. *International Journal of Food Microbiology*. 93: 51-62.
131. Kosiak, E.B. – Holst-Jensen, A. – Runtberget, T. – Jaen, M. T. G. – Torp, M.: 2005. Morphological, chemical and molecular differentiation of *Fusarium equiseti* isolated from Norwegian cereals. *International Journal of Food Microbiology*. 99: 195-206.
132. Kovács F. – Banczerowski J.: 1997. Környezetszennyező kemikáliák és természetes toxinok. *Magyar Tudomány*. 8: 897-909.
133. Kovács F.: 2001. Penészgombák-mikotoxinok. In: Penészgombák-mikotoxinok a táplálékláncban (szerk. Kovács F.). MTA Agrártudományok Osztálya, Budapest, 13-20.
134. KSH.: 2023. Népeségi világnap – 2023. Központi Statisztikai Hivatal. Elérhető: <https://www.ksh.hu/s/kiadvanyok/nepesedesi-vilagnap-2023/index.html>
[Hozzáférés dátuma: 2024. március 2.]

135. KSH.: 2024a. Mezőgazdasági területek és művelési ágak, 2000–2022. Elérhető: https://www.ksh.hu/stadat_files/mez/hu/mez0012.html [Hozzáférés dátuma: 2024. február 26.]
136. KSH.: 2024b. A kukorica termelése vármegye és régió szerint, 2000–2022. Elérhető: https://www.ksh.hu/stadat_files/mez/hu/mez0072.html [Hozzáférés dátuma: 2024. március 2.]
137. Lal, R. – Reicosky D. C. – Hanson J. D.: 2007. Evaluation of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming. *Soil and Tillage Research*. 93: 1-12.
138. Lal, R.: 1990. Soil degradation: A global threat. *Soil Degradation, Advances in Soil Science*. 11: xiii-xvii.
139. Langdale, G. W. – West, L. T. – Bruce, R. R. – Miller, W. P. – Thomas, A. W.: 1992. Restoration of eroded soil with conservation tillage. *Soil Technology*. 5: 81-90.
140. László P. – Gyuricza Cs.: 2008. Talajvédő művelési rendszerek hatása a talaj vízgazdálkodására. *Talajvédelem különszám*. 131-140.
141. Lehoczky, É. – Béres, I. – Kismányoky, T. – Németh, T. – Tóth, Z.: 2010. A talajművelés és a tápanyagellátás gyomosodásra gyakorolt tartamhatásának tanulmányozása= Study on the long-term effect of soil management and nutrient supply on the weeds. OTKA Kutatási Jelentések| *OTKA Research Reports*.
142. Lehoczky, É. – Kismányoky, A. – Németh, T.: 2007. Effect of the soil tillage and N-fertilization on the weediness of maize. *Cereal Research Communications*. 35: 725-728.
143. Leslie J. F. – Zeller K. A. – Summerell B. A.: 2001. Icebergs and speciesin populations of *Fusarium*. *Physiol. Physiological and Molecular Plant Pathology*. 59: 107-117.
144. Leslie, F. J. – Summerell, A. B.: 2006. The *Fusarium* Laboratory Manual (1st ed). Iowa: Blackwell Publishing. Ames. 3-369
145. Leslie, J. F. – Marasas, W. F. O. – Shephard, G. S. – Sydenham, E. W. – Stockenstrom, S. – Thiel, P. G.: 1996. Duckling toxicity and the production of fumonisin and moniliformin by isolates in the A and F mating populations of *Gibberella fujikuroi* (*Fusarium moniliforme*). *Applied Environmental Microbiology*. 62: 1182–1187.
146. Lević, J. – Stanković, S. Ž. – Krnjaja, V. – Bočarov-Stančić, A. S.: 2009. *Fusarium* species: The occurrence and the importance in agriculture of Serbia. *Zbornik Matice Srpske za Prirodne Nauke*. 116.: 33-48.

147. Li, L. – Qu, Q. – Cao, Z. – Guo, Z. – Jia, H. – Liu, N. – Wang Y. – Dong, J.: 2019. The relationship analysis on corn stalk rot and ear rot according to *Fusarium* species and fumonisin contamination in kernels. *Toxins*. 11: 320-333.
148. Li, W.J. – He, P. – Jin, J.Y.: 2010. Effect of potassium on ultrastructure of maize stalk pith and young root and their relation to stalk rot resistance. *Agricultural Sciences in China*. 9: 1467–1474.
149. Liliane, T. N. – Charles, M. S.: 2020. Factors affecting yield of crops. *Agronomy-Climate Change & Food Security*. 9: 1-15.
150. Logrieco, A. – Moretti, A. – Ritieni, A. – Bottalico, A. – Corda, P.: 1995. Occurrence and toxigenicity of *Fusarium proliferatum* from preharvest maize ear rot, and associated mycotoxins, in Italy. *Plant Disease*. 79: 727–731.
151. Logrieco, A. – Mule, G. – Moretti, A. – Bottalico, A.: 2002. Toxigenic *Fusarium* species and mycotoxins associated with maize ear rot in Europe. *European Journal of Plant Pathology*. 108: 597–609.
152. Lorenzo, G. – de, Cartoria, R. – Bellincampi, D. – Cervone, F.: 1997. The Mycota V. Part A. In: Carrol, G. C., Tudzynski, P. (editors.), *Plant Relationships*. Springer-Verlag, Berlin and Heidelberg.
153. Lu, G. Z. – Chen, J. – Liu, W. C. – Zhou, Y. L. – Zhao, T. C. – Liang, J. Y. – Bai, Q. K.: 1995. The pathogens of corn stalk rot and variety resistance. *Journal of Maize Science*. 3: 47–51.
154. Ma, C. Y. – Yao, L. S. – Du, F. L. – Xu, M. L.: 2018. Research progress on resistance of maize to stem rot. *Journal of Maize Science*. 10: 131–137.
155. Magan, N. – Lacey, J.: 1984. Effect of temperature and pH on water relations of field and storage fungi. *Transactions of the British Mycological Society*. 82: 71-81.
156. Magyarország Országgyűlése.: 2007. 2007. évi CXXIX. törvény a termőföld védelméről. Elérhető:
<https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0700129.tv#lbj0id2e08> [Hozzáférés dátuma: 2024. március 9.]
157. Malvick, D. K.: 1995. Corn stalk rots. Department of Crop Sciences, University of Illinois at Urbana-Champaign. *Report on plant disease*. 200: 1-6.
158. Mannering, J. V. – Fenster, C. R.: 1983. What is conservation tillage? *Journal of Soil and Water Conservation*. 38: 140-143.
159. Manninger I.: 1967. Kétéves tapasztalatok a kukorica fuzáriumos megbetegedéséről és a védekezési lehetőségei. *Magyar Mezőgazdaság*. 13: 12-13.

160. Mansfield, M. A. – De Wolf, E. D. – Kuldau, G. A.: 2005. Relationships between weather conditions, agronomic practices, and fermentation characteristics with deoxynivalenol content in fresh and ensiled maize. *Plant disease*, 89: 1151-1157.
161. Marasas, W. F. O. – Leistner, L. – Hofmann, G. – Eckardt, C.: 1979. Occurrence of toxigenic strains of *Fusarium* in maize and barley in Germany. *European Journal of Applied Microbiology and Biotechnology*. 7: 289-305.
162. Marasas, W. F. O. – Nelson, P. E. – Toussoun, T. A.: 1984. Toxigenic *Fusarium* species: Identity and mycotoxicology. University Park: Pennsylvania State University Press. 203.
163. Marasas, W. F.: 1995. Fumonisin: Their implications for human and animal health. *Natural Toxins*. 3: 193-198.
164. Marianna, S.: 2009. A kukorica (*Zea mays* L.) termésének, valamint néhány beltartalmi értékének vizsgálata a hibrid és a tápanyagellátás függvényében öntözési és műtrágyázási tartamkísérletben. *Agrokémia és Talajtan*. 58: 79-90.
165. Marin, S. – Magan, N. – Ramos, A. J. – Sanchis, V.: 2004. Fumonisin-producing strains of *Fusarium*: a review of their ecophysiology. *Journal of Food Protection*. 67: 1792-1805.
166. Marin, S. – Ramos, A. J. – Cano-Sancho, G. – Sanchis, V.: 2013. Mycotoxins: Occurrence, toxicology, and exposure assessment. *Food and Chemical Toxicology*. 60: 218–237.
167. Marín, S. – Sanchis, V. – Vinas, I. – Canela, R. – Magan, N.: 1995. Effect of water activity and temperature on growth and fumonisin B1 and B2 production by *Fusarium proliferatum* and *F. moniliforme* in grain. *Letters in Applied Microbiology*. 21: 298301.
168. Marton L. Cs. – Hadi G. – Pintér J. – Hegyi Zs. – Nagy E. – Spitzkó T. – Szőke Cs.: 2008. Kukorica: a jövő növénye. Sokhasznú kukoricahibridek. *MTA Mezőgazdasági Kutató intézetének és Kísérleti Gazdaságának Közleményei*. 1: 3–6.
169. Mathew, R. – Singh, K.K. – Paul, B.: 2003. *Pythium campanulatum* sp. nov., isolated from the rhizosphere of maize, its taxonomy, ITS region of rDNA, and comparison with related species. *FEMS Microbiology Letters*. 226: 9-14.
170. McCalla, T. M. – Army, T. J.: 1961. Stubble mulch farming. *Advances in Agronomy*. 13: 125-196.

171. McCormick, S. P. – Stanley, A. M. – Stover, N. A. – Alexander, N. J.: 2011. Trichothecenes: from simple to complex mycotoxins. *Toxins*. 3: 802-814.
172. McKeen, W. E.: 1951. A corn root- and stalk-rot complex hitherto known as *Giberella zae* stalk rot. *Phytopathology*. 41: 26-28.
173. Meissle, M. – Mouron, P. – Musa, T. – Bigler, F. – Pons, X. – Vasileiadis, V. P. – Otto, S. – Antichi, D. – Kiss, J. – Palinkas, Z. – Dorner, Z. – Van der Weide, R. – Groten, J. – Czembor, E. – Adamczyk, J. – Thibord, J. B. – Melander, B. – Cordsen Nielsen, G. – Poulsen, R. T. – Zimmermann, O. – Verschwele, A. – Oldenburg, E.: 2010. Pests, pesticide use and alternative options in European maize production: current status and future prospects. *Journal of Applied Entomology*. 134: 357-375.
174. Menyhért, Z.: 1985. Kukoricatermesztés kézikönyve. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
175. Mesterházy A. – Lemmens M. – Reid L. M.: 2012. Breeding for resistance to ear rot caused by *Fusarium* spp. in maize (a review). *Plant Breeding*. 131: 1-19.
176. Mesterházy Á.: 1997. A szántóföldi növények mikrobiális patogén szennyeződésének csökkentése, humán egészségügyi minőségének javítása. *AGRO 21 füzetek*. 14: 91-130.
177. Mesterházy, Á. – Oláh, J. – Popp, J.: 2020a. Losses in the grain supply chain: Causes and solutions. *Sustainability*. 12: 2342.
178. Mesterházy, Á. – Szieberth, D. – Szabó, B. – Berényi, A. – Tóth, B.: 2022. Mycotoxin contamination of maize (*Zea mays* L.) samples in Hungary, 2012–2017. *Cereal Research Communications*. 50: 1065-1073.
179. Mesterházy, A. – Toldine Toth, E. – Szel, S. – Varga, M. – Toth, B.: 2020b. Resistance of maize hybrids to *Fusarium graminearum*, *F. culmorum*, and *F. verticillioides* ear rots with toothpick and silk channel inoculation, as well as their toxin production. *Agronomy*, 10: 1283.
180. Mesterházy, Á. – Vojtovics, M.: 1977. kukorica *Fusarium* spp. okozta fertőzöttségének vizsgálata 1972-1975 ben. *Növénytermelés*. 26: 367—378.
181. Mesterházy, A.: 1979. Stalk splitting as a method for evaluating stalk rot of corn. *Plant Disease Reporter*. 63: 227–231.
182. Mesterházy, A.: 1988. Expression of resistance of wheat to *Fusarium graminearum* and *F. culmorum* under various experimental conditions. *Journal of Phytopathology*. 123: 304-310.

183. Miller S. S. – Reid L.M., Harris L. J.: 2007. Colonization of maize silks by *Fusarium graminearum*, the causative organism of gibberella ear rot. *Canadian Journal of Botany-Revue*. 85: 369-376.
184. Mills, J. T.: 1989. Ecology of mycotoxigenic *Fusarium* species on cereal seeds, *Journal of Food Protection*. 52: 737-742.
185. Missmer, S. A. – Suarez, L. – Felkner, M. – Wang, E. – Merrill Jr, A. H. – Rothman, K. J. – Hendricks, K. A.: 2006. Exposure to fumonisins and the occurrence of neural tube defects along the Texas–Mexico border. *Environmental Health Perspectives*. 114: 237-241.
186. Moody, J. E. – Shear, G. M. – Jones, J. N.: 1961. Growing corn without tillage. *Soil Science Society of America Proceedings*. 25: 516-517.
187. Morris, N. L. – Miller, P. C. H. – Orson, J. H. – Froud-Williams, R. J.: 2010. The adoption of non-inversion tillage systems in the United Kingdom and the agronomic impact on soil, crops and the environment—A review. *Soil and Tillage Research*. 108: 1-15.
188. Moss, M. – Thrane, H.: 2004. *Fusarium* taxonomy with relations to trichothecene formation. *Toxicology Letters*. 153: 23–28.
189. Moss, M. O.: 1984. Conditions and factors influencing mycotoxin formation in the field and during the storage of food. *Chemistry and Industry*. 15: 533–536.
190. Mulla, D. – Khosla, R.: 2016. Historical evolution and recent advances in precision farming. Soil-specific farming precision agriculture. Lal, R., Stewart, B.A., Editors.; CRS Press: Boca Raton. 1–35.
191. Munkvold, G. P. – Arias, S. – Taschl, I. – Gruber-Dorninger, C.: 2019. Mycotoxins in corn: Occurrence, impacts, and management. In *Corn* (pp. 235-287). *AACC International Press*. Oxford. 235–287.
192. Munkvold, G. P. – McGee, D. C. – Carlton, W. M.: 1997. Importance of different pathways for maize kernel infection by *Fusarium moniliforme*. *Phytopathology*. 87: 209-217.
193. Munkvold, G. P.: 2003. Epidemiology of *Fusarium* diseases and their mycotoxins in maize ears. *European Journal of Plant Pathology*. 109: 705-713.
194. Munkvold, G. P.: 2017. *Fusarium* species and their associated mycotoxins. *Mycotoxigenic fungi: methods and protocols*. 51-106.

195. *Murillo-Williams, A. – Munkvold, G. P.: 2008. Systemic infection by *Fusarium verticillioides* in maize plants grown under three temperature regimes. *Plant disease*. 92: 1695-1700.*
196. *Musgrave, R. B. – Zwerman, P. J. – Aldrich, S. R.: 1955. Plow planting of corn. *Agricultural Engineering*. 36: 593-594.*
197. *Musser, S.M. – Plattner, R.D.: 1997: Fumonisin composition in cultures of *Fusarium moniliforme*, *Fusarium proliferatum*, and *Fusarium nygami*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 45: 1169-1173.*
198. *Nagy J.: 2007. Kukoricatermesztés. Akadémiai Kiadó. Budapest. 393.*
199. *Nagy, J. – Megyes, A.: 2009. A kukoricatermesztés kritikus agrotechnikai elemei. *Agrofórum Extra*, 20: 36-40.*
200. *Nagy, J.: 1995. A talajművelés, a műtrágyázás, a növényszám és az öntözés hatásának értékelése a kukorica (*Zea mays* L.) termésére. *Növénytermelés*. 44: 251-260.*
201. *Nagy, J.: 1996. A műtrágyázás és a talajművelés kölcsönhatása a kukoricatermesztésben. *Növénytermelés*. 45: 297-305.*
202. *Nagyváthy, J.: 1821. Magyar Practicus termesztő. Trattner J. Nyomda. Budapest. 11-295. Állami Könyvterjesztő Vállalat reprint sorozata, Budapest, 1984.*
203. *National Center for Biotechnology Information: 2024a. PubChem Compound Summary for CID 2733487, Fumonisin B1. Retrieved November 29, 2024 from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Macrofusine>.*
204. *National Center for Biotechnology Information: 2024b. PubChem Compound Summary for CID 2733489, Fumonisin B2. Retrieved November 29, 2024 from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Fumonisin-B2>.*
205. *National Center for Biotechnology Information: 2024c. PubChem Compound Summary for CID 42608358. Retrieved November 29, 2024 from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/42608358>.*
206. *National Center for Biotechnology Information: 2024d. PubChem Compound Summary for CID 42608359, Fumonisin B4. Retrieved November 29, 2024 from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Fumonisin-B4>.*
207. *National Center for Biotechnology Information: 2024e. PubChem Compound Summary for CID 5281576, Zearalenone. Retrieved November 29, 2024 from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Zearalenone>.*

208. National Center for Biotechnology Information: 2024f. PubChem Compound Summary for CID 40024, Deoxynivalenol. Retrieved November 29, 2024 from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Deoxynivalenol>.
209. Nedelnik, J. – Linduskova, H. – Kmoch, M.: 2012. Influence of growing Bt maize on *Fusarium* infection and mycotoxins content— a review. *Plant Protection Science*. 48: S18–S24.
210. Neemann, W.: 1991. Bestimmung des Bodenerodierbarkeitsfaktors für winderosionsgefährdete Böden Norddeutschlands.-ein Beitrag zur Quantifizierung der Bodenverluste. *Geologisches Jahrbuch. Reihe F, Bodenkunde*. 25: 1-131.
211. Nelson, P. E. – Toussoun, T. A. – Marasas, W. F. O.: 1983. *Fusarium* Species: An Illustrated Manual for Identification University Park, Pennsylvania state University Press.
212. Neme, K. – Mohammed, A.: 2017. Mycotoxin occurrence in grains and the role of postharvest management as a mitigation strategies. A review. *Food Control*. 78: 412-425.
213. Nirenberg H. I. – O'Donnell K.: 1998. New *Fusarium* species and combinations within the *Gibberella fujikuroi* species complex. *Mycologia*. 90: 434–58
214. Nyiri, L.: 1993. A talaj szerkezete és befolyásolásának lehetőségei. Nyiri L.(szerk.): Földműveléstan. Mezőgazda Kiadó. Budapest. 66-69.
215. O'Donnell, K. – Humber, R. A. – Geiser, D. M. – Kang, S. – Park, B. – Robert, V. A. R. G. – Crous, P. W. – Johnston, P. R. – Aoki, T. – Rooney, A. P. – Rehner, S. A.: 2012. Phylogenetic diversity of insecticolous fusaria inferred from multilocus DNA sequence data and their molecular identification via FUSARIUM-ID and Fusarium MLST. *Mycologia*. 104: 427–445.
216. O'Donnell, K. – Kistler, H. C. – Tacke, B. K. – Casper, H. H.: 2000. Gene genealogies reveal global phylogeographic structure and reproductive isolation among lineages of *Fusarium graminearum*, the fungus causing wheat scab. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 97: 7905–7910.
217. O'Donnell, K. – Sutton, D. A. – Rinaldi M. G. – Gueidan, C. – Crous, P. W. – Geiser, D. M.: 2009. Novel multilocus sequence typing scheme reveals high genetic diversity of human pathogenic members of the *Fusarium incarnatum-equiseti* and *F. chlamydosporum* species complexes within the United States. *Journal of Clinical Microbiology*. 47: 3851–3861.

218. O'Donnell, K. – Sutton, D. A. – Rinaldi, M. G. – Sarver, B. A. J. – Balajee, S. A. – Schroers, H. J. – Summerbell, R. C. – Geiser, D. M.: 2010. Internet-accessible DNA sequence database for identifying fusaria from human and animal infections. *Journal of Clinical Microbiology*. 48: 3708–3718.
219. O'Donnell, K. – McCormick, S. P. – Busman, M. – Proctor, R. H. – Ward, T. J. – Doehring, G. – Geiser, D. M. – Alberts, J. F. – Rheeder, J. P.: 2018. Marasas et al. 1984 “Toxigenic *Fusarium* Species: Identity and Mycotoxicology” revisited. *Mycologia*. 110: 1058–1080.
220. Ocwa, A. – Mohammed, S. – Mousavi, S. M. N. – Illés, Á. – Bojtor, C. – Ragán, P. – Rátónyi, T. – Harsányi, E.: 2024. Maize grain yield and quality improvement through biostimulant application: a systematic review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 1: 1–41.
221. Oldenburg, E. – Ellner, F.: 2015. Distribution of disease symptoms and mycotoxins in maize ears infected by *Fusarium culmorum* and *Fusarium graminearum*. *Mycotoxin Research*. 31: 117-126.
222. Oldenburg, E. – Höppner, F. – Ellner, F. – Weinert, J.: 2017. *Fusarium* diseases of maize associated with mycotoxin contamination of agricultural products intended to be used for food and feed. *Mycotoxin Research*. 33: 167–182.
223. Omar, H. E. M.: 2013. Mycotoxins-induced oxidative stress and disease. Mycotoxin and food safety in developing countries. Rijeka, *InTech*. 63-92.
224. Palacio, A. – Bettuci, L. – Pan, D.: 2016. *Fusarium* and *Aspergillus* mycotoxins contaminants wheat silage for dairy cattle feeding in Uruguay. *Brazilian Journal of Microbiology*. 47: 1000-1005.
225. Pammel, L. H. – King, C.M. – Seal, J. L.: 1915. Corn stalk and corn root diseases in Iowa (No. 21). Agricultural Experiment Station, Iowa State College of Agriculture and Mechanic Arts.
226. Papavizas, G. C.: 1967. Evaluation of various media and anti-microbial agents for isolation of *Fusarium* from soil. *Phytopathology*. 57: 848-852.
227. Park, J.W. – Scott, P. M. – Lau, B.P.Y.: 2013: Analysis of N-fatty acyl fumonisins in alkali-processed corn foods. *Food Science and Biotechnology*. 22: 147-152.
228. 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. H. – 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. *Frontiers in Microbiology*. 7: 406-415.
229. Patriarca, A. – Pinto, V. F.: 2017. Prevalence of mycotoxins in foods and decontamination. *Current Opinion in Food Science*. 14: 50-60.
230. Pekrun, C. – Claupein, W.: 2004. The effect of stubble tillage and primary tillage on population dynamics of Canada thistle (*Cirsium arvense*) in organic farming. *Journal of Plant Diseases and Protection, Special Issue*. 19: 483-490.
231. Pendleton, J. W. – Koehler, B. – Lang, A. L. – Johnson, P. E. – Bigger J. H.: 1954. 1953 Illinois corn tests. Bulletin. *Illinois Agricultural Experiment Station*. 571.
232. Percze, A. – Farkas, I. – Stingli, A. – Ujj, A.: 2008. Az integrált gyomszabályozás és a talajvédelem lehetőségei a környezetkímélő növénytermesztésben= Possibilities of the integrated weed management and soil conservation tillage in the environmentally sound crop production. OTKA Kutatási Jelentések. *OTKA Research Reports*.
233. Percze, A.: 2002. Az őszi búza gyomviszonyainak vizsgálata talajművelési tartamkísérletben, gödöllői barna erdőtalajon. *Növénytermelés*. 51: 97-113.
234. Perez-Ruiz, M. – Slaughter, D. C. – Gliever, C. – Upadhyaya, S. K.: 2012. Tractor-based Real-time Kinematic-Global Positioning System (RTK-GPS) guidance system for geospatial mapping of row crop transplant. *Biosystems Engineering*. 111: 64-71.
235. Perkowski, J. – Stachowiak, J. – Kiecana, I. – Golinski, P. – Chelkowski, J.: 1997. Natural occurrence of *Fusarium* mycotoxins in Polish cereals. *Cereal Research Communications*. 25.: 379-380.
236. Peters, J. C. – Lees, A. K. – Cullen, D. W. – Sullivan, L. – Stroud, G. P. – Cunnington, A. C.: 2008. Characterization of *Fusarium* spp. responsible for causing dry rot of potato in Great Britain. *Plant Pathology*. 57: 262-271.
237. Petersen, K. L. – Mack, H. J. – Booster, D. E.: 1986. Effect of tillage on sweet corn development and yield. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 111: 39-42.
238. Pfordt, A. – Ramos Romero, L. – Schiwiek, 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: 236-252.
239. Pierre, W. H. – Dumenil, L. – Jolley, V. D. – Webb, J. R. – Shrader, W. D.: 1977. Relationship of corn yield, expressed as a percentage of maximum N and the percentage in the grain: I. various N-rate experiments. *Agronomy Journal*. 69: 215–220.
240. Pierzgaliski, A. – Bryła, M. – Kanabus, J. – Modrzewska, M. – Podolska, G.: 2021. Updated review of the toxicity of selected *Fusarium* toxins and their modified forms. *Toxins*, 13: 768-797.
241. Prończuk, M. – Prończuk, S. – Messyasz, M.: 1991. Pathogenicity of *Fusarium* spp. contributing to the stalk rot of maize in Poland. *Mycotoxin Research*. 7: 97-101.
242. Pronk, M. E. J. – Schothorst, R. C. – Van Egmond, H. P.: 2002. Toxicology and occurrence of nivalenol, fusarenon X, diacetoxyscirpenol, neosolaniol and 3-and 15-acetyldeoxynivalenol; a review of six trichothecenes. National Institute of Public Health and the Environment (RIVM). Bilthoven. 75.
243. Rafai P.: 1999. A fuzariotoxinok hatása a sertés termelésére és egészségére. *Állattenyésztés és Takarmányozás*. 48: 253- 264.
244. Rátonyi T. – Huzsvai L. – Nagy J. – Megyes A.: 2005. Evaluation of soil tillage systems in maize production. *Acta Agronomica Hungarica*. 53: 53-57.
245. Rátonyi, T.: 2007. Hagyományos és a talajkímélő termesztéstechnológiai rendszerek talaj fizikai állapotára gyakorolt hatásának értékelése = Effects of conventional and conservation tillage systems on soil physical status. OTKA Kutatási Jelentések| OTKA Research Reports.
246. Reid, L. M. – Nicol, R. W. – Ouellet, T. – Savard, M. – Miller, J. D. – Young, J. C. – Stewart, D. W. – Schaafsma, A. W.: 1999. Interaction of *Fusarium graminearum* and *F. moniliforme* in maize ears: disease progress, fungal biomass, and mycotoxin accumulation. *Phytopathology*. 89: 1028–1037
247. Reverberi, M. – Ricelli, A. – Zjalic, S. – Fabbri, A. A. – Fanelli, C.: 2010. Natural functions of mycotoxins and control of their biosynthesis in fungi. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 87: 899–911.
248. Rheeder, J. P. – Marasas, W. F. O. – Vismer, H.F.: 2002. Production of fumonisin analogs by *Fusarium* species. *Applied and Environmental Microbiology*. 68: 2101–2105.

249. Rice, L. G. – Ross, P. F.: 1994. Methods for detection and quantitation of fumonisins in corn, cereal products and animal excreta. *Journal of Food Protection*. 57: 536-540.
250. Robert, P. C.: 1982. Evaluation of some remote sensing techniques for soil and crop management. Ph.D. Dissertation. University of Minnesota.
251. Robertson-Hoyt L. A. – Kleinschmidt C. E. – White D. G. – Payne G. A. – Maragos C. M. – Holland J. B.: 2007. Relationships of resistance to *Fusarium* ear rot and fumonisin contamination with agronomic performance of maize. *Crop science*. 47: 1770-1778.
252. Samapundo, S. – Devlieghere, F. – De Meulenaer, B. – Geeraerd, A. H. – Van Impe, J. F. – Debevere, J. M.: 2005. Predictive modelling of the individual and combined effect of water activity and temperature on the radial growth of *Fusarium verticillioides* and *F. proliferatum* on corn. *International Journal of Food Microbiology*. 105: 35-52.
253. Samuels G. J. – Nirenberg, H. I. – Seifert, K. A.: 2001. Perithecial species of *Fusarium*. 1– 14. p. In: Summerell B. A. et al. (Editors.): *Fusarium* – Paul E. Nelson Memorial Symposium. APS Press. St. Paul. 392.
254. 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 Research*. 50: D20-D26.
255. Scauflaire, J. – Mahieu, O. – Louvieux, J. – Foucart, G. – Renard, F. – Munaut, F.: 2011. Biodiversity of *Fusarium* species in ears and stalks of maize plants in Belgium. *European Journal of Plant Pathology*. 131: 59–66.
256. Schaafsma, A. W. – Hooker, D. C.: 2007. Climatic models to predict occurrence of *Fusarium* toxins in wheat and maize. *International Journal of Food Microbiology*. 119: 116-125.
257. Schertz, D. L.: 1988. Conservation tillage: An analysis of acreage projections in the United States. *Journal of Soil and Water Conservation*. 43: 256-258.
258. Schöneberg, T. – Musa, T. – Forrer, H. R. – Mascher, F. – Bucheli, T. B. – Bertossa, M. – Keller, B. – Vogelgsang, S.: 2018. Infection conditions of *Fusarium*

- graminearum* in barley are variety specific and different from those in wheat. *European Journal of Plant Pathology*. 151: 975–989.
259. Shabeer, S. – Tahari, R. – Jamal, A.: 2021. *Fusarium* spp. Mycotoxin production, diseases and their management: An overview. *Pakistan Journal of Agricultural Research*. 34: 278–293.
260. Simay E. I.: 1992. Magvizsgálatok eredményei. XXII. - Kukorica penészes magvain megfigyelt gombák. *Növényvédelem*. 28: 285-289.
261. Slaughter, D. C. – Giles, D. K. – Downey, D.: 2008. Autonomous robotic weed control systems: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*. 61: 63-78.
262. Smit, B. – Blain, R. – Keddie, P.: 1997. Corn hybrid selection and climatic variability: gambling with nature?. *Canadian Geographer/Le Géographe canadien*, 41: 429-438.
263. Smith G. W.: 2007. Fumonisin. Chapter 78. *Veterinary Toxicology*.
264. Snyder, W. C. – Hansen, H. N.: 1940. The species concept in *Fusarium*. *American Journal of Botany*. 27: 64-67.
265. Snyder, W. C. – Hansen, H. N.: 1941. The species concept in *Fusarium* with reference to section *Martiella*. *American Journal of Botany*. 28: 738-742.
266. Snyder, W. C. – Hansen, H. N.: 1945. The species concept in *Fusarium* with reference to *Discolor* and other sections. *American Journal of Botany*. 32: 657-666.
267. SoCo Project Team: 2009. Addressing soil degradation in EU agriculture: relevant processes, practices and policies. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg. Available at: http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/esdb_archive/eusoils_docs/other/EUR23767.pdf; [Accessed 27 November 2024].
268. Sohár, P.: 2007. Mikotoxinok az élelmiszerláncban. *Élelmiszervizsgálati Közlemények. Különszám*. 53: 60-68.
269. Sojnóczki, I. – Nagy, J.: 2023. The effects of precision maize (*Zea mays* L.) sowing systems adapted to tillage systems on the emergence dynamics of maize. *Növénytermelés*. 72: 85-106.
270. Sørensen, J. L. – Phipps, R. K. – Nielsen, K. F. – Schroers, H. J. – Frank, J. – Thrane, U.: 2009. Analysis of *Fusarium avenaceum* metabolites produced during wet apple core rot. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 57: 1632-1639.

271. Stankovic, S. – Levic, J. – Petrovic, T. – Logrieco, A. – Moretti, A.: 2007. Pathogenicity and mycotoxin production by *Fusarium proliferatum* isolated from onion and garlic in Serbia. *European Journal of Plant Pathology*. 118: 165-172.
272. Stockmann-Juvala, H. – Savolainen, K.: 2008. A review of the toxic effects and mechanisms of action of fumonisin B1. *Human & Experimental Toxicology*. 27: 799-809.
273. Streit, E. – Schwab, C. – Sulyok, M. – Naehrer, K. – Krska, R. – Schatzmayr, G.: 2013. Multi-mycotoxin screening reveals the occurrence of 139 different secondary metabolites in feed and feed ingredients. *Toxins*. 5: 504-523.
274. Summerell, B. A. – Leslie J. F.: 2011. Fifty years of *Fusarium*: how could nine species have ever been enough? *Fungal Divers*. 50: 135–44.
275. Summerell, B. A. – Laurence, M. H. – Liew, E. C. – Leslie, J. F.: 2010. Biogeography and phylogeography of *Fusarium*: a review. *Fungal Diversity*. 44: 3-13.
276. Summerell, B. A.: 2019. Resolving *Fusarium*: Current Status of the Genus. *Annual Review of Phytopathology*. 57: 323–339.
277. Sun, G. – Wang, S. – Hu, X. – Su, J. – Huang, T. – Yu, J. – Tang, L. – Gao, W. – Wang, J.: 2007. Fumonisin B1 contamination of home-grown corn in high-risk areas for esophageal and liver cancer in China. *Food Additives and Contaminants*. 24: 181–185.
278. Sun, H. – Slaughter, D. C. – Ruiz, M. P. – Gliever, C. – Upadhyaya, S. K. – Smith, R. F.: 2010. RTK GPS mapping of transplanted row crops. *Computers and Electronics in Agriculture*. 71: 32-37.
279. Suzuki, T. – Munakata, Y. – Morita, K. – Shinoda, T. – Ueda, H.: 2007. Sensitive detection of estrogenic mycotoxin zearalenone by open sandwich immunoassay. *Analytical Sciences*. 23: 65–70.
280. Szécsi, Á. – Bartók, T. – Tóth, B.: 2013. Fumonizín-termelő fuzáriumfajok meghatározása PCR-eljárással és új fumonizín származékok azonosítása = Identification of fumonisin producing *Fusarium* species by PCR assay, and detection of new fumonisin analogons. OTKA Kutatási Jelentések| OTKA Research Reports.
281. Szécsi, Á.: 1975. Sejtfalbontó enzimek szerepe a kukorica *Fusarium* okozta szárkorhadásában. (Role of cell-wall degrading enzymes in *Fusarium* stalk rot of corn.) *A Növényvédelmi Kutató Intézet Évkönyve*. 13: 227–241.

282. Szécsi, A.: 1994. Occurrence of *Fusarium* species in the section Liseola isolated from Hungarian maize samples in 1991 and 1992. *Növényvédelem*. 30: 313-318.
283. Széles, A. – Nagy, J.: 2013. A hazai kukorica minősége. Debreceni Szemle Tudomány és Kultúra. *Debrecen és a régió tudományos műhelyeinek folyóirata*. 12: 204–210.
284. Szigeti, G.: 1997. Az állategészségügyi jelentőségű gombák (Az állatorvosi mikológia alapjai). *Europharma*. Budapest. 96.
285. Szőke, C. – Hegyi, Z. – Pintér, J. – Marton, L. C. – Szécsi, Á.: 2006. Correlation between stalk rot caused by maize *Fusarium* and the level of cellulase activity. *XXth International Conference of the Eucarpia Maize and Sorghum Section*, 20–24 June 2006, Budapest.
286. Szőke, Cs.: 2011. Kukorica genotípusok fuzáriumos szárkorhadása és a szár szöveti szerkezete közötti összefüggés-vizsgálatok és hatásuk a szárszilárdságra. Doktori (PhD) értekezés.
287. Tahat, M. M. – Aldakil, H. A. – Alananbeh, K. M. – Salem, N. M.: 2023. First report of *Fusarium verticillioides* causing *Fusarium* ear rot of corn in Jordan. *Plant Disease*. 107: 1632.
288. Theumer, M. G. – Lopez, A. G. – Masih, D. T. – Chulze, S. N. – Rubinstein, H. R.: 2002. Immunobiological effects of fumonisin B1 in experimental subchronic mycotoxicoses in rats. *Clinical and Vaccine Immunology*. 9: 149-155.
289. Thiel, P. G. – Shephard, G. S. – Sydenham, E. W. – Marasas, W. F. O. – Nelson, P. E. – Wilson, T. M.: 1991. Levels of fumonisin B1 and B2 in feeds associated with confirmed cases of equine leukoencephalomalacia. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 39: 109–111.
290. Tóth E. – Gelybó G. – Dencső M. – Kása I. – Birkás M. – Horel Á.: 2017. Soil CO₂ emissions in a long-term tillage treatment experiment. In: Munoz M. A., Zornoza R. Soil management and climate change. Effects on organic carbon, nitrogen dynamics, and greenhouse gas emissions. Elsevier, *Academic press*. 293–307.
291. Tóth, B. – Török, O. – Kótai, É. – Varga, M. – Toldiné Tóth, É. – Pálfi, X. – Háfra, E. – Varga, J. – Téren, J. – Mesterházy, Á.: 2012. Role of Aspergilli and Penicillia in mycotoxin contamination of maize in Hungary. *Acta Agronomica Hungarica*. 60: 143-149.
292. Ueno, Y.: 1977. „Trichotecenes: Overview address”, 189-228. p., In: Rodricks, J.V., Hesselstine, C.W., Mehlmann, M. A. (Eds.): *Mycotoxins in human and animal*

- health, Proceedings of a Conference on mycotoxins in human and animal health, University of Maryland, Park Forest South: Pathotox Publishers.
293. Uhlig, S. – Jestoi, M. – Parikka, P.: 2007. *Fusarium avenaceum*—The North European situation. *International Journal of Food Microbiology*. 119: 17-24.
294. Unger, P. W. – McCalla, T. M.: 1980. Conservation Tillage Systems. *Advances in Agronomy*. 33: 1–58.
295. Unger, P. W. – Stewart, B. A. – Parr, J. F. – Singh, R. P.: 1991. Crop residue management and tillage methods for conserving soil and water in semi-arid regions. *Soil and Tillage Research*. 20: 219-240.
296. Uteau, D. – Pagenkemper, S. K. – Peth, S. – Horn, R.: 2013. Root and time dependent soil structure formation and its influence on gas transport in the subsoil. *Soil and Tillage Research*. 132: 69-76.
297. Vajdai, I.: 1991. A forgatás nélküli talajművelés hatása a talajnedvesség alakulására. *Növénytermelés*. 40: 67-74.
298. Van der Fels-Klerx, H. J. – van Asselt, E. D. – Madsen, M. S. – Olesen, J. E.: 2013. Impact of climate change effects on contamination of cereal grains with deoxynivalenol. *PloS One*. 8: e73602-e73612
299. van Diepeningen, A. D. – Al-Hatmi, A. M. – 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
300. Van Egmond, H. P. – Schothorst, R. C. – Jonker, M. A.: 2007. Regulations relating to mycotoxins in food. Perspectives in a global and European context. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 389: 147-157.
301. Veres, E. – Borbély, M. – Györi, Z. – Kátai, J.: 2002. A tárolási feltételek hatása a kukorica *Fusarium* fertőzöttségére és toxin szennyezettségére. *Acta Agraria Debreceniensis*. 1: 28-32.
302. Vesonder, R. F. – Ellis, J. J. – Kwolek, W. F. – DeMarini, D. J.: 1982. Production of vomitoxin on corn by *Fusarium graminearum* NRRL 5883 and *Fusarium roseum* NRRL 6101. *Applied and Environmental Microbiology*. 43: 967-970.
303. Vigier, B. – Reid, L. M. – Dwyer, L. M. – Stewart, D. W. – Sinha, R. C. – Arnason, J. T. – Butler, G.: 2001. Maize resistance to gibberella ear rot: symptoms, deoxynivalenol, and yield. *Canadian Journal of Plant Pathology*. 23: 99-105.
304. Villani, A. – Moretti, A. – De Saeger, S. – Han, Z. – Di Mavungu, J. D. – Soares, C. M. G. – Proctor, R. H. – Venâncio, A. – Lima, N. – Stea, G. – Paciolla, C. – Logrieco,

- A. F. – Susca, A.: 2016. A polyphasic approach for characterization of a collection of cereal isolates of the *Fusarium incarnatum-equiseti* species complex. *International Journal of Food Microbiology*. 234: 24–35.
305. Voigt, C.A. – Von Scheidt, B. – Gacser, A. – Kassner, H. – Lieberei, R. – Schäfer, W. – Salomon, S.: 2007. Enhanced mycotoxin production of a lipase-deficient *Fusarium graminearum* mutant correlates to toxin-related gene expression. *European Journal of Plant Pathology*. 117: 1-12.
306. von Rosenberg-Lipinsky, A.: 1873. Der praktische Ackerbau in Bezug auf rationelle Bodenkultur, nebst Vorstudien aus der unorganischen und organischen Chemie, ein Handbuch für Landwirthe und die es werden wollen, bearbeitet von Albert von Rosenberg-Lipinsky: Der praktische Ackerbau (Vol. 2). Ed. Trewendt.
307. Wagacha, J. – Muthomi, J.: 2007. *Fusarium culmorum*: Infection process, mechanisms of mycotoxin production and their role in pathogenesis in wheat. *Crop Protection*. 26: 877-885.
308. Wang, B. – Yu, B. – Yuan, C. – Guo, L. – Liu, P. – Gao, W. – Li, D. – Cui, B. – Abd El-Aty, A. M.: 2021. An overview on plasticized biodegradable corn starch-based films: The physicochemical properties and gelatinization process. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 1–11.
309. Wang, X. – Rottensteiner, F. – Heipke, C.: 2019. Structure from motion for ordered and unordered image sets based on random kd forests and global pose estimation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 147: 19-41.
310. Wells, L. – Hardie, L. – Williams, C. – White, K. – Liu, Y. – De Santis, B. – Debegnach, F. – Moretti, G. – Greetham, S. – Brera, C. – Papageorgiou, M. – Thatcher, N. J. – Rigby, A. – Atkin, S. L. – Sathyapalan, T.: 2017. Deoxynivalenol biomarkers in the urine of UK vegetarians. *Toxins*. 9: 196-204.
311. White, T. J. – Bruns, T. – Le, S. – Taylor, J. W.: 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. Pp. 315-322 In: PCR Protocols: A Guide to Methods and Applications, eds. Innis, M. A., D. H. Gelfand, J. J. Sninsky, and T. J. White. Academic Press, Inc., New York.
312. Wilhelm, W. W. – Wortmann, C. S.: 2004. Tillage and Rotation Interactions for Corn and Soybean Grain Yield as Affected by Precipitation and Air Temperature. *Agronomy Journal*. 96: 425-432.
313. Williams, A. – Kane, D. A. – Ewing, P. M. – Atwood, L. W. – Jilling, A. – Li, M. – Lou, Y. – Davis, A. S. – Grandy, A. S. – Huerd, S. C. – Hunter, M. C. – Koide, R. T.

- Mortensen, D. A. – Smith, R. G. – Snapp, S. S. – Spokas, K. A. – Yannarell, A. C. – Jordan, N. R.: 2016. Soil functional zone management: A vehicle for enhancing production and soil eco-system services in row-crop agroecosystems. *Frontiers in Plant Science*. 7: 65-81.
314. Wollenweber, H. W. – Reinking, O. A.: 1935. Die Fusarien, ihre Beschreibung, Schadwirkung, und Bekämpfung. Paul Parey. Berlin.
315. Xia, L. K. – Cao, Y. Y. – Wang, J., Zhang, J. – Han, S. B. – Li, H. Y. – Duan, C. X.: 2022. First report of *Fusarium culmorum* causing maize stalk rot in China. *Plant Disease*. 106: 1521-1521.
316. Yazar, S. – Omurtag, G. Z.: 2008. Fumonisin, trichothecenes and zearalenone in cereals. *International Journal of Molecular Sciences*. 9: 2062-2090.
317. Yilmaz, N. – Sandoval-Denis, M. – Lombard, L. – Visagie, C. M. – Wingfield, B. D. – Crous, P. W.: 2021. Redefining species limits in the *Fusarium fujikuroi* species complex. *Persoonia-Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi*. 46: 129-162.
318. Yli-Mattila, T. – Paavanen-Huhtala, S. – Parikka, P. A. – Jestoi, M. – Klemsdal, S. – Rizzo, A. A.: 2006. Genetic variation, real-time PCR, metabolites and mycotoxins of *Fusarium avenaceum* and related species. *Mycotoxin Research*. 22: 79-86.
319. Yu, C. J. – Saravanakumar, K. – Xia, H. – Gao, J. X. – Fu, K.H. – Sun, J.N. – Dou, K. – Chen, J.: 2017. Occurrence and virulence of *Fusarium* spp. associated with stalk rot of maize in North-East China. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 98: 1-8.
320. Zhang, L. – Jia, X. – Chen, C. – Zhou, M.: 2013. Characterization of carbendazim sensitivity and trichothecene chemotypes of *Fusarium graminearum* in Jiangsu Province of China. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 84: 53-60.
321. Zhou, D. – Wang, X. – Chen, G. – Sun, S. – Yang, Y. – Zhu, Z. – Duan, C.: 2018. The major *Fusarium* species causing maize ear and kernel rot and their toxigenicity in Chongqing, China. *Toxins*. 10: 90-103.
322. Zinedine, A. – Soriano, J. M. – Moltó, J. C. – Manes, J.: 2007. Review on the toxicity, occurrence, metabolism, detoxification, regulations and intake of zearalenone: an oestrogenic mycotoxin. *Food and Chemical Toxicology*. 45: 1-18.
323. Zuber, M.S. – Kang, M.S.: 1978. Corn lodging slowed by sturdier stalks. *Crops Soils*. 30: 13-15.
324. Zuber, M.S.: 1973. Evaluation of progress in selection for stalk quality. *Proc Annu Corn Sor Res Conf of ASTA*. 28: 110-122.

325. *Zsembeli J. – Szűcs L. – Tuba G. – Czibalmos R.*: 2015. Nedvességtakarékos talajművelési rendszer fejlesztése Karcagon. In: Madarász B.: Környezetkímélő talajművelési rendszerek Magyarországon. MTA CSFK FTI, Budapest. 122–133.

11. PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN



**DEBRECENI
EGYETEM**

**DEBRECENI EGYETEM
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR**
H-4002 Debrecen, Egyetem tér 1, Pf.: 400
Tel.: 52/410-443, e-mail: publikaciok@lib.unideb.hu

Nyilvántartási szám: DEENK/430/2025.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Kecskés István
Doktori Iskola: Kerpely Kálmán Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10086927

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (5)

1. **Kecskés, I.**, Csótó, A., Nagy, J.: Kukoricaszárító megbetegedés mértékének meghatározása eltérő talajművelési rendszerekben.
Növénytermelés. Közlésre elfogadva, [1-14], 2025. ISSN: 0546-8191.
2. **Kecskés, I.**, Nagy, L.: Régi kórokozó, új kihívások: az őszi káposztarepce liszttharmatának fellendülése.
Agroforum. 35 (8), 12-13, 2024. ISSN: 1788-5884.
3. **Kecskés, I.**: Termesztés- és tárolástechnológiai lehetőségek a kukorica mikotoxin-szennyeződésének megelőzésére.
Értéktálló aranykorona. 24 (4), 16-20, 2024. ISSN: 1586-9652.
4. Sojnóczki, I., Nagy, J., **Kecskés, I.**: A kukorica (*Zea mays* L.) kelési dinamikának a termésre gyakorolt hatása.
Növénytermelés. 72 (4), 97-112, 2023. ISSN: 0546-8191.
5. **Kecskés, I.**, Nagy, A., Sojnóczki, I., Nagy, J.: Különböző talajművelési rendszerek hatása eltérő genotípusú kukorica (*Zea mays* L.) hibridek termésparamétereire, fehérje-, szénhidrát- és olajtartalmára.
Növénytermelés. 72 (2), 37-57, 2023. ISSN: 0546-8191.

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

6. **Kecskés, I.**, Pál, K., Pápai, A., Bartók, T., Horváth, L., Csótó, A.: Effects of cultivation practices and hybrid selection on endofusariosis and mycotoxin contamination in maize.
Agrártud. közl. 1, 69-78, 2025. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagrar/1/15272>





Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (1)

7. **Kecskés, I.**, Bojtor, C., Illés, Á., Horváth, L., Hadászi, L., Sojnóczki, I., Nagy, J., Csótó, A., Bartók, T.: Assessment of the biological efficacy of chemical defense to prevent quality and yield loss due to Fusarium.
J. Cent. Eur. Agric. 25 (4), 1054-1064, 2024. EISSN: 1332-9049.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5513/JCEA01/25.4.4464>
IF: 0.7

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (5)

8. **Kecskés, I.**, Nagy, L., Csótó, A., Horváth, L., Bartók, T., Petrás, G., Sojnóczki, I., Hadászi, L., Nagy, J.: A növényállományba helyezett agrometeorológiai szenzorok alapján támogatott kalászfuzáriózis elleni védekezés hatékonyságának értékelése.
In: Növény és környezet - A debreceni tartamkísérletek 40 éve - Szántóföldi tartamkísérletek eredményeinek hasznosítása a gyakorlatban, üzemmérettől függetlenül. Szerk.: Kakuszi-Széles Adrienn, Debreceni Egyetem, MÉK, Fölhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet, Debrecen, 31, 2023. ISBN: 9789634905400
9. Hadászi, L., Kiss, U. K., Nagy, L., **Kecskés, I.**, Veres, S.: A szemes cirok, mint potenciális gyomnövény.
In: Növény és környezet - A debreceni tartamkísérletek 40 éve - Szántóföldi tartamkísérletek eredményeinek hasznosítása a gyakorlatban, üzemmérettől függetlenül. Szerk.: Kakuszi-Széles Adrienn, Debreceni Egyetem, MÉK, Fölhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet, Debrecen, 21, 2023. ISBN: 9789634905400
10. **Kecskés, I.**, Nagy, J., Kiss, U. K., Sojnóczki, I., Csótó, A.: Innovatív technológiák alkalmazhatósága precíziós szántóföldi növényvédelmi kísérletekben.
In: 28. Tiszántúli Növényvédelmi Fórum/10th International Plant Protection Symposium at University of Debrecen: Program - Programme. Szerk.: Tarcali Gábor, Biró Györgyi, Csüllög Kitti, Növényvédelem Oktatásának Fejlesztéséért Alapítvány (NOFA), Debrecen, 118-119, 2023.
11. Sojnóczki, I., **Kecskés, I.**, Hadászi, L., Nagy, J.: Precíziós kukorica vetéstechnológia legújabb megoldásainak hatása a növényállományra és a termésre.
In: Növény és környezet - A debreceni tartamkísérletek 40 éve - Szántóföldi tartamkísérletek eredményeinek hasznosítása a gyakorlatban, üzemmérettől függetlenül. Szerk.: Kakuszi-Széles Adrienn, Debreceni Egyetem, MÉK, Fölhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet, Debrecen, 56, 2023. ISBN: 9789634905400
12. **Kecskés, I.**, Csótó, A.: Kukorica szártó megbetegedés mértékének meghatározása különböző módszerekkel, eltérő talajművelési rendszerek esetében.
In: 27. Tiszántúli Növényvédelmi Fórum : Program és Összefoglalók. Szerk.: Kóvics György, Tarcali Gábor, Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Debrecen, 69-70, 2022.





További közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

13. Sojnóczki, I., Nagy, J., **Kecskés, I.**: Impact of tillage systems on maize emergence.
Agrártud. Közl. 2023 (2), 129-136, 2023. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagrar/2/13223>

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (1)

14. Sojnóczki, I., Nagy, J., Illés, Á., **Kecskés, I.**, Bojtor, C.: Comparative Analysis of Drought Effects on the Soil Moisture Level and Penetration Resistance in Conventional and Non-Conventional Tillage Systems in Maize Production.
Agriculture-Basel. 14 (7), 1-16, 2024. EISSN: 2077-0472.
DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture14071000>
IF: 3.6

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (2)

15. **Kecskés, I.**: A táblaméret és a szegélyző vegetáció szerepe a gabonatóblákat környező fauna alakulásában.
In: Kari interdiszciplináris tudományos konferencia. Szerk.: Gyüre Péter, DE Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Debrecen, 38, 2014.
16. **Kecskés, I.**: Fogoly és fácán élőhely fejlesztése és állománydinamikája Tokaj hegyalján.
In: Tudományos diákköri konferencia, 2011/2012. tanév őszi félév : Debrecen, 2011. október 20. : meghívó és programfüzet, DE MÉKK, [Debrecen], 29, 2011.

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 4,3

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre):
0,7**

A DEENK a Jelölt által a Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudományometriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

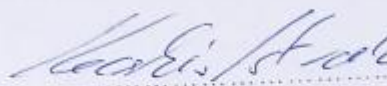
Debrecen, 2025.06.27.



NYILATKOZAT

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Kerpely Kálmán Növénytermesztési és Kertészeti Tudományok Doktori Iskola keretében készítettem, a Debreceni Egyetem doktori (Ph.D.) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 2025.09.19.

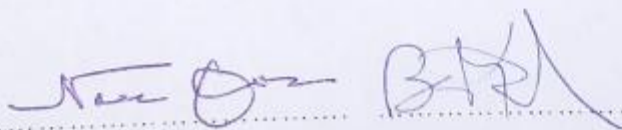


a jelölt aláírása

NYILATKOZAT

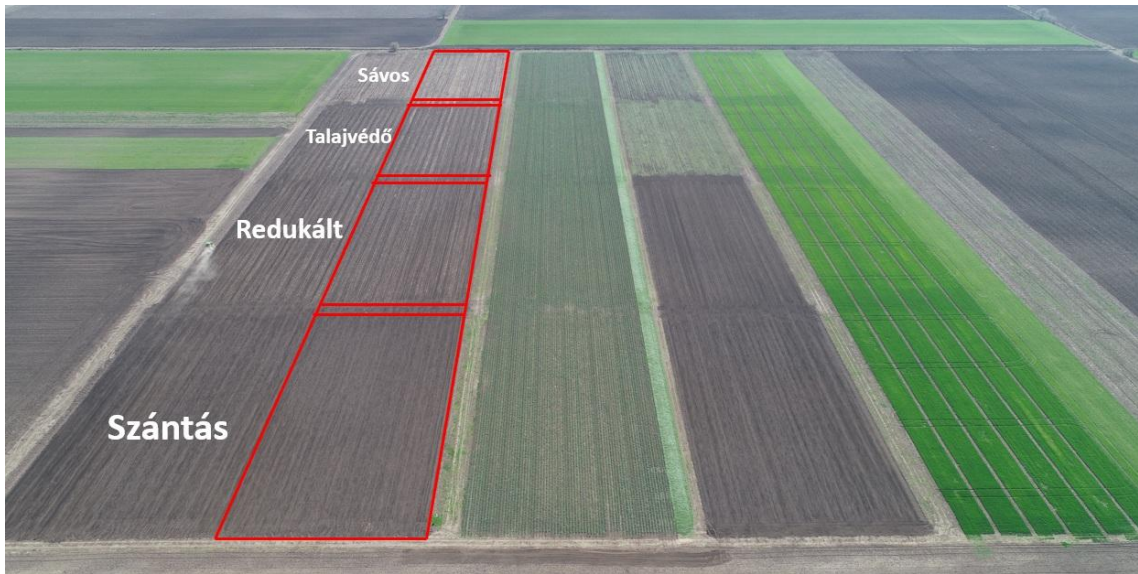
Tanúsítom, hogy Kecskés István doktorjelölt 2020. február 1. - 2024 január 31. között a fent megnevezett Doktori Iskola keretében irányításunkkal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotótevékenységével meghatározóan hozzájárult, az értekezés a jelölt önálló munkája. Az értekezés elfogadását javasoljuk.

Debrecen, 2025.09.19.



a témavezetők aláírása

Függelék



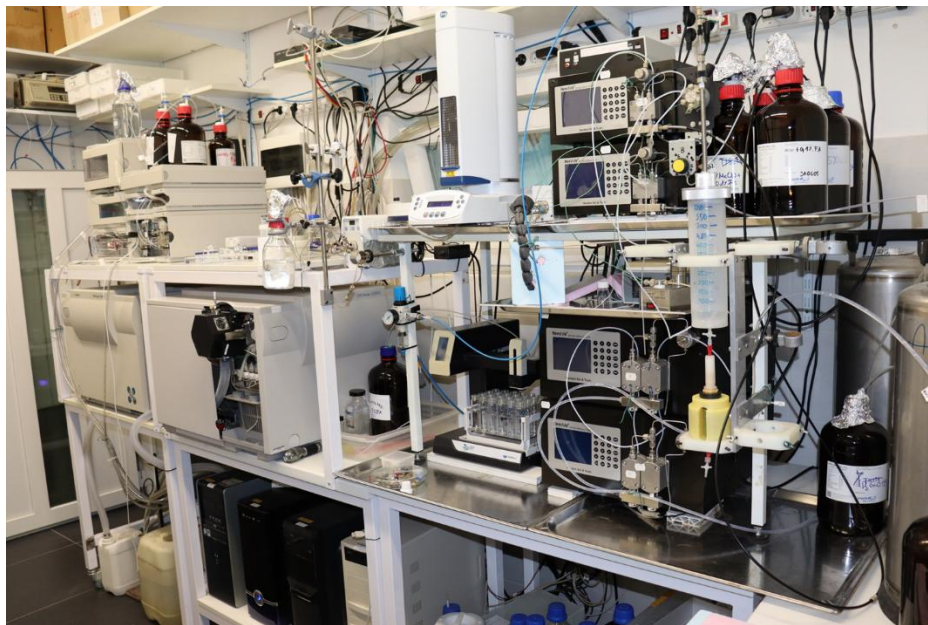
1. ábra: A KITE Zrt. nádudvari Multifaktoriális Agrotechnológiai Kísérleti Telepe (Nádudvar, 2020)



2. kép: Kelésdinamikai vizsgálat a szántásos (balra) és a sávós (jobbra) művelésmódban (Nádudvar, 2020)



3. ábra: A kukoricaszemek beltartalmi paramétereinek vizsgálatára használt PerkinElmer DA 7250 típusú analitikai műszer (Nádudvar, 2023)



4. ábra: A kukoricaszemek toxin-szennyezettségi szintjének meghatározására alkalmazott HPLC/MS műszer (Szeged, Fumizol Kft., 2023)



5. ábra: A kukoricanövény egészséges (jobb oldali) és fertőzött (bal oldali) szártó-, és csőmintái (Nádudvar, 2021)



6. ábra: A felvágott kukoricaszárban rózsaszín elszíneződés figyelhető meg, amely a *Fusarium* fertőzés tipikus tünete (Nádudvar, 2021)



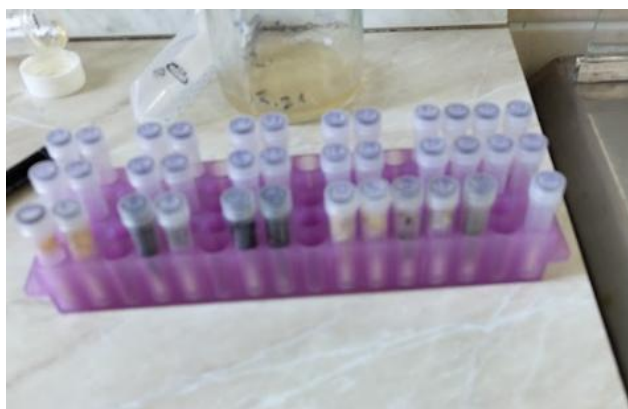
7. ábra: A kukoricaszemek belső *Fusarium* fertőzöttségének vizsgálata (balra egy Petri- csésze alulnézeti, jobbra egy Petri-csésze felülnézeti fényképe)



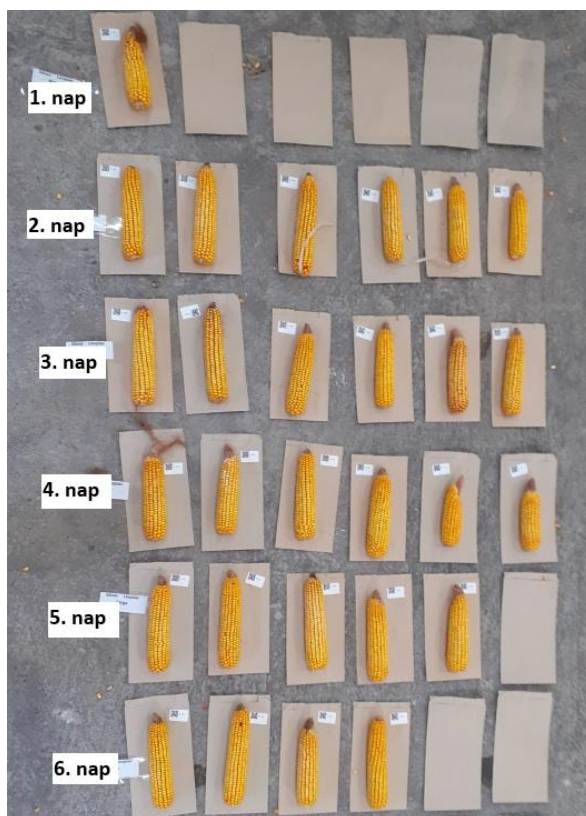
8. ábra: Laboratóriumi termosztátszekrényben elhelyezett *Fuzárium* tiszta tenyészetek (Debrecen, Debreceni Egyetem, 2023)



9. ábra: Kukoricaszemekből izolált tiszta *Fusarium* tenyészet Petri-csészében (Debrecen, Debreceni Egyetem, 2023)



10. ábra: A DNS kivonáshoz előkészített *Fusarium* minták (Debrecen, Debreceni Egyetem, 2023)



11. kép: A különböző időpontban kelt növényegyedekről származó kukoricacső-
minták (Nádudvar, 2021)

Függelék – Ábrajegyzék

1. ábra: A KITE Zrt. nádudvari Multifaktoriális Agrotechnológiai Kísérleti Telepe (Nádudvar, 2020)
2. ábra: Kelésdinamikai vizsgálat szántásos (balra) és sávos (jobbra) művelésmódban (Nádudvar, 2020)
3. ábra: A kukoricaszemek beltartalmi paramétereinek vizsgálatára használt PerkinElmer DA 7250 analitikai műszer (Nádudvar, 2023)
4. ábra: A kukoricaszemek toxin-szennyezettségi szintjének meghatározására alkalmazott HPLC/MS műszer (Fumizol Kft., Szeged, 2023)
5. ábra: Egészséges (jobb oldali) és *Fusarium*-fertőzött (bal oldali) kukoricánövény szártő- és csőmintái (Nádudvar, 2021)
6. ábra: Felvágott kukoricaszár rózsaszín elszíneződéssel, a *Fusarium*-fertőzés tipikus tünete (Nádudvar, 2021)
7. ábra: A kukoricaszemek belső *Fusarium*-fertőzöttségének vizsgálata (balra Petri-csésze alulnézeti, jobbra Petri-csésze felülnézeti fényképe)
8. ábra: Laboratóriumi termosztátszekrényben elhelyezett *Fusarium* tiszta tenyészetek (Debrecen, Debreceni Egyetem, 2023)
9. ábra: Kukoricaszemekből izolált tiszta *Fusarium*-tenyészet Petri-csészében (Debrecen, Debreceni Egyetem, 2023)
10. ábra: DNS-kivonáshoz előkészített *Fusarium* minták (Debrecen, Debreceni Egyetem, 2023)
11. ábra: Különböző időpontban kelt növényegyedekről származó kukoricacső-minták (Nádudvar, 2021)