



**MAGYAR AGRÁR- ÉS ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM**

**A kukorica állami fajtaelismerésében alkalmazott fuzárium-ellenállósági  
vizsgálatok értékelése**

**Kovács Blanka**

**Budapest**

**2023**

## **A doktori iskola**

**megnevezése:** MATE Kertészettudományi Doktori Iskola

**tudományága:** Növénytermesztési és kertészeti tudományok

**vezetője:** Zámboriné Dr. Németh Éva

egyetemi tanár, DSc

MATE, Kertészettudományi Intézet

**Témavezető(k):** Dr. Petróczy Marietta

egyetemi docens, PhD

MATE, Növényvédelmi Intézet

Dr. Szóke Csaba

tudományos főmunkatárs, PhD

ATK Mezőgazdasági Intézet



.....  
Az iskolavezető jóváhagyása

.....  
A témavezető(k) jóváhagyása

## TARTALOM

1. Bevezetés .....	7
2. Célkitűzés.....	10
3. Irodalmi áttekintés.....	11
3.1. A kukorica fuzáriumos csőpenészedése és szártőkorhadása .....	11
3.1.1. A kukorica fuzáriumos betegségeit okozó gombák .....	11
3.1.2. A fuzáriumgombák életciklusa, és a környezeti tényezők szerepe a fertőzésben.....	12
3.1.3. A kukorica fuzáriumos csőpenészedése és szártőkorhadása jelentősége és tünetei 15	
3.1.3.1. Csőpenészedés .....	15
3.1.3.2. Szártőkorhadás.....	16
3.2. A <i>Fusarium</i> fajok okozta minőségi kártétel .....	18
3.3. A kukorica fuzáriumos betegségei elleni védekezési lehetőségek .....	23
3.3.1. Agrotechnikai módszerek .....	23
3.3.2. Kémiai növényvédelem.....	24
3.3.3. Biológiai növényvédelem .....	25
3.3.4. Rezisztencianemesítés .....	26
3.4. Az állami fajtaelismerés vizsgálatai .....	30
3.4.1. Gazdaságiérték-vizsgálat .....	30
3.4.2. Rezisztenciavizsgálatok.....	30
3.4.2.1. Fajtavizsgálatok rezisztenciatesztjei Magyarországon .....	30
3.4.2.2. Fajtavizsgálatok rezisztenciatesztjei az EU-ban.....	31
3.5. Inokulációs módszerek csőpenészedés és szártőkorhadás vizsgálatra .....	32
3.5.1. Csőpenészedés .....	32
3.5.2. Szártőkorhadás.....	33
4. Anyag és módszer .....	35

4.1.	Természetes fertőzöttségű szántóföldi kísérletek .....	35
4.1.1.	A vizsgált hibridek.....	35
4.1.2.	A kísérlet helye, ideje és agrotechnikája .....	35
4.1.3.	Meteorológiai adatok .....	39
4.1.4.	Értékelés .....	41
4.1.4.1.	A csőpenészedés felvételezése .....	41
4.1.4.2.	Szártókorhadás felvételezése .....	42
4.1.4.3.	Rezisztenciakategória meghatározás .....	42
4.1.5.	A gazdasági értékvizsgálat során megfigyelt tulajdonságok .....	43
4.2.	Laboratóriumi vizsgálatok .....	43
4.2.1.	Fajmeghatározás .....	43
4.2.2.	A toxintartalom meghatározása .....	44
4.3.	Szántóföldi mesterséges szárfertőzések.....	46
4.3.1.	Kísérlet anyaga .....	46
4.3.2.	Kísérlet helye és agrotechnikája .....	46
4.3.3.	Meteorológiai adatok .....	47
4.3.4.	A fertőzés módszerei .....	48
4.3.5.	Értékelés .....	49
4.4.	Adatok statisztikai feldolgozása .....	50
5.	Eredmények és megvitatás .....	52
5.1.	Természetes fertőzöttségű szántóföldi kísérletek eredményei .....	52
5.1.1.	Az évjárat hatása a csőpenészedés és szártókorhadás mértékére.....	52
5.1.2.	A kísérleti helyek hatása a csőpenészedés és szártókorhadás mértékére .	54
5.1.3.	Az éréscsoport hatása a csőpenészedés és szártókorhadás mértékére .....	57
5.1.4.	Az időjárás és egyéb környezeti tényezők hatásának a vizsgálata a csőpenészedés és a szártókorhadás előrejelzésére .....	59
5.1.5.	A csőpenészedés gyakoriságának és súlyosságának alakulása a vizsgált években (2014-2016) .....	61

5.1.6. A csőpenészedés és a szártőkorhadással szembeni ellenállóság kapcsolata	62
5.1.7 A 2014-2016-os évjáratokban vizsgált 19 hibrid fuzáriumos csőpenészedéssel és szártőkorhadással szembeni ellenállósága az évjáratok és a kísérleti helyek átlagában	63
5.1.8 A fajmeghatározás eredménye	69
5.1.9 A toxinvizsgálat eredményei és kapcsolata a csőpenészedés-ellenállósággal	71
5.2. Szántóföldi mesterséges szárfertőzés eredményei	75
5.2.1. Fogvájós fertőzési módszer fertőzöttségi adatai	75
5.2.2. Talajfertőzéses módszer fertőzöttségi adatai	76
5.2.3. Az értékelési módok összehasonlításának eredményei	80
6. Következtetések	81
6.1. Természetes fertőzöttségű szántóföldi kísérletek eredményeinek értékelése	81
6.1.1. Az évjárat hatása a csőpenészedés és szártőkorhadás értékelésére	81
6.1.2. A kísérleti helyek hatása a csőpenészedés és szártőkorhadás értékelésére	81
6.1.3. Az éréscsoport hatása a csőpenészedés és szártőkorhadás értékelésére	82
6.1.4. Az időjárás és a környezeti tényezők hatásának a vizsgálata a csőpenészedés és szártőkorhadás előrejelzésére	82
6.1.5. A csőpenészedés- és szártőkorhadás-ellenállóság kapcsolata	82
6.1.6. A 2014-2016-os évjáratokban vizsgált 19 hibrid fuzáriumos csőpenészedéssel és szártőkorhadással szembeni ellenállóságának az alakulása az évjáratok és a kísérleti helyek átlaga alapján	83
6.1.7 A toxinvizsgálat jelentősége a csőpenészedés értékelésében	84
6.2. Szántóföldi mesterséges szárfertőzés eredményeinek értékelése	84
7. Új tudományos eredmények	86
8. Összefoglalás	88
SUMMARY	91
9. Mellékletek	94
9.1 Irodalomjegyzék	94
9.2. Táblázatok	108

10. Köszönetnyilvánítás .....	113
-------------------------------	-----

## 1. BEVEZETÉS

A kukorica (*Zea mays* L.) az egyik legfontosabb szántóföldi növény hazánkban és a világon egyaránt. Keményítőben gazdag szemtermése, illetve a teljes kukoricánövény (zölden, silózva) fontos takarmány, emellett iprai felhasználásra és közvetlen emberi fogyasztásra is alkalmas. Magyarországon 2020-ban az összes betakarított terület 981 006 ha volt 8,58 t/ha termésátlaggal. Hazánk összes régiójára jellemző a kukoricatermesztés: a legnagyobb területen az Észak-Alföldön (236 232 ha) termesztik, ezt követi a dél-alföldi (221 451 ha) régió. A legkisebb területeken Közép- (47 961 ha) és Észak-Magyarországon (55 254 ha) termesztik (KSH 2021). A legjelentősebb kórokozói a *Fusarium* fajok. Közvetlen kártételként csökken a betakarítható termés mennyisége, közvetett kártételként a kórokozók mikotoxinkokat termelnek, mely jelentős humán- és állategészségügyi kockázatot jelent. A betegség fellépésének megelőzése, illetve mennyiségük gazdasági veszteséget okozó szint alá szorítása eltérő hatékonysággal, több védekezési módszerrel is lehetséges. Az agrotechnikai védekezési eljárások közül az alkalmazott talajművelésnek, a helyesen megválasztott vetési- és betakarítási időnek és a vetésváltásnak van jelentősége. A vetésváltásnál figyelemmel kell lennünk arra, hogy búza után lehetőség szerint kukoricát ne vessünk ugyanis mindkét növényfajnak fontos kórokozói a különböző *Fusarium* fajok. Az árukukorica növényvédelmi gyakorlatában széles körben elterjedt, hatékony fuzárium elleni kémiai védekezés korlátozott. A különböző rovarkártevők rágásai utat nyitnak a fuzáriumos betegségeknek, ezért a rovarölő szeres állománykezelések egyre nagyobb jelentőségűvé válnak. A megelőzés további kulcsfontosságú eszköze a fajtaválasztás. A fajtamegválasztásban megvalósult genetikai védelem (ellenálló vagy legalább kevésbé fogékony fajták használata) a termesztett növények integrált védelmének alapvető és nélkülözhetetlen eleme, és az élelmiszerbiztonság egyik leghatékonyabb pillére (Békési 2019). Napjainkban a Zöld megállapodás és az EU Biodiverzitás és Termelőtől a fogyasztóig stratégiájában fontos szerepet kap a fenntarthatóság (Európai Bizottság 2021). Célkitűzéseik között szerepel a műtrágyák és a növényvédő szerek használatának a csökkentése, valamint az ökológiai gazdálkodású területek részarányának a növelése. Ahhoz, hogy ezeknek a célkitűzéseknek meg lehessen felelni, anélkül, hogy a hozamok csökkennének, jó tápanyag-hasznosító képességű és megfelelő betegség-ellenálló fajtákra van szükség. A nemesítés során folyamatosan újabb és újabb hibrideket állítanak elő annak

érdekében, hogy egyre nagyobb hozamokat érjenek el. Békési (1999) szerint a fajta legfontosabb értékmérői: a termőképesség, a minőség, az agronómiai érték és a termésbiztonság. A magas hozamok mellett a változó klimatikus tényezők miatt a termésbiztonság szerepe egyre fontosabb (Széles és Huzsvai 2020). Az előállított hibrideket állami fajtaelismerés céljából bejelentik a Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal (Nébih) Mezőgazdasági és Genetikai Erőforrások Igazgatóságához vizsgálatra. Az állami elismerésre bejelentett szántóföldi növényfajok közül a kukorica az egyik legnagyobb fajtaszámú faj, 100 felett van az évenként vizsgálandó fajtajelöltek száma. A vizsgálat 3 éves, de 2 év egybehangzó pozitív eredménye alapján is megtörténhet az elismerés. A Nemzeti Fajtajegyzéken 320 db (Csapó 2021), míg az Európai Közös Katalógusban összesen 6288 db (European Commission 2021) elismert kukoricahibrid szerepel, azonban ezek fuzáriummal szembeni ellenállóságáról kevés a kukoricatermesztők rendelkezésére álló megbízható adat. Az állami fajtaelismerés során már az 1960-as évek végén figyelmet fordítottak a kukoricahibridek fuzáriumos eredetű megbetegedésének rezisztenciavizsgálatára. A bajai Fajtakísérleti Állomáson 1966 óta monokultúrában vizsgálták a kukoricahibridek a szártőkorhadással szembeni ellenállóságát, valamint fejlesztették a vizsgálati módszertant. Az isaszegi Fajtakísérleti Állomáson 1969-ben mesterséges fertőzéses kísérletet végeztek a csőpenészedéssel szembeni ellenállóság vizsgálata céljából 4 *Fusarium* faj izolátumával (Hinfner és Békési 1969). A röjtökmuzsaji Fajtakísérleti Állomáson 1959-től monokultúrában állítják be a kukorica fajtakísérletet. Kezdetben a kukorica rostos üszöggel szembeni ellenállóság vizsgálata volt a célja a kísérletnek. 1980-tól a fuzáriumos szártőkorhadás és csőpenészedés tesztelésére szolgál a provokációs kísérlet. Napjainkban is kötelezően vizsgálandó betegség a fuzáriumos csőpenészedés és szártőkorhadás. A fajtaelismerés során kizáró tényező, ha egy hibrid a több éves és több termőhelyes eredményei alapján a fuzáriumos szártőkorhadásra vagy csőpenészedésre nagyon fogékony (5), illetve mindkét betegségformára közepesnél fogékonyabb (4) rezisztenciakategóriába kerül besorolásra (Ruga-Kovács 2016). Az elmúlt években a fajtaelismerésben alkalmazott vizsgálati metodikát többször módosították: bevezették az elismerési rendszerbe, hogy amennyiben egy fajtajelölt nem éri el ugyan a standardok termőképességét, de 3 éven keresztül stabilan megfelelő ellenállósággal rendelkezik a fuzáriumos betegségekkel szemben, akkor a hibrid állami elismerést kaphasson. Pontosították a rezisztenciakategóriába sorolás számításának menetét,



továbbá kiterjesztették az egymásnak ellentmondó kétéves fuzáriumos betegségekkel szembeni ellenállóság-vizsgálatokat három évre. Mivel további szigorítást helyeztek kilátásba – közepesnél fogékonyabb rezisztenciakategória kizáró ok legyen – aktuálissá vált a jelenleg érvényben lévő fajtakísérleti metodika megbízhatóságának a vizsgálata, illetve korszerűsítési lehetőségeinek a megvitatása. (Ruga-Kovács 2016)

## 2. CÉLKITŰZÉS

A kutatómunkánk során célul tűztük ki, hogy a kukorica állami fajtaelismerésében jelenleg érvényes metodika alapján végzett fuzáriumos betegség-ellenállóság vizsgálatok eredményeit értékeljük. Választ kerestünk arra, hogy a jelenleg használt metodika alkalmas-e arra, hogy az állami elismerésre bejelentett hibridek fuzáriumos betegségek kórokozóival szembeni ellenállóságát eredményesen megkülönböztessük, annak érdekében, hogy megakadályozzuk a nagyon fogékony és fogékony hibridek köztermesztésbe kerülését.

A szántóföldi kísérletek adatai alapján célul tűztük ki:

1. A 2014-2016-os évek adatai alapján meghatározni az évjárat-, a kísérleti hely- és a tenyészidő hatását a csőpenészedés és szártőkorhadás kialakulására.
2. Öt év (2014-2016, 2017 és 2020) adataiból megállapítani a csőpenészedés és szártőkorhadás kialakulását leginkább meghatározó környezeti tényezőket, melyek ismeretében becsülni tudjuk az adott évjárat és termőhely fuzáriumos betegségeinek fellépésének valószínűségét.
3. Természetes fertőzöttségű fuzáriumos csőmintákból mért toxintartalom alapján vizsgálni a csőfertőzöttség és a toxintartalom közötti kapcsolatot.
4. Természetes fertőzöttségű szármintákból meghatározni a szártőkorhadásért felelős *Fusarium* fajokat.
5. Meghatározni a fuzáriumos csőpenészedéssel és szártőkorhadással szembeni ellenállóság közötti kapcsolatot és alátámasztani, hogy az állami elismerés folyamata során a két betegségformát külön-külön kell értékelni.
6. Igazolni az állami fajtaelismerésében a mesterséges szárfertőzés hatékonyságának előnyét a természetes szárfertőzéssel szemben valamint kidolgozni hozzá egy gyors, egyszerű és megbízható értékelési módszert.
7. A fenti vizsgálatok eredményei alapján ajánlatot tenni a jelenleg érvényben lévő fajtakísérleti metodika korszerűsítésére

### 3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

#### 3.1. A kukorica fuzáriumos csőpenészedése és szárkorhadása

##### 3.1.1. A kukorica fuzáriumos betegségeit okozó gombák

Az állati kártevők, gyomnövények és kórokozók hatással vannak a kukorica terméshozamára és minőségére (Oerke 2006). Gazdaságilag legjelentősebb betegségei (az *Ascomycota*, *Hypocreomycetidae*, *Hypokreales*, *Nectriaceae*-ba tartozó) fuzárium-fajok okozta csőpenészedés és szártőkorhadás (Meissle et al. 2010).

Számos különböző *Fusarium* faj fordul elő a kukoricában és a betegséget egyidejűleg több fuzáriumfaj együttes jelenléte is okozhatja (Kommedahl et al. 1979). Franciaországban Folcher et al. (2009) 12 *Fusarium* fajt azonosított. A déli régiókban elsősorban a *F. verticillioides* (Sacc.) Nirenberg és a *F. proliferatum* ((Matush.) Nirenberg ex Gerlach és Nirenberg)) volt jelen, az északi részen pedig főként a *F. graminearum* (Schwabe) és a *F. culmorum* (Wm.G. Sm.) Sacc). Európa hűvösebb éghajlati övezeteiben elsősorban a *F. graminearum* (Schwabe), *F. culmorum* (Wm. G. Sm.) Sacc. és *F. avenaceum* (Fr.) Sacc. Nirenberg fajok okozzák a fertőzöttséget, *F. verticillioides* (Sacc.) Nirenberg, *F. proliferatum* (Matsush.) és *F. subglutinans* (Wollen. és Reinking) P.E. Nelson a melegebb és szárazabb területeken fordul gyakrabban elő (Logrieco et al. 2002, Doohan et al. 2003, Munkvold 2003a, Goertz et al. 2010, Scauflaire et al. 2011a). Magyarországon Békési és Hinfner (1970) adatai alapján a *F. verticillioides* (Sacc.) Nirenberg fordult elő legnagyobb százalékban. Mesterházy és Vojtovics (1977) megállapította, hogy a száraz években az ország déli területein, csapadékosabb években északi régiókban domináltak a fuzárium-fajok. Szőke et al. (2013) begyűjtött csőmintákról izolált fajokat, eredményeik szerint a *F. verticillioides* (Sacc.) Nirenberg faj volt domináns, őt követte a *F. proliferatum* (Matsush.) Nirenberg ex Gerlach és Nirenberg, továbbá izoláltak *F. graminearum*-ot (Schwa.) és *F. sporotrichioides*-t (Sherb.) is. Adataik szerint a *F. graminearum* (Schwa.) aránya csökkent és a *F. verticillioides* (Sacc.) Nirenberg fajtája nőtt a korábbi évekhez képest. Kínában (Li et al. 2019a) és Horvátországban (Ivić et al. 2009) is. Belgiumban Scauflaire et al. (2011a) 3 éves felmérés során 23 különböző *Fusarium* fajt azonosítottak. A szárról 21 különböző *Fusarium* fajt izoláltak. Tapasztalataik szerint a kukoricaszárakat gyakrabban fertőzi egyszerre több fuzárium-faj, ellentétben a csőfertőzéssel. A kukoricacsöveken

leggyakrabban *F. graminearum* (Schwa.), esetenként *F. avenaceum*-mal (Fr.) Sacc. együtt volt kimutatható, továbbá *F. crookwellense* L. W. Burgess, P. E. Nelson és Toussoun, *F. culmorum* (Wm. G. Sm.) Sacc., *F. poae* (Peck) Wollenw. és *F. temperatum* Schaufl. és Munaut fordult elő. A *F. temperatum*-ot Schaufl. és Munaut Scauflaire et al. (2011b) írta le először, majd számos tudományos közlemény jelezte az új faj jelenlétét és írta le gazdasági jelentőségét, valamint toxintermelését (Scauflaire et al. 2012, Varela et al. 2013, Wang et al. 2014, Fumero et al. 2016, Ridout et al. 2016, Molnár et al. 2017a). Az Egyesült Királyságban Basler (2016) vizsgálataiban a kimutatott fajok közül a *F. graminearum* (Schwa.) (32,9%) és a *F. culmorum* (Wm. G. Sm.) Sacc. (34,1%) volt az uralkodó. E fajok mellett a *F. avenaceum* (Fr.) Sacc., *F. cerealis* (Cooke) Sacc., *F. equiseti* (Corda) Sacc., *F. poae* (Peck) Wollenw., *F. proliferatum* (Matsush.) Nirenberg ex Gerlach és Nirenberg, *F. subglutinans* (Wollenw. és Reinking) P. E. Nelson, Toussoun és Marasas, *F. tricinctum* (Corda) Sacc. és *F. verticillioides* (Sacc.) Nirenberg fajokat izoláltak. Pfordt et al. (2020) Németországban 58 kísérleti helyen 3 éven keresztül vizsgálta a kukorica szártőkorhadásában és csőpenészedésében szerepet játszó *Fusarium* fajokat. Megállapították, hogy a csőpenészedés kiváltásában leggyakrabban a *F. graminearum* (Schwa.), *F. verticillioides* (Sacc.) Nirenberg és *F. temperatum* Schaufl. és Munaut vesznek részt. Vizsgálataik szerint a szártőkorhadásban a *F. graminearum*-nak (Schwa.), a *F. equiseti*-nek (Corda) Sacc., a *F. culmorum*-nak (Wm. G. Sm.) Sacc. és a *F. temperatum*-nak Schaufl. és Munaut van elsősorban szerepe.

### **3.1.2. A fuzáriumgombák életciklusa, és a környezeti tényezők szerepe a fertőzésben**

A *Fusarium* fajok a kukorica valamennyi részét fertőzhetik csírázástól egészen a betakarításig. A talajban telelnek szaprofita módon, a fertőzött növényi maradványokon micélium és klamidospórák vagy a fertőzött vetőmagban micélium, a szemek felületén klamidospóra és konídium formájában vannak jelen (Nyvall és Kommedahl 1970, Sutton 1982, Khonga és Sutton 1988, Munkvold 2003b). A vetőmag belsejében 3-4 évig, annak külsején pedig 1-2 évig életképesek (Inch és Gilbert, 2003). A kórokozók a magot és a csíranövényt kelés előtt a talajban megtámadhatják és elpusztíthatják. A mikrokonídiumok szél és eső segítségével jutnak a növény leveleire, ahonnan bemosódhatnak a levélhüvelybe, illetve a száron lévő sérüléseken keresztül közvetlenül a szárban is indíthatnak fertőzést (Bergstrom

és Shields, 2002). A virágzás szakaszában a bibeszálakon keresztül történik a behatolás (Duncan és Howard 2010). Megtermékenyülés után a csövön a csőpenészedése leggyakrabban a csővégtől indul ki (Reid et al. 1999). Fertőzi a gyökéren keresztül a szárat, majd a csöveket. A talajról a légáram által közvetlenül a csőre is kerülhet a kórokozó szaporítóképlete. A rovarok és a szélsőséges időjárási események (pl. jégeső) növelik a fertőzöttség kialakulásának a lehetőségét (Reid et al. 1999, Meissle et al. 2010, Nedelnik et al. 2012).

A környezeti feltételek jelentős hatással vannak a kukorica csőpenészedésének és szártőkorhadásának előfordulására. Az angol szakirodalomban a *F. graminearum* Schwabe (telemorf = *Gibberella zea* (Schwine) okozta csőpenészedést GER-nek (Gibberella Ear Rot), a *F. verticillioides* telemorf= *G. moniliformis* Wineland) által kiváltott csőpenészedést FER-nek (*Fusarium* Ear Rot) nevezték el. A GER csapadékos években fordul elő gyakrabban, míg a FER kialakulásának a meleg és száraz évszám kedvez (Vigier et al. 1997, Doohan et al. 2003). Az utóbbi évtizedben azonosított *F. temperatum* Schauml. és Munaut faj megjelenését és terjedését is összefüggésbe hozták a klímaváltozással (Czembor et al. 2015). A klímaváltozás hatása a szárazabb és melegebb időjárás gyakoriságának növekedésével jellemezhető (Jacob et al. 2014). Egyre nagyobb abiotikus stressznek van kitéve a kukorica (Ceglar et al. 2019). Az aszály- és hőstressztűrés kiemelt szerepet érdemel a növénynevelési programokban (Ceccarelli et al. 2010, Chapman et al. 2012, Hammer et al. 2020). Az éghajlatváltozás, azon belül is a melegedő időjárás hatására várható a rovarkártétel súlyosbodása is, mely növeli a fuzáriumos fertőzöttség kialakulásának a kockázatát, továbbá azoknak a *Fusarium* fajoknak az elterjedését is lehetővé teszi, melyek alkalmazkodni tudnak a megváltozott időjárási körülményeihez (Hakala et al. 2011, Miedaner és Juroszek 2021). A szárazság okozta stressz az egyik legnagyobb kockázati tényező, mely növeli a szártőkorhadás kialakulásának a veszélyét is (Dodd 1980).

Charmley et al. (1994) a vízhiány okozta stresszt és a hőmérsékletet meghatározónak tartják a kórokozó fertőzésével és mikotoxin termelésével kapcsolatban. Marín et al. (2010) *in vitro* körülmények között vizsgálták a környezeti tényezők hatását *F. verticillioides* (Sacc.) Nirenberg és *F. proliferatum* (Matsush.) Nirenberg ex Gerlach és Nirenberg növekedésére és toxintermelésére. Megállapították, hogy a növekvő vízhiány okozta stressz magasabb toxintartalmat okozott a *F. verticillioides*

fertőzésnél. A vízstressz a *F. proliferatum* toxintermelésére nem volt hatással. A további környezeti tényezők közül a csapadékmennyiségnek és a hőmérsékletnek virágzáskor és a betakarítás előtti időszakban van meghatározó szerepe a toxin-felhalmozódásra (De la Campa et al. 2005, Cao et al. 2014). A földrajzi hely, valamint az agrotechnológiai elemek, mint például a vetésforgó, a talajművelés, a tápanyag-utánpótlás szintén befolyásolja a *Fusarium* fajok előfordulását (Cotten és Munkvold 1998, Munkvold 2003a).

Argentínában és a Fülöp-szigeteken, De la Campa et al. (2005) környezeti tényezők hatását vizsgálták kukoricában a fumonizin-felhalmozódására 2000-2002 között. Argentínában 2000-2001 között 4 kísérleti helyen, a Fülöp-szigeteken 2001-2002 között 3 kísérleti helyen végezték a vizsgálataikat. Az időjárási körülmények a vizsgált helyeken különbözőek voltak, mely lehetővé tette az időjárás hatásának a vizsgálatát a fumonizin-felhalmozódásra. Előrejelző modell alkalmazása segítségével meghatározták, hogy a kísérleti hely 47% hatással, a rovarkártétel 11-17% hatással volt a fumonizin mennyiségére. Igazolták, hogy a virágzáskori időjárási tényezők befolyásolják a legnagyobb mértékben a fumonizin-felhalmozódást, ezt követte a rovarkártétel mértéke és a hibridválasztás (14%). Az időjárás és a rovarkártétel hatása együttesen 82%-át tett ki a fumonizin mennyiségének a változására gyakorolt hatásban. A virágzási időt az 50%-os virágzáshoz képest 4 részre osztották fel és azt állapították meg, hogy a fumonizin felhalmozódásra legnagyobb hatással (42,9%) a harmadik periódus (az 50%-os virágzás utáni 2-8 nap) időjárása van. Kanadában 5 év adatai alapján Schaafsma és Hooker (2007) is meghatározta előrejelző modell segítségével a környezeti tényezők és a hibrid hatását a DON és fumonizin-felhalmozódására. Figyelembe vették a rovarkártétel hatását is. Igazolták, hogy a hibrid 25%-ban volt hatással a DON és FB1 (fumonizin B1) felhalmozódására, az időjárás 12%-ban befolyásolta a DON, és 19%-ban az FB1 mennyiségét. Az időjárás és a hibrid hatása összességében 42%-ban meghatározza a toxin-felhalmozódást.

Rose et al. (2016) véleménye szerint is a FER-rel szembeni rezisztenciát a környezeti tényezők jelentősen befolyásolják. Dél-Afrika öt földrajzi körzetében 18 beltenyésztett kukorica-vonal ellenálló képességét értékelte a *F. verticillioides* által kiváltott csöpenészdedéssel és fumonizin-felhalmozódással szemben. A vizsgált genotípusok közül 3 vonal (CML 390, US 2540 W, Ro 424 W) mutatott magas szintű szántóföldi ellenállóságot a megbetegedéssel és a toxin-szennyezettséggel

szemben, amely stabilnak bizonyult különböző környezeti feltételek között is. A szerzők ezeket a vonalakat, mint értékes rezisztencia-forrásokat, ajánlják a helyi nemesítési programok számára.

### **3.1.3. A kukorica fuzáriumos csőpenészedése és szártókorhadása jelentősége és tünetei**

#### **3.1.3.1. Csőpenészedés**

A *Fusarium* fajok által okozott csőpenészedést először Kanadában írták le (Bisby és Bailey (1923)). Azóta az egész világon elterjedt betegség, mely járványos években súlyos gazdasági kárt okoz terméscsökkenéssel, valamint közvetett módon a toxintermelés által (Wilson et al. 1990, Chu és Li 1994, Desjardins 2006). A *F. graminearum* okozta csőpenészedés leggyakrabban a csővégtől indul ki, míg a *F. verticillioides* esetében a penészgyep szétszórtnan vagy csoportokba rendeződve, ún. „ablakos” elrendezésben jelenik meg. Jellemző látható tünete a fehér, rózsaszínű vagy vöröses penészgyep (1. ábra), amely lefelé terjed (Reid et al. 2002). Gyakran a rovarok (kukoricamolylepke, gyapottok-bagolylepke hernyói, kukoricabogár imágói) okozta sebzések elősegítik a fertőzést (Munkvold 2003b).



1. ábra: A fuzáriumos csőpenészedés (fent: csővégtől induló, lent: „ablakos”) tipikus tüneti képe (Fotó: Kovács Blanka, 2014)

### 3.1.3.2. Szártőkorhadás

Az 1960-as évektől a szártőkorhadás a kukorica egyik legsúlyosabb betegsége, amely a világ számos kontinensén előfordul: Amerikában (Koehler 1960), Európában (Cook 1978, Ledenčan et al. 2003), Afrikában (Chambers 1988), Ázsiában (Younis et al. 1969, Lal és Singh 1984) és Ausztráliában (Francis és Burgess 1975, Summerell et al. 2010). A betegség első tünete a hiányos kelés. A fertőzés a gyökéren keresztül történik. A korhadás alulról felfelé terjed, gyakori az alsó internódiumok bélszövetének lilás elszíneződése (2-3. ábra), valamint a szár felületén fehéres-rózsaszínű micéliumszövedék megjelenése. A növény kényszerérik, és súlyos esetben a felpuhult szár az alsó 1-2. internódium táján eltörhet. A betakarítás nehézkes a törés és dőlés (4. ábra) következtében, ami számottevő termésvesztést jelent (Cook 1978; Malvick, 1995; Ledenčan et al. 2003). A szárban jelenlévő *Fusarium* fajok szerepe azonban több ennél, a növény idő előtti elhalása miatt gyengébb lesz a szentelítődés, ami könnyű, kicsi csöveket eredményez, továbbá romlik a növény tápanyagfelvétele, valamint a vízleadása. Az ebből adódó termésnövekedés 6-35%-tól (Bottalico 1998 és Logrieco et al. 2002, Yu et al. 2017) kezdve elérheti akár az 50-60%-ot is (McKeen 1951; Ribeiro et al. 2005), továbbá rontja a szemek minőségét is.





2. ábra: A fuzáriumos szártőkorhadás jellegzetes tünete a szár első internódiumban (Fotó: Kovács Blanka, 2015)



3. ábra: A fuzáriumfertőzés tünete a 2. és 3. internódiumban (Fotó: Kovács Blanka, 2015)



4. ábra: Fuzáriumos szártőkorhadás okozta szártörés (Fotó: Kovács Blanka, 2015)

### 3.2. A *Fusarium* fajok okozta minőségi kártétel

A kukoricát fertőző *Fusarium* fajok erős biológiai hatású mikotoxinokat termelnek (1. táblázat). A mikotoxinok olyan másodlagos anyagcseretermékeket, melyek az emberek és az állatok egészségét károsítják, az állatok gyarapodását, szaporodását kedvezőtlenül befolyásolják, csökkentik a termés értékesíthetőségét (Kovács 2014). Az ember szervezetébe a mikotoxinok bejuthatnak közvetlenül, szennyezett növényi eredetű élelmiszerek fogyasztásával, vagy állati eredetű élelmiszerekkel. Ha a takarmány a megengedett határértékeken felüli mennyiségben tartalmaz toxint, felhalmozódhat az állat fogyasztásra kerülő szerveiben, szöveteiben (pl. máj, zsír, hús), vagy kiválasztódhat tejjel vagy a tojással. Jakucs és Vajna (2003) szerint a leggyakoribb mikotoxinok a deoxinivalenol (DON), ezt követi a zearalenon (ZEA) és a fumonizinek (FUM). A DON jellegzetesen hányást okoz, valamint gyengíti az immunrendszert, ezáltal gyakrabban fordulnak elő másodlagos fertőzések. Sejtszinten gátolja a fehérjeszintézist és oxidatív stresszt okozhat. A sertés a legérzékenyebb faj, a DON már kis mennyiségben is csökkenti a takarmányfelvételt, nagyobb mennyiségben hasmenést, végbélelőesést, gyomorfekély-képződést, illetve hányást is okozhat (Jakucs és Vajna 2003). Egyebek mellett a DON hatással van az állatok szaporodásának biológiai mutatóira is (Pomothy et al. 2020). A ZEA egy ösztrogénhatású mikotoxin, mely zavart okoz a hormontermelésében, ezáltal a reprodukciós folyamatokban. Sejtpusztulást okozhat a májban és gyengíti az immunrendszert. Jelentős hatással van a vér sejtösszetevőinek termelésére, a máj és a vese homeosztázisára, a neuroendrokin szervek működésére és a központi idegrendszerre is (Jócsák et al. 2017). A fumonizinek hatása fajonként eltérő. Lovakban agylágyulást, sertésekben tüdőödémát okozhat, nyulakban, baromfiban máj- és vesekárosító, patkányban máj- és veseelfajulás, valamint májrák kialakulását írták le (Harrison és Colvin 1990, Kellerman és Marasas 1990).

1. táblázat: A *Fusarium* fajok és az általuk termelt mikotoxinok (Logrieco et al. 2002)

<b><i>Fusarium</i> spp.</b>	<b>Mikotoxin</b>
<i>Fusarium acuminatum</i>	T2, MON, HT2, DAS, MAS, NEO, BEA
<i>Fusarium anthophilum</i>	BEA
<i>Fusarium avenaceum</i>	MON, BEA
<i>Fusarium cerealis</i>	NIV, FUS, ZEA, ZOH
<i>Fusarium chlamydosporum</i>	MON
<i>Fusarium culmorum</i>	DON, ZEA, NIV, FUS, ZOH, AcDON
<i>Fusarium equiseti</i>	ZEA, ZOH, MAS, DAS, NIV, DAcNIV, FUS, FUC, BEA
<i>Fusarium graminearum</i>	DON, ZEA, NIV, FUS, AcDON, DAcDON, DAcNIV
<i>Fusarium heterosporum</i>	ZEA, ZOH, MAS, DAS, NIV, DAcNIV, FUS, FUC, BEA
<i>Fusarium nygamai</i>	BEA, FB1, FB2
<i>Fusarium oxysporum</i>	MON, BEA
<i>Fusarium poae</i>	DAS, NIV, FUS, MAS, T2, HT2, NEO, BEA
<i>Fusarium proliferatum</i>	FB1, BEA, MON, FUP, FB2
<i>Fusarium sambucinum</i>	DAS, T2, NEO, ZEN, MAS, BEA
<i>Fusarium semitectum</i>	ZEA, BEA
<i>Fusarium sporotrichioides</i>	T2, HT2, NEO, MAS, DAS
<i>Fusarium subglutinans</i>	BEA, MON, FUP
<i>Fusarium tricinctum</i>	MON, BEA
<i>Fusarium verticillioides</i>	FB1, FB2, FB3

Magyarázat az 1. táblázathoz: AcDON: monoacetyl-deoxinivalenol (3-AcDON, 15-AcDON); AcNIV: monoacetyl-nivalenol (15-AcNIV); BEA: beauvericin; DiAcDON: diacetyl-deoxinivalenol (3, 15-AcDON); DAcNIV: diacetyl-nivalenol (4, 15-AcNIV); DAS: diacetoxiscirpenol; DON: deoxinivalenol (vomitoxin); FB1: fumonizin B1; FB2: fumonizin B2; FB3: fumonizin B3; FUP: fuzaprolicerin; FUS: fuzarenon-X (4-acetyl-NIV); FUC: fuzarochromanon; HT2: HT-2 toxin; MAS: monoacetoxiscirpenol; MON: moniliformin; NEO: neozolaniol; NIV: nivalenol; T2: T-2 toxin; ZEA: zearalenon; ZOH: zearalenol alfa és béta izomerek

A fumonizinek ún. „maszkolt” változatai rutin analitikai módszerekkel nem mutathatóak ki, mert ezek a fumonizin-változatok kötött vagy módosított formában vannak jelen az emberi és állati szervezetben. Az emésztőrendszerben azonban enzimek hatására felvehetővé válnak (Berthiller et al. 2005). Fontos megállapítás az is, hogy a mikotoxinok nem önmagukban fordulnak elő, hanem egyszerre több mikotoxin van jelen, ezért gyakran multitoxikus hatással kell számolni. Azonban a tolerálható határértékek a mikotoxinok önálló toxicitása alapján kerültek meghatározásra (2. táblázat és 3. táblázat). Érdeemes lenne figyelembe venni, hogyan befolyásolhatják egyes toxinkölcsönhatások a mikotoxinokra meghatározott tolerálható értékeket (Kovács 2018). A kukorica egyoldalú fogyasztásával összefüggően kialakuló multifaktoriális betegségcsoport Afrikában az afrikai kukorica-fuzárium betegség elnevezést kapta (African *Fusarium* / maize disease) (Dutton 2009).

2. táblázat: Az élelmiszerekben előforduló *Fusarium* fajok által termelt leggyakoribb mikotoxinok felső határértékei (1881/2006/EK rendelet 2006)

Termékkategória	Dezoxinivalenol (µg/kg)	Zearalenon (µg/kg)	Fumonizinek (B1+B2) (µg/kg)
Feldolgozatlan kukorica	1750	200	2000
Közvetlen emberi fogyasztásra szánt gabonafélék, gabonalisztek (beleértve a kukoricalisztet, a kukoricakorpát és a kukoricadarát)	750	50	400
Csecsemők és kisgyermek számára készült feldolgozott kukoricaalapú élelmiszerek és bébitelek	200	20	200

3. táblázat: A takarmányokban előforduló Fusarium fajok által termelt leggyakoribb mikotoxinok felső határértékei (44/2003 (IV.26.) FVM rendelet 2003)

Termékkategória	Dezoxivalenol µg/kg	Termékkategória	Zearalenon µg/kg	Termékkategória	Fumoniz i-nek (B1+B2 µg/kg)
Takarmány- alapanyag: gabonafélék és gabonakészítme- nyek kivéve a kukorica melléktermékek	8000	Takarmány- alapanyag: gabonafélék és gabonakészítmé- nyek kivéve a kukorica melléktermékek	2000	Kukorica és kukorica alapú termékek	60000
Kukorica melléktermékek	12000	Kukorica melléktermékek	3000	Kiegészítő és teljes értékű takarmányok sertéseknek, lovaknak, nyulaknak és kedvtelésből tartott állatoknak	5000
Kiegészítő és teljes értékű takarmányok (kivételekkel!)	5000	Kiegészítő és teljes értékű takarmányok malacoknak és kocasüldőknek	100	Kiegészítő és teljes értékű takarmányok halaknak	10000
Kiegészítő és teljes értékű takarmányok sertéseknek	900	Kiegészítő és teljes értékű takarmányok kocáknak és hízósertéseknek	250	Kiegészítő és teljes értékű takarmányok baromfiknak, borjaknak (4 hónapnál)	20000

				fiatalabb), bárányoknak és gidáknak	
Kiegészítő és teljes értékű takarmányok borjaknak (négy hónapnál fiatalabb), bárányoknak, gidáknak	2000	Kiegészítő és teljes értékű takarmányok borjaknak, tejelő teheneknek, juhoknak (bárányoknak is) és kecskéknak (gidáknak is)	500	Kiegészítő és teljes értékű takarmányok felnőtt kérődzőknek (4 hónaposnál idősebb) és vidra	50000

A mikotoxinok és a fuzáriumos fertőzöttség közötti kapcsolat nem egyértelmű, ugyanis a fertőzés jeleit nem mutató kukorica is tartalmazhat mikotoxinokat, másrészt nem minden *Fusarium* faj termel toxint. A kevésbé fogékony kukoricahibridek kiválasztása lehetőséget kínálhat a fuzáriumfertőzés és a mikotoxin-szennyezettség csökkentésére (Hoenisch és Davis 1994, Ramirez et al. 1996, Warfield és Davis 1996). Desjardin et al. (2002) nagyon szoros korrelációról számoltak be a genotípusok fumonizin koncentrációja és a vizuális betegségtünetek között. Néhány más tanulmány nem tudta megerősíteni ezt az összefüggést (Clements et al. 2003). Szabó et al. (2018) mesterséges fogvájós csőfertőzés és a toxin kapcsolatát vizsgálva a *F. graminearum* és DON toxintartalom között nagyon szoros összefüggést ( $r= 0,9655$ ) tapasztaltak, a *F. culmorum* és DON toxintartalom között is szoros volt a kapcsolat ( $r= 0,8138$ ). Bolduan et al. (2009) is szoros összefüggést igazolt a *F. graminearum* fertőzése és DON-szennyezettség között. A *F. verticillioides* fertőzöttségének a mértéke és a fumonizintartalom között nem találtak összefüggést. Ezzel szemben Henry et al (2009) statisztikailag igazolható összefüggést találtak a *F. verticillioides* jelenléte és a fumonizintartalom között.

### 3.3. A kukorica fuzáriumos betegségei elleni védekezési lehetőségek

A növényi betegségek ellen több módon védekezhetünk: agrotechnikai módszerekkel, rezisztencianemesítéssel, kémiai- és biológiai növényvédelemmel.

#### 3.3.1. Agrotechnikai módszerek

Nemcsak a monokultúra, a gyakori búza-kukorica dikultúra is elősegíti a kórokozók felszaporodását (Khonga és Sutton 1988). Vári és Pepó (2011) vizsgálták a különböző nitrogénmennyiségek (0, 60 kg/ha, 120 kg/ha, 180 kg/ha, 240 kg/ha) hatását a csőfuzárium-fertőzöttségre és a szárdőlésre. Megállapították, hogy a nagyobb műtrágyaadagok növelték mindkét betegségformát. Már az 1900-as évek elején megfigyelték azt, hogy a termékenyebb talajokon nagyobb mértékű szárdőléssel lehet számolni (Koehler és Holbert, 1930). Koehler (1960) későbbi munkájában a tápanyag-visszapótlás és a szárdőlés között azt az összefüggést ismertette, hogy ha N-t vagy N-t és P-t adtak a kukorica alá, akkor a szárdőlés mértéke jelentősen növekedett. Kádár (1992) adatai szerint a foszforműtrágyázás Zn-hiányt indukálva növeli a kukorica fuzáriumos szárdőlését. A káliumellátásának javulása viszont kedvezően hatott a betegséggel szemben. Vári és Pepó (2011) további vizsgálatai során a növényszám növelésének hatására szignifikánsan nem változott a természetes fertőzöttséggel kialakult csőpenészedés. Ezzel szemben Wilcoxson és Covey (1963) vizsgálatai szerint *F. graminearum*-mal mesterségesen fertőzött kukoricaszárak esetében, a három különböző növényesűrűséggel beállított kísérletben a legsűrűbb növényállományban volt a szárfertőzés mértéke a legerősebb. Pearson és Munkvold (2012) vetésidő hatását vizsgálták a fuzáriumos csőpenészedés kialakulására és a fumonizin-felhalmozódásra. Igazolták, hogy az optimálisnál korábbi vetésidő szignifikánsan alacsonyabb csőpenészedést, fumonizin B1 felhalmozódást és rovarkártételt eredményezett. Az optimálisnál később vetett kísérletekben magasabb volt a csőpenészedés és fumonizin B1 tartalom, hasonlóan Pearson és Munkvold (2012) és Blandino et al. (2008) eredményeihez. Pfordt et al. (2020) megállapították, hogy az agrotechnikai elemek közül a növénymaradvány mélyaláforgatása csökkentette a *F. graminearum* és a *F. temperatum* fertőzöttséget, ugyanakkor a vetésforgó csak csekély befolyást gyakorolt a fertőzésre.

### 3.3.2. Kémiai növényvédelem

A kukorica növényvédelmi technológiájában a fungicid kezelések közül csak a vetőmagcsávázásnak van gyakorlati jelentősége (Szőke et al. 2017). A fuzáriumos szártőkorhadással szemben nem ismert hatékony kémiai védekezés. A fuzáriumos csőpenészedéssel szembeni fungicid állománypermetezés sem gyakorlat még a köztermesztésben. A kémiai védekezést a virágzás fenológiájában célszerű elvégezni, amihez hidastraktorra vagy légi úton történő kijuttatásra van szükség, illetve csak felszívódó hatóanyagok hatékonyak, amelyek képesek a csuhélevelen keresztül felszívódni. Engedélyezett szer jelenleg a Prosaro (hatóanyag: 125 g/l protikonazol, 125 g/l tebukonazol), melynek toxincsökkentő hatását vizsgálták rovarölő szerrel kombináltan kijuttatva a Padovai Egyetemen 2012-ben (Bayer, 2021). A vizsgálat eredményei szerint a Prosaro rovarölőszerral kombinálva csökkentette a fumonizin B1+B2 szennyezettséget.

A szakirodalomban találkozhatunk további többé-kevésbé eredményesnek ítélt fungicid-hatóanyagokkal. Brazíliában 2 éves szántóföldi inokulációs kísérletben egy fungicid-kombináció (azoxistrobin+ ciprokonazol és karbendazim) hatékonyságát vizsgálták két fogékony kukoricahibriden a *F. graminearum* okozta csőpenészedéssel szemben, valamint a terméshozamra gyakorolt hatást is értékelték. Bár a szemtermés nem növekedett szignifikánsan a kezelések hatására, a fungicid-kombináció eredményesen csökkentette a csőpenészedés súlyosságát, ha a kezelést az inokuláció előtt vagy után, 2 napon belül elvégezték (preventív vagy kuratív alkalmazás) (Andriolli et al. 2016).

Az Egyesült Államok egyik kukorica-övezetében, Indianában beállított szántóföldi kísérletekben három fungicid-hatóanyag (azoxistrobin, protikonazol, piraklostrobin) hatékonyságát vizsgálták a *F. graminearum* eredetű csőpenészedéssel és a DON toxin -felhalmozódásával szemben. A gombaölő szerek csökkentették mindkét évben (2013-2014) és kísérleti helyen a csőpenészedés mértékét, de a DON toxin termelődésére nem voltak hatással, magas fertőzési nyomás esetén (Anderson et al. 2017).

A Syngenta Canada a csőpenészedés elleni állomány-permetezésre a Miravis Neo fungicidet (azoxistrobin + propikonazol) ajánlja 0,75 – 1,25 l /ha-os dózis-ban, a bibeszálak megjelenésétől számított 7 napon belül, a tünetek mérséklésére és a mikotoxinszint csökkentésére (Internet 1.).



### 3.3.3. Biológiai növényvédelem

Antagonista mikroorganizmusok (*Trichoderma* spp., *Bacillus subtilis*, stb.) felhasználására világszerte folynak vizsgálatok a csőpenészedést okozó fuzárium-fajok elleni védekezésben. A *Trichoderma* gombák kolonizálják a növény gyökérzetét. Ezáltal távol tartják a kórokozó gombákat, mert jó kompetíciós képességükkel kiszorítják azokat. Továbbá képesek behatolni a kórokozó gomba micéliumába (Chet et al. 1981), ami a sejtfalbontó enzimek hatására elpusztul (Lorito et al. 1993). A *Trichoderma* auxinjellegű hormonokat is előállít, ami a gyökér fejlődését serkenti, ezen keresztül segíti a növényt a tápelemek felvételében. Javítja a növény stressztűrését. Indukált rezisztencián keresztül fokozza a növény védekezőképességét (Hermosa et al. 2012). Kenganal et al. (2017) Indiában két antagonista mikroorganizmus (*Trichoderma viride*, *Pseudomonas fluorescens*) biológiai védekezésben való alkalmasságát vizsgálták olyan kukorica-táblában, ahol a megelőző két évben súlyos fuzáriumos szártőkorhadás (*F.moniliforme*, syn. *F. verticillioides*) lépett fel. A leghatékonyabb védelmet a *Trichoderma* + *Pseudomonas*-preparátummal végzett kombinált vetőmagkezelés (5 g/kg) adta, melyet talajkezeléssel egészítettek ki (2,5 kg preparátum kijuttatása 250 kg szervestrágyával hektáronként). Ebben a kezelésben a szártőkorhadás mértéke két év átlagában 7,1 % volt, szemben a kezeletlen kontroll 36,6 %-os fertőzöttségével. A biopreparátumos kezelés a fungicides vetőmag-csávázásnál (mankoceb + karbendazim ill. TMTD) is szignifikánsan nagyobb védelmet biztosított. A szerzők szerint az általuk alkalmazott biológiai védekezés nemcsak környezetbarát, de gazdaságos is.

Nayaka et al. (2009) a kukorica gyökérszónájából izolált *Pseudomonas fluorescens* baktériumfaj antagonista hatását vizsgálta a *F. verticillioides* okozta megbetegedéssel és fumonizin-felhalmozódással szemben *in vitro* és szántóföldi kísérletekben. Szántóföldön a magkezelés és az állomány-permetezés eredményeként nagyobb vigort és a növények erőteljesebb növekedését tapasztalták. A szerzők megállapították, hogy a módszer elsősorban a kukoricamagvak fumoniszennyezettségének mérséklésére alkalmas.

Bacon et al. (2008) és Cavaglieri et al. (2005) vizsgálatai alapján a *Bacillus subtilis* nemcsak megakadályozta, hogy a *F. verticillioides* megfertőzze a növényt, hanem a

fumonizinek mennyiségét is csökkentette, még a kórokozó fertőzéséhez kedvező száraz körülmények között is.

Mexikóban ugyancsak a kukorica gyökérszónájából izolált három *Bacillus*-faj vizsgálata során, köztük a *Bacillus cereus sensu lato* (B 25) esetében mutattak ki antagonista aktivitást a *F. verticillioides*-szel szemben. Az üvegházi tenyészedényes kísérletben alkalmazott baktériumtörzs csökkentette a *F. verticillioides* okozta megbetegedés gyakoriságát és súlyosságát egyaránt (Figueroa-López et al. 2016).

### 3.3.4. Rezisztencianemesítés

A növény rezisztencia esetén a megbetegedés kialakulására kedvező környezeti tényezők között, a fertőzőképes kórokozó jelenlétében sem fertőződik meg egyáltalán vagy legalábbis nem jelentős mértékben. A fogékonyágnak különböző fokozatai vannak. Összehasonlítva több fajtát a fertőzőtség mértéke alapján különböző mértékű fogékonyág tapasztalható. Kevésbé fogékonyfajta kémiai védelme is eredményesebb, mint a fogékonyé (Podhradszky, 1965, Hinfner, 1969), amit a betegségek agrotechnikai eszközökkel való gátlása révén még tovább fokozhatunk. A rezisztens, illetve jó ellenállósággal, kismértékű fogékonyággal rendelkező fajták használata bizonyos gazda-parazita kapcsolatban az egyetlen védekezési mód, ha nem áll rendelkezésünkre hatékony kémiai védekezési lehetőség. Az ellenálló vagy kevésbé fogékony fajták alkalmazása a leghatékonyabb megelőzés a járványok kialakulásában, illetve a terjedés megakadályozásában (Békési 2001). A kevesebb vegyszerhasználat a környezetszennyezés csökkentését is elősegíti. A környezetterhelés mérséklése mellett gazdasági szempontból is fontos szerepet játszik a kémiai védelem számának a csökkentése. Az integrált növényvédelemben a nagyfokú szántóföldi rezisztenciát hordozó hibridek használata egyike a legfontosabb védekezési módoknak (Vasileiadis et al. 2011, Zijlstra et al. 2011).

A rezisztens fajták termesztése a legköltséghatékonyabb módja a csőpenészedés okozta károk csökkentésének (Chen et al. 2012). Világszerte nagy figyelmet fordítanak a fuzáriumos betegséggel szembeni ellenállóságra való nemesítésre. A fuzáriumos betegségformákkal szembeni ellenállóság mennyiségi jellegű, poligén szabályozású tulajdonság (Wisser et al. 2006). A nemesítési munka felgyorsítása és hatékonyságának növelése a rezisztenciáért felelős, ún. mennyiségit tulajdonság-lókuszok (QTL, quantitative trait locus) feltérképezésével (QTL mapping) folyik (Septiani et al. 2019). Számos, a csőpenészedés-rezisztenciával kapcsolatos QTL

azonosításáról számoltak már be világszerte, melyek kisebb-nagyobb hatásokkal bírnak (Robertson-Hoyt et al. 2006; Zila et al. 2014). A kiterjedt rezisztencianemesítési programok ellenére teljes ellenállóságot ezidáig nem tudtak kialakítani (Lanubile et al. 2011). A rezisztenciáért felelős QTL-ek viszonylagosan kis hatékonyságán kívül az is kedvezőtlen körülmény, hogy a potenciális rezisztencia-források jellemzően régebbi vagy egzotikus genotípusok, melyek nemkívánatos agronómiai tulajdonságokat is hordoznak (Pérez-Brito et al. 2001, Clements és White 2004).

Presello et al. (2006) olyan rezisztenciaforrásokat azonosítottak, melyek nagyon jó ellenállóságot mutattak a *F. graminearum* és a *F. verticillioides* fajokkal szemben is. Löffler et al. (2011) szoros összefüggést talált a simaszemű és lófogú szemtípusú kukoricák fenotípusos és genotípusos rezisztenciájában. Szőke et al. (2013) meghatározták a természetes és mesterséges fertőzés közötti kapcsolatot is. Eredményeik szerint a két tényező közötti kapcsolat a penészgyakorosság esetében ( $r=0,49$ ) közepes, míg a borítottság esetében ( $r=0,14$ ) nagyon laza. Megállapították, hogy a csőpenész elleni nemesítés mesterséges fertőzés nélkül elképzelhetetlen. Vizsgálták a kukorica hibridek ellenálló képességének összefüggéseit a *F. graminearum*-mal és a *F. verticillioides*-szel szemben. A vizsgált kórokozókkal szembeni ellenállóság között nem találtak szoros összefüggést ( $r=0,17$ ).

Small et al. (2012) Dél-Afrikában 24 különböző genetikai háttérű beltenyésztett vonal ellenállóságát értékelték az *F. verticillioides* okozta csőpenészedéssel és fumonizin-felhalmozódással szemben, szántóföldi természetes fertőzés nyomán és üvegházi inokulációt alkalmazva. Nagyfokú szántóföldi rezisztenciát nem tudtak igazolni a vizsgált vonalakban, de 5 vonal következetesen mérsékelt megbetegedést mutatott a szántóföldi és üvegházi kísérletekben egyaránt. Közülük 2 vonalnál konzekvensen alacsony fumonizin-szennyezettséget mértek. Ez utóbbiak ígéretes rezisztenciaforrásként hasznosíthatók a kukorica rezisztencianemesítési programokban. Az üvegházi mesterséges fertőzésből és a szántóföldi természetes fertőzésből kapott adatok között összefüggést igazoltak.

Lengyel kutatók 98 kukorica beltenyésztett vonal *F. verticillioides* okozta csőpenész-ellenállósága és fumonizin-felhalmozása közötti összefüggést vizsgálták kétéves, szántóföldi inokulációs kísérletben. Jelentős különbségeket állapítottak meg a megbetegedés súlyosságában, mind a természetes fertőzés mellett, mind az

inokulációt követően, mindkét vizsgálati évben. Szoros összefüggést igazoltak a termésminták fumonizin B1, B2 és B3 szennyezettsége és a csőpenészedés súlyossága között (Czembor et al. 2019).

Olaszországban 46 korai érésű olasz, amerikai és kanadai eredetű kukoricahibrid szántóföldi rezisztenciáját és toxin-szennyezettségét vizsgálták a *F. verticillioides* és az *Aspergillus flavus* okozta csőpenészedéssel szemben 2 éves szántóföldi inokulációs kísérletben. Hét hibridnél mutattak ki kielégítő mértékű szántóföldi ellenállóságot mindkét betegséggel szemben, közülük három hibrid esetében (PC 8, PC 11 és PC 14) alacsony toxin-szennyezettséget (fumonizin B1+ B2+B3, aflatoxin B1+B2+G1+G2) is mértek. Eredményeik alapján a három értékes genotípust rezisztenciaforrásként ajánlják a nemesítési programokba (Stagnati et al. 2020).

A Nemzetközi Trópusi Mezőgazdasági Intézet (Nigéria) nemesítési programjában 50 beltenyésztett vonal és 4 kontroll genotípus *F. verticillioides*-szel szembeni rezisztenciáját vizsgálták 2003-2004-ben szántóföldi kísérletekben, 2 agroökológiai zónában mesterséges, illetve természetes fertőzés mellett. Négy beltenyésztett vonal (O2C14609, O2C14643, O2C14654, O2C14678) mutatott szántóföldi rezisztenciát a szártőkorhadással szemben mindkét vizsgálati évben és kísérleti helyen. Ugyanakkor a kontroll genotípusok fogékonynak, illetve mérsékelt fogékonynak bizonyultak (Afolabi et al. 2008).

Indiában 50 beltenyésztett kukoricavonal fuzáriumos szártőkorhadással (*F. verticillioides*) szembeni ellenállóságát vizsgálták szántóföldi inokulációs kísérletben. A vizsgált genotípusokból 14 beltenyésztett vonalnál regisztráltak megfelelő szintű szántóföldi rezisztenciát, 4 vonal fogékonynak, 3 vonal nagyon fogékonynak bizonyult (Tabassum et al, 2020).

A terméshéj tulajdonságainak szerepét is vizsgálták is a csőpenészedés-ellenállóságban. Ivić et al. (2009) nem találtak összefüggést a terméshéj vastagsága és az ellenálló képesség között. Sampietro et al. (2009) 11 kukorica-genotípusban vizsgálták a maghéj fenilpropanoid-tartalmának, mint potenciális rezisztenciafaktornak a hatását a *F. verticillioides* okozta fertőzéssel szemben. A szerzők szerint a maghéj magas fenilpropanoid-tartalma mérsékli a *F. verticillioides* által kiváltott megbetegedés súlyosságát és a fumonizin-felhalmozódás mértékét is. A fenilpropanoidok fontos sejtfalalkotóként szerepet játszanak az erős UV-

sugárzással, valamint egyes kórokozókkal és állati kártevőkkel szembeni védelemben. Hoenisch és Davis (1994) összefüggést figyeltek meg a nagyobb perikarpium-vastagság és a rezisztencia között. Úgy vélték, hogy a vastagabb perikarpium akadályozza a rovarok táplálkozását, ezáltal csökkenti a fuzáriumos fertőződés kockázatát. Ígéretes fejlesztésnek találták a maghéj-perikarpium fenolos vegyületekkel dúsítását (Pilu et al. 2011; Sampietro et al. 2013). Rodriguez et al. (2013) úgy vélték, hogy a kukorica perikarpiumában található flavonoidok antioxidáns hatásúak. Venturini et al. (2016) vizsgálták a flavonoidok szerepét a fumonizin-felhalmozódásának a csökkentésében. Bár önmagukban nem elegendők a fumonizin szennyezéssel szembeni ellenálló képesség nemesítésére, érdemes tovább vizsgálni a kukorica egyéb pigmentálsággal kapcsolatos tulajdonságait (Venturini et al. 2015). Morales et al. (2019) összefüggést találtak a csövek morfológiája és a szemsűrűség, valamint a *F. verticillioides* okozta fertőzés és a fumonizin-felhalmozódás között: vizsgálataik alapján az alacsonyabb szemsűrűségű és nagyobb csöveket növesztő genotípusok fogékonyabbnak bizonyultak a fertőzésre és fumonizin-felhalmozódásra. A szerzők 23 új, a *F. verticillioides*-rezisztenciához kapcsolódó QTL-t azonosítottak.

A poliaminok (PA) minden élősejtben előforduló alifás aminok. Meghatározó szerepük van a növények fejlődésében és életműködéseinek szabályozásában, továbbá a stressz elleni válaszreakciók kialakításában (Hasanuzzam et al, 2019; Wang et al, 2019). Abiotikus stresszek során számos tanulmány számolt már be a poliaminok védő szerepéről kukoricában (Jiménez-Bremont et al. 2007; Gill and Tuteja 2010; Yu et al., 2019; Ramazan et al. 2022). A biotikus stressz kezelésében betöltött szerepét is igazolták különböző növényfajoknál (Harris et al. 2016; Majumdar et al. 2019). Ugyanakkor a biotróf és a nekrotrof kórokozók által kiváltott PA metabolizmusban tapasztalt különbség is ismertek (Pál and Janda 2017). Bizonyított, hogy a növényi kórokozókkal szembeni sikeres immunválaszokat különböző növényi hormonok szabályozzák, többek között a szalicilsav (SA). Az endogén SA tartalom változásairól, valamint a külsőleg adagolt SA védőhatásáról több kórokozóval történő fertőzés során is beszámoltak (Szőke 2011; Qi et al. 2012; Ding et al. 2018; Radojicic et al. 2018; Linxuan et al. 2022), így a *Fusarium* esetében is.

### **3.4. Az állami fajtaelismerés vizsgálatai**

#### **3.4.1. Gazdaságiérték-vizsgálat**

A gazdaságiérték-vizsgálatok során történik a fajtajelölt termőképességének és más jelentős gazdasági tulajdonságainak (pl.: tenyészidő, szárszilárdság, beltartalmi mutatók stb.) mérése. A teljesítménykísérleteket legalább 7-8 helyen állítják be 2-3 éven keresztül, majd értékelik az eredményeket a Fajtakísérleti módszertan alapján. Az értékelés szántóföldi adatok, valamint laboratóriumi vizsgálati adatok alapján történik. Az előírt jellegű és számú ellenőrzés és vizsgálat során megfelelő eredményeket mutató fajtajelöltek kaphatnak fajtaelismerésre előterjesztési javaslatot. A kukorica állami elismerésének szempontjai: a termőképesség, a tenyészidő, a szárszilárdsági hiba és a növénykórtani érték. A fajtajelölt pozitív javaslattal kerül előterjesztésre, amennyiben a vizsgálati időszak alatti termése eléri vagy meghaladja a standard átlagot; továbbá ha a tenyészideje (a vizsgálati időszakban megállapított FAO száma) a vizsgálati tenyészidő csoportot határoló, tenyészidőt jellemző értékek közé esik, vagy az átfutó tenyészidő standardok FAO számán nem esik kívül. Előnyös továbbá, ha a szárszilárdsági hibája nem haladja meg a standardok átlagának 200%-t és abszolút értékben legfeljebb 10%. A kötelezően felvételezett betegségek (fuzáriumos csőpenészedés és fuzáriumos szártőkorhadás) közül a vizsgálati évek átlaga alapján egyikre sem lehet nagymértékben fogékony (5), vagy mindkettőre közepesnél fogékonyabb (4) (Csapó 2017).

#### **3.4.2. Rezisztenciavizsgálatok**

##### **3.4.2.1. Fajtavizsgálatok rezisztenciatesztjei Magyarországon**

A betegség-ellenállóság a gazdasági értékmérő tulajdonságok speciális csoportját képezi. A rezisztenciavizsgálatok célja a növényfajták kórokozók iránti magatartásának megállapítása, hogy egy növényfajta az adott betegséggel szemben ellenálló vagy fogékony, illetve a fogékonyság mértékének a meghatározása (Békési 2001). A fogékonyági különbségek alapján fogékonyági kategóriákba lehet sorolni a fajtákat (rezisztens, mérsékelten fogékony, közepesen fogékony, közepesnél fogékonyabb, nagyon fogékony) (Békési 2019).

A növényfajták betegségekkel szembeni ellenállóságát alapvetően két kísérleti típusban vizsgálják a fajtakísérletek során: teljesítményvizsgálati kísérletekben, illetve provokációs kísérletekben. A teljesítményvizsgálati kísérletekben a kórokozók

spontán megjelenését vizsgálják. Ezek a kísérletek az ország több termőhelyén vannak beállítva, különböző időjárási körülmények között, ezért az egyes kísérletekben a kórokozók, eltérő fertőzöttségi nyomás mellett fordulnak elő. Arra nincs garancia, hogy egy növényfaj legfontosabb kórokozói minden évben természetes úton fellépnek, ezért a legfontosabb gazda-parazita kapcsolatokban provokációs kísérletek beállításával kell gondoskodni arról, hogy a szükséges inokulum a rendelkezésre álljon minden évben (Békési 1992).

A fajtakísérletek során a kukorica esetében többféle provokációs módszert alkalmaznak, kukorica vonatkozásában a monokultúrának és az öntözésnek van jelentősége. A monokultúras termesztés során a kórokozó életképes szaporítóképletei akkumulálódnak a talajban vagy az előző évi növényi maradványokon áttelelnak. Röjtökmuzsajon 63 éves monokultúrában állítják be a kukorica fajtakísérletet, Szarvason pedig 8 éves monokultúrában, annak érdekében, hogy a talajban biztosítva legyen a fertőzés kiindulásához szükséges mennyiségű inokulum. Nem alkalmaznak a fajtaelismerés rezisztenciavizsgálatai során olyan provokációs módszert, mint a fogvájós módszer, ami seb ejtésével jár a növényen, abból az okból kiindulva, hogy a fajtajelölt ellenállóságát okozhatja a szilárdabb szövet az epidermisz vastagságából adódóan, vagy a felület viaszossága (Czibulyás et al. 2017).

A fertőzöttség értékelésekor a tünetes növények darabszázalékának felvételezése során minden egyes vizsgált növényről megállapítják, hogy fertőzött-e, így meghatározzák a fertőzöttség gyakoriságát. Ez a módszer objektív, azonban hátránya, hogy nem veszi figyelembe az egyes egyedeken létrejött fertőzöttség mértékét, azaz a megbetegedés súlyosságát. A kukorica fuzáriumos csőpenészedésének felvételezése során bonitálási skála alapján meghatározzák a csőpenészbtoritottságát, ezáltal a fertőzöttség mértékét. A fajtakísérletek felvételezési módszerének a kiválasztásánál fontos szempont, hogy gyors legyen, mert nagy fajtaszámú kísérletek a jellemezőek, illetve hogy megbízható legyen. A fajták közötti fogékonyságbeli különbségek megállapítása a célja a vizsgálatoknak (Ruga-Kovács és Czibulyás 2017).

#### **3.4.2.2. Fajtavizsgálatok rezisztenciatesztjei az EU-ban**

A gazdasági érték vizsgálatának módszertana az EU tagországi között eltérő lehet. A kötelezően és esetleges fellépés esetén vizsgálandó kórokozók listáját

meghatározza az adott országban fellépő kórokozók jelentősége. Cadot (2015) felmérést készített az EU tagországi rezisztenciavizsgálatairól, melyben 15 tagország (Ausztria, Belgium, Bulgária, Horvátország, Csehország, Dánia, Észtország, Franciaország, Németország, Magyarország, Litvánia, Moldova, Lengyelország, Szlovákia és Svájc) válaszait gyűjtötte össze a kukoricát illetően. A megkérdezett tagországok közül kiemelt jelentősége van a *F. verticillioides* és *F. graminearum* fertőzésének Magyarország mellett Bulgáriában is, továbbá közepes jelentőséget tulajdonítanak a kórokozóknak Ausztriában, Belgiumban, Horvátországban és Franciaországban. A fajtaelismerés során az összes fajtajelölt fuzáriumos szárcorhadással szembeni ellenállóságát a megkérdezett tagországok többségében kötelezően vizsgálják, Csehország és Észtország kivételével. 11 tagországban a fajtaelismerés egyik feltétele a megfelelő ellenállóság igazolása a fuzáriumos szártőkorhadással szemben. Giulini (2021) hasonló felmérést készített 15 tagország válasza alapján, melyből kiderül, hogy 10 tagország vizsgálja a *Fusarium* fajokkal szembeni ellenállóságot a fajtaelismerés során. Jelenleg egyetlen tagországban (Dániában) alapozzák az eredményeiket toxinmérésre. A legtöbb országban (6) a természetes fertőzöttségre alapozzák a vizsgálataikat. Schürch (2016) 3 év alatt vizsgálta a fajtaelismerés metodikájának a fejlesztési lehetőségét a mesterséges csőfertőzöttségre alapozott értékeléssel, mely évjáráttól függetlenül megbízható eredményeket nyújtott ahhoz, hogy nagyon fogékony, közepesen fogékony és kevésbé fogékony fajtákat megkülönböztessen.

### **3.5. Inokulációs módszerek csőpenészedés és szártőkorhadás vizsgálatra**

#### **3.5.1. Csőpenészedés**

A legrégebbi fogvájós fertőzéses módszert Young (1943) dolgozta ki. Ezt a módszert fejlesztette tovább Mesterházy (1982, 1983). Az inokulumot tartalmazó fogvájót a cső közepébe vagy a bibecsatornába szúrják (Reid és Hamilton 1996, Plienegger et al. 2002). Másik fertőzési módszer a bibecsatorna szuszpenziós fertőzése. Clements et al. (2003) és Bush et al. (2004) szerint a csuhélevél alá juttatott konidiumszuszpenzió a leghatékonyabb módszer. Azonban Mesterházy et al. (2020) vizsgálataik alapján a csőközepi fogvájós fertőzési módszerrel szignifikánsan magasabb fertőzöttséget tapasztaltak, mint a bibecsatornás szuszpenziós fertőzés esetében. A természetes fertőzöttségek fajmeghatározása során azt tapasztalták (Dorn et al. 2009, Jiang et al. 2018), hogy több faj együttesen vesz részt a fertőzöttség kialakulásában. Összhangban ezzel Zhang et al. (2012) és Duan et al. (2016)



véleménye szerint az egy fajjal történő mesterséges fertőzéses vizsgálatok eredményei nem elegendőek, annál még megbízhatóbb eredményt ad a természetes fertőzöttség felvételezése is (Jiang et al. 2018). Mesterházy et al. (2012) fontosnak tartja több faj különböző patogenitású izolátumaival végezni a mesterséges fertőzéses vizsgálatokat. A *Fusarium* fajok közötti patogenitás és agresszivitás mértéke egy fajon belül is igen változó. A *F. graminearum* és *F. culmorum* izolátumai általában rendkívül agresszívek. A *F. verticillioides* és a többi *Fusarium*. spp. általában kevésbé agresszívek (Mesterházy et al. 2012). A különböző fajok és izolátumaik megbetegítőképességének az ismerete fontos a mesterséges fertőzés fertőzőanyagának a kiválasztása során (Iglesias et al. 2010, Miedaner et al. 2010). Búzából izolált *F. graminearum* és a *F. culmorum* fajok esetében jelentős agresszivitás és DON-termelő képességbeli különbséget találtak az izolátumok és izoláció éve között (Mesterházy 1983, 1995, 2002, Mesterházy et al. 1999).

### 3.5.2. Szártőkorhadás

A kukoricaszár mesterséges fertőzése kevésbé elterjedt, mint a csöveké. A csőfertőzés során is alkalmazott fogvájós (Young, 1943) és injektálós módszert használják a leggyakrabban a szártőfertőzés során is, mivel egyszerű és költséghatékony (Todd és Kommedahl 1994, Tesso et al. 2004). Yang et al. (2010) nem találta megbízhatónak a fogvájós és szárinjektálós fertőzési módszereket, melyekkel az oltóanyagot közvetlenül a növénybe juttatták. Ezek ugyanis eltérnek a természetes fertőzési útvonaltól, melynek során a kórokozó a gyökerekbe hatol és a gyökéren keresztül jut a szárba. Talajinokulációs módszert alkalmaztak vizsgálataik során, mely a természetes fertőzés útját jobban szimulálja. Bár munkaigényes a nagy mennyiségű oltóanyag előkészítése és az oltás elvégzése, az eredmények megbízhatónak bizonyultak (Li et al. 2001). Santiago et al. (2009) injektálásos fertőzési módszert alkalmazva jelentős különbségeket tapasztaltak a hibridek szártőkorhadás-fogékonysága között. A mesterséges fertőzés a betegség súlyosságában nagyobb eltéréseket eredményez a természetes fertőzéssel szemben, ami megkönnyíti a rezisztens genotípusok szelekcióját (Ledenčan et al. 2003). Rezisztenciaforrás kutatása során Afolabi et al. (2008) azonosítottak jó ellenálló képességgel rendelkező beltenyésztett vonalakat, természetes és mesterséges fertőzéses vizsgálatokban. A mesterséges fertőzések eredményei jellemzően jól korrelálnak a természetes fertőzöttség értékeivel (Hooker 1956, Ledenčan et al. 2003, Palaversic et al. 2004, Palaversic et al. 2007). Sprague (1954) megállapította, hogy a

mesterséges fertőzési módszereknek köszönhetően az iowai kukoricanemesítési programban jelentős haladást értek el a szárkorhadással szembeni ellenállóság javításában.

## 4. ANYAG ÉS MÓDSZER

### 4.1. Természetes fertőzöttségű szántóföldi kísérletek

#### 4.1.1. A vizsgált hibridek

A kísérlet értékelése során a 2014-2016-ban állami elismerésre bejelentett hibridek és standardok eredményeit használtuk fel. Az évjárat, hely és éréscsoport hatásának a vizsgálata során az összes vizsgált hibrid fertőzöttségi értéke alapján végeztünk statisztikai elemzéseket. A vizsgált években különbözik a kukorica fajtakísérletben szereplő hibridek száma, mert évről évre új bejelentések, elismerések, visszavonások történtek (4. táblázat). A vizsgált évek mintaszáma ezért eltérő.

4. táblázat: A kísérletben szereplő hibridek száma éréscsoportonként a vizsgálat éveiben (2014-2016, 2017, 2020)

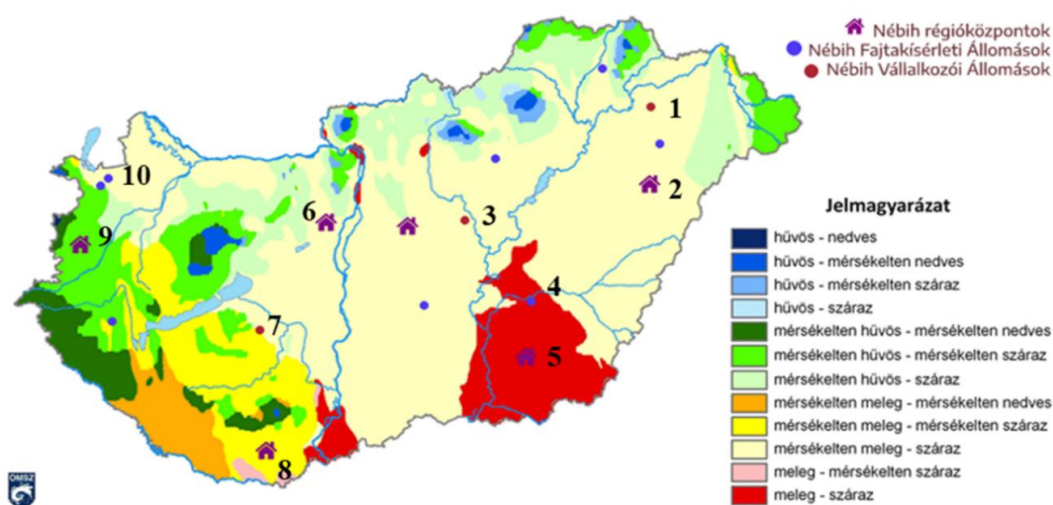
FAO éréscsoport/Év	2014	2015	2016	2017	2020
FAO 180-239	11	10	10	10	14
FAO 240-199	35	23	36	30	14
FAO 300-399	112	107	91	93	96
FAO 400-499	42	45	24	25	36
FAO 500-599	10	13	11	13	6
Összesen	210	198	172	171	166

A hibridek közötti fogékonyságbeli különbségek vizsgálata során a 2014-2016 között mindhárom évben kísérletben szereplő standardokra és fajtajelöltekre szűkítettük az elemzést. 2014-2016 között 19 hibridet vizsgáltunk, melyek különböző nemesítőházak bejelentései. A hibridek öt éréscsoportba sorolhatóak: szuper korai 3 db, igen korai 5 db, korai 4 db, középérésű 4 db, késői 3 db.

#### 4.1.2. A kísérlet helye, ideje és agrotechnikája

A vizsgálat helyeit a Nébih Fajtakísérleti Állomásai közül választottuk ki (5. táblázat). A Fajtakísérleti Állomások az ország eltérő éghajlati adottságú területein találhatóak, köztük a magyarországi kukoricatermesztés szempontjából

fontos régiókban is (5. ábra). A vizsgálatainkat a 2014-2016-os év adatai alapján végeztük. A környezeti tényezők hatását elemző előrejelző modell adatait kiegészítettük a 2017-es és 2020-as év eredményeivel is.



5. ábra: A Nébih vizsgálatba vont Fajtakísérleti Állomásainak éghajlati adottságai:  
 1: Gyulatanya, 2: Debrecen, 3: Jászboldogháza, 4: Szarvas, 5: Székkutas, 6: Tordas, 7: Iregszemcse, 8: Eszterágpusztá, 9: Szombathely, 10: Röjtökmuzsaj  
 (Pécze György, 2021)

5. táblázat: A kísérleti helyek listája („+” = vizsgálati hely „-”= nem történt felvételezés) a vizsgálat éveiben (2014-2016, 2017, 2020)

Kísérleti hely	csöpenészedés					szártókorhadás				
	2014	2015	2016	2017	2020	2014	2015	2016	2017	2020
Abaujszántó	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-
Debrecen	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-
Eszterágpusztá	+	+	-	-	+	+	+	-	-	+
Gyulatanya	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+
Iregszemcse	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Jászboldogháza	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-
Kaposvár	+	-	-	+	-	+	+	-	+	-
Röjtökmuzsaj	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+
Szarvas	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+
Székkutas	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
Szombathely	+	-	+	+	+	+	+	-	+	-
Tordas	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-

A kísérleti parcellák 1 sorosak voltak. A sor 920 cm hosszúságú, a sortáv 70 cm, míg a tőtáv a szuperkorai éréscsoportnál 19 cm, az igen korai – korai éréscsoportoknál 21 cm, középérésű és kései csoportoknál 24 cm. A kísérlet vetése minden helyen és évjáratban április 14. és május 9. között szemenként vető vetőgéppel történt (6. táblázat).

A termőhelyeken a talaj-előkészítés azonos volt: őszi mélyszántást követően tavasszal tárcsás magágy-előkészítés. Az elővetemény – Szarvas és Röjtökmuzsaj kivételével – minden helyen és minden évjáratban más-más volt (7. táblázat). Szarvason 2 éves, míg Röjtökmuzsajon több mint 60 éves monokultúrás kísérletben történik a fajtajelöltek vizsgálata. A tápanyag-utánpótlás talajvizsgálatra alapozva történt, 10 t/ha termésre számított (120:60:120) N:P:K arány alapján, korrigálva az előveteményhatással (M-I.táblázat). A vegyszeres gyomirtást és az állati kártevők elleni védekezést az engedélyezett kukorica gyomirtó- és rovarölő szerek jegyzékének megfelelően hajtottuk végre a (M-II. táblázat). Gombabetegségek ellen egyik kísérleti helyen sem történt védekezés. A szarvasi monokultúrás kísérletben az öntözés 2 hetes fordulóval 20 mm kijuttatásával történt, a vegetációs időszakban átlagosan összesen 200-280 mm vízzel.

6. táblázat: A kísérleti helyek vetésideje (2014-2016) (\*= nem történt felvételezés)

Vizsgálati év	2014	2015	2016
Kísérleti hely	Vetésidő		
Szombathely	2014.04.28-29.	2015.04.23	2016.04. 22-23.
Kaposvár	2014.04.23	2015.04.25	*
Iregszemcse	2014.04. 29-30.	2015.04.25-27.	2016.04.24-26.
Eszterágpusztá	2014.05.09	2015.04.30	*
Székkutas	2014.04.23	2015.04.22-23.	2016.04.22
Jászboldogháza	2014.04.14-19.	2015.04.24-30.	*
Debrecen	2014.04.24-26.	2015.04.24-27.	2016.04.26-27.
Gyulatanya	2014.04.26-29.	2015.04.30	2016.04.29
Abaújszántó	2014.04.05	2015.05.05-07.	*

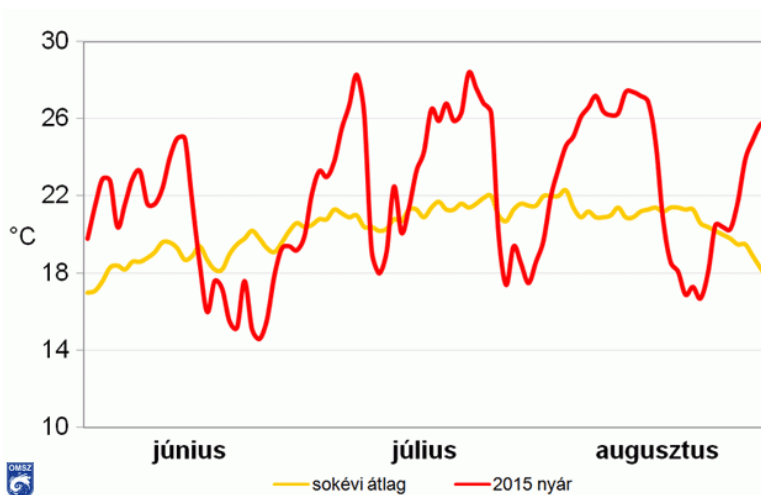
Tordas	*	*	2016.05.05-09.
Röjtökmuzsaj	2014.05.07	2015.05.11.	2016.05.06
Szarvas	*	2015.05.04.	2016.04.28.

7. táblázat: A vizsgált évek kísérleteinek előveteményei termőhelyenként (2014-2016, 2017, 2020) (\*= nem történt felvételezés)

Kísérleti hely	Év				
	2014	2015	2016	2017	2020
Debrecen	őszi búza	őszi búza	őszi búza	őszi búza	*
Gyulatanya	őszi búza	őszi búza	burgonya	burgonya	őszi búza
Iregszemcse	őszi búza	őszi búza	repce	repce	repce
Röjtökmuzsaj	kukorica	kukorica	kukorica	kukorica	kukorica
Székkutas	őszi búza	őszi búza	őszi búza	őszi búza	őszi búza
Szombathely	őszi búza	őszi búza	őszi búza	szója	szója
Abaújszántó	őszi búza	őszi búza	*	*	őszi búza
Eszterágpusztá	mustár	szója	*	*	szója
Jászboldogháza	őszi búza	őszi búza	*	*	őszi búza
Kaposvár	repce	repce	*	repce	*
Szarvas	*	őszi búza	kukorica	kukorica	kukorica
Tordas	*	*	őszi búza	*	*

### 4.1.3. Meteorológiai adatok

2014-ben a tavasz országos átlagban meleg volt. A nyár kezdetben száraz, de a termékenyülés és a beépülés időszakában nagy mennyiségű csapadék hullott. A 2015-ös év vegetációs idejére rendkívüli meleg és szárazság volt jellemző (6. ábra). A 2015. évi nyár volt 1901 óta a 4. legmelegebb nyár. Súlyos aszályhelyzet alakult ki a meleg és a csapadékhiány miatt. A nyári csapadékösszeg a szokásos mennyiség mindössze kétharmada volt, gyakori hőhullámok mellett. 41 hőségnapot ( $T_{\max} > 30$  °C) és 13 forró napot ( $T_{\max} > 35$  °C) regisztráltak az országban. A virágzáskori hőség termékenyülési hibákat okozott, továbbá az aszályos idő miatt szennelítődési problémákat is tapasztaltunk. A meleg, aszályos időjárás miatt korán kezdődött a kukorica felszáradása. 2016-ban az átlagosnál melegebb és szárazabb tavaszt a megszokottnál hűvösebb és csapadékosabb nyárelő követte. A nyár meleg, csapadékos időjárással folytatódott. 2015-ben a júliusi csapadék minden kísérleti helyen kevesebb volt, mint 2014-ben és 2016-ban (8. táblázat).



6. ábra: A 2015. év és a sokéves átlag nyári középhőmérséklet-adatai  
(Forrás: OMSZ 2021)

8. táblázat: A vizsgált évek csapadékjellemzői (mm) 2014-2016, 2017, 2020, 2021,2022

Hónap/Hely	2014	2015	2016	2017	2014	2015	2016	2017	2020	2014	2015	2016	2017	2020	2014	2015	2020
	Debrecen				Gyulatanya					Iregszemcse					Abaújszántó		
Április	26,4	20,4	8,7	44	25	14,0	10	48	4,1	55,5	9,3	23,7	39,8	7,3	106	17,0	6,5
Május	79,6	38,1	49,7	21,5	92	54,0	39	61	38,4	60,3	130,8	72,9	45,04	36,7	71	73,0	25
Június	26,8	33,3	140,1	62,7	27	26,0	56	80	175,1	46	56,7	21,2	64,9	102	20	32,0	161
Július	67,1	35,3	99	64,9	139	41,0	93	59	70,2	97,8	36,0	87,8	84	41	122	21,0	55
Augusztus	67,7	70,7	64,9	41,7	51	15,0	36	44	40,1	114,4	47,4	68,9	47,6	66,7	43	74,5	63
Szeptember	62,3	39,6	68	70,7	54	40,5	37	73	72,3	166,2	26,0	46,2	85,8	55,7	88	15,0	41
Hónap/Hely	2014	2015	2016	2017	2020	2014	2015	2016	2017	2020	2014	2015	2020	2014	2015	2017	
	Röjtökmuzsaj					Székkutas				Eszterágpusztá				Kaposvár			
Április	63	21,0	25,3	41,6	10,9	46,4	9,5	16,2	33,8	11,1	82,6	26,1	6,6	53,2	9,4	31,3	
Május	188	122,0	118	38,1	33,3	76,6	68,1	38,9	41,6	21,1	103,1	141,4	53,8	84,5	129,0	80,5	
Június	24,5	16,5	48,8	42,2	87	53,4	24,3	77,7	29,7	189	56,4	31,0	46,8	51,5	64,2	61,8	
Július	108	38,4	81,4	91,6	57	176,1	59,0	125,4	35,6	108,2	113,3	56,1	89,8	71,9	42,1	91,1	
Augusztus	134	92,3	52,7	55,7	78,9	18,5	84,7	23,8	52,6	122,2	101,2	34,5	77,7	184,9	17,6	41,1	
Szeptember	45	40,1	28,2	96,7	63,3	128,5	44,7	43,8	72,8	32,6	113,3	53,8	33,3	100,4	54,8	110,9	
Hónap/Hely	2014	2015	2020	2021	2015	2016	2017	2020	2022	2014	2015	2016	2017	2020	2016		
	Jászboldogháza				Szarvas					Szombathely					Tordas		
Április	30	3,6	7,7	44	16,2	8,9	48,7	12	42,1	60	18,9	29,5	59,6	11,4	30,9		
Május	73,6	30,4	26,9	58,4	53,2	14,4	44,5	43,4	13	96,3	98,4	109,0	74	43,4	93,5		
Június	19,6	39,4	153	11,8	20,8	137,6	58,1	247,6	21,3	41	29,9	69,3	64,3	93,4	63,9		
Július	153,8	18,1	70,9	29,5	24,4	109,4	34,1	92,6	20,8	139,2	71,5	120,1	63,7	96	119,7		
Augusztus	62,8	37,3	31,3	40,7	38,5	48,5	45,1	44,6	33,4	166,4	23,4	71,9	94,9	108,2	46,7		
Szeptember	91,5	64,6	28,4	11,1	50,0	7,7	83,1	26,5	43,2	129	42,3	28,1	128,8	50,5	38,5		



#### 4.1.4. Értékelés

##### 4.1.4.1. A csőpenészedés felvételezése

A csőpenészedés felvételezését éréscsoportonként végeztük akkor, amikor az éréscsoport hibridjei betakarításkori szemnedvessége 20% alatt volt. Az összes növény kifosztott főcsövének fertőzöttségét 0-4-ig terjedő skálaértékekkel jellemeztük (7. ábra). Az összes cső és a fertőzött csövek ismeretében meghatároztuk a fertőzöttségi gyakoriságot, melyet fertőzött db%-ban adunk meg Hinfner és Békési (1971) nyomán. A bonitálás alapján a McKinney (1923) képlet segítségével fertőzöttségi indexet számoltunk, ami a fertőzés mértékét mutatja.

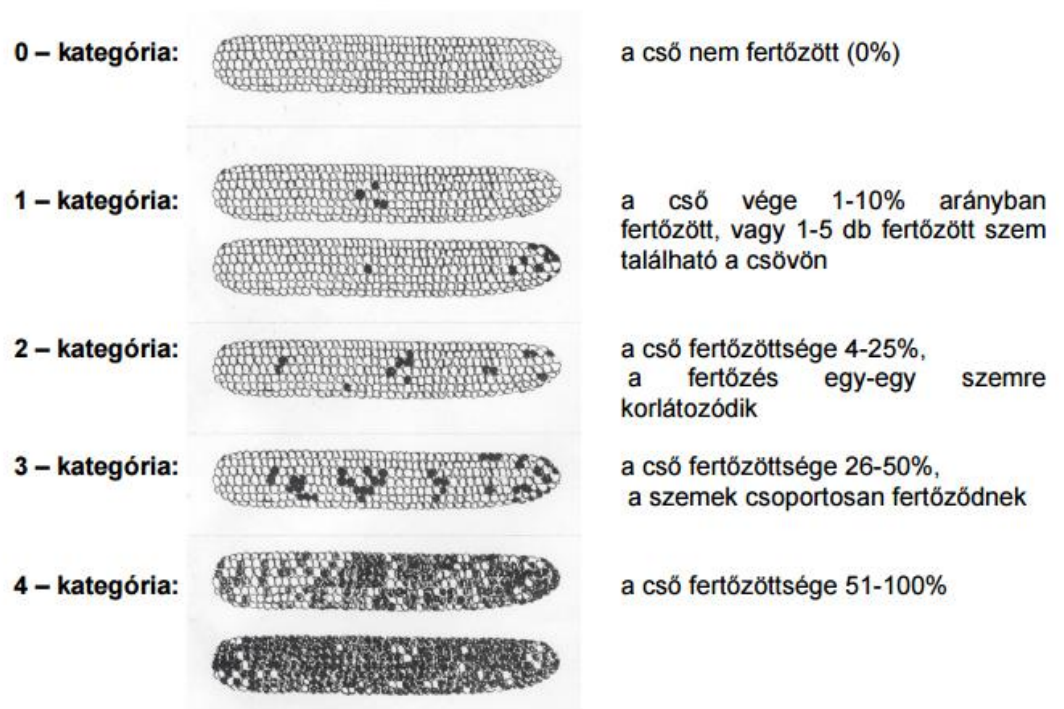
$$I = \Sigma \frac{(n * k)}{N * K}$$

K – az összes cső a parcellán

k – az egyes fertőzöttségi kategóriákhoz tartozó csövek

n – a fertőzöttségi kategória (0-4)

N – a skála fokozat legnagyobb értéke (4)



7. ábra: Bonitálási kategóriák a fuzáriumos csőpenészesedés felvételezéséhez  
(Joszt-Takács et al. 2021)

#### 4.1.4.2. Szárkorhadás felvételezése

A szártőkorhadás értékelését az első sorokban található növények szárának a 2. internódium nyomásvizsgálatával állapítottuk meg kézzel. A puha szárat vizuális tünetek alapján értékeltük, és a fuzáriumos betegséget mutató növények számát feljegyeztük. A szártő- fertőzöttség gyakoriságát az összes tőszám és a beteg tőszám ismeretében db%-ban fejeztük ki (fertőzött db%).

#### 4.1.4.3. Rezisztenciakategória meghatározás

A hibridek rezisztenciakategóriába sorolása a csőpenészesedés esetében a fertőzési index alapján, szártőkorhadás esetében a fertőzöttségi db% alapján történik. A felvételezést minden beállított teljesítménykísérletben elvégezzük, azonban a rezisztenciakategóriába sorolást csak azon kísérletek esetében végezzük el, amelyeknél megfelelő volt a fertőzöttségi nyomás, vagyis legalább egy vizsgált hibrid fertőzöttsége minimum 20 db% volt. A rezisztenciakategóriába sorolás a kísérleti átlag alapján történik érecs csoportonként. Az ellenállóság mértékét a Hinfnér

és Homonnay (1966) által kidolgozott értékelési módszert használva adtuk meg (9. táblázat).

9. táblázat: A rezisztenciakategóriák meghatározása (Hinfner és Homonnay 1966)

Kategória megnevezése		Meghatározás
1	rezisztens	a fertőzöttsége nem haladja meg a kísérleti átlag értékének 25%-át
2	mérsékelt rezisztens	a fertőzöttsége a kísérleti átlag értékének 25,1-75%-a
3	közepesen fogékony	a fertőzöttsége a kísérleti átlag értékének 75,1-125%-a
4	közepesnél fogékonyabb	a fertőzöttsége a kísérleti átlag értékének 125,1-175%-a
5	nagyon fogékony	a fertőzöttsége meghaladja a kísérleti átlag 175%-át.

#### 4.1.5. A gazdasági értékvizsgálat során megfigyelt tulajdonságok

A tenyészidő hosszúságát jellemző FAO szám számolásánál alapfeltételezés, hogy a standardokhoz viszonyított tenyészidő-paraméterek átlaga, valamint a hibridek FAO száma közt lineáris összefüggés van, illetve adott tartományon belül lineáris függvény illesztésével kapott eredmény megfelelő eredményt ad (Marton et al. 2020).

## 4.2. Laboratóriumi vizsgálatok

### 4.2.1. Fajmeghatározás

2015-ben Szombathelyen és Kaposváron gyűjtött szártőkorhadásos szártövekről izoláltuk a kórokozót. A fajszintű meghatározás az ATK Növényvédelmi Intézetének laboratóriumában történt. A szárminták felületét 1%-os NaOCl oldattal

15 percig fertőtlenítettük, majd háromszor mostuk steril vízzel. A légszárazra szárított mintákat burgonya dextróz agarra (Millipore) helyeztük. A kinőtt *Fusarium* telepeket szűrőpapíros SNA (Leslie és Summerell 2006) táptalajon sporuláltattuk. A fajmeghatározás a transzlációs elongációs faktor (EF- 1 $\alpha$ ) szekvenciák alapján történt. Az SNA táptalajon felnevelt tiszta tenyészet micéliumából DNS-t vontunk ki (Quick-DNA Fungal/Bacterial Miniprep Kit, Zymo Research, Orange, CA, USA), és PCR (polimeráz láncreakció) módszerrel felszaporítottuk az elongációs faktort (EF- 1 $\alpha$ ) kódoló DNS egy kb. 700 bázis hosszúságú szakaszát. Minden PCR-t 20  $\mu$ l végső térfogatban végeztünk, amely tartalmazott 1  $\mu$ l (10  $\mu$ M) forward és reverz primert (Sigma-Aldrich GmbH, Sternheim, Németország), 1  $\mu$ l 50 ng/ $\mu$ l DNS-templátot és Phusion Green Hot Start II High-Fidelity PCR Master Mixet (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA). A PCR-ciklusok ideje és hőmérséklete a következő volt: 8 °C 2 percig, majd 38 cikluson keresztül 98°C 5 másodpercig, 60°C 5 másodpercig és 72°C 30 másodpercig, amit egy végső lánchosszabbítás követett 72°C-on 5 percig. A használt primerek a következők voltak: EF1 (ATGGGTAAGGARGACAAGAC) és EF2 (GGARGTACCAGTSATCATG) (O'Donnell et al. 1998). A PCR-termékek szekvenálását az LGC Genomics GmbH (Berlin, Germany) végezte. A kapott kromatogramokat a Staden programcsomag (Staden et al. 2000) eszközeivel javítottuk, majd a szekvenciákat összevetettük az NCBI adatbázis szekvenciáival (BLASTn) (Internet 2)

#### **4.2.2. A toxintartalom meghatározása**

A toxintartalom a Nébih Élelmiszerlánc-biztonsági Laboratórium Igazgatóság akkreditált Analitikai Nemzeti Referencia Laboratóriumában került meghatározásra Evidence Investigator Myco 7 vizsgálattal, mely Randox Biochip alaptechnológiával rendelkezik és rögzített különböző mikotoxinokra specifikus antitesteket tartalmaz. Kompetitív kemilumineszcens ammuoassy-t használ a szűrés során, így egyetlen mintából egyidőben több toxin kvantitatív meghatározására alkalmas.

#### **Minta-előkészítés**

A toxinelemzésre szánt mintákat 2021-ben a jászboldogházi és 2022-ben a szarvasi kísérlet FAO 300-399 érecs csoport standard és másodéves fajtajelöltjeiből (2021-ben 27 hibrid, 2022-ben 22 hibrid) gyűjtöttük. Betakarítás után a kísérlet minden ismétléséből (2021-ben 4 ismétlés, 2022-ben 3 ismétlés) 1 kg-os morzsolt szem

reprezentálta a termést. Ezt 14% szemnedvességig leszárítottuk szárítószekrényben (SLN115 típusú konvekciós labor szárítószekrényben), majd a teljes vizsgálati mintát homogenizáltuk és laboratóriumi malommal (IKA MF 10 basic laboratóriumi malom) finomra őröltük. 5 g homogenizált mintához adtunk 25 ml oldószert (acetonitrát:metanol: desztillált víz 50:40:10 arányban). A kapott oldatot 60 másodpercig vortexeltük és 10 percre a keverőrollerre helyeztük, majd további 10 percen át centrifugáltuk 3000 rpm-en. Tovább hígítottuk hígított mosópuffer oldattal (hígítási faktor 20).

### Kalibráció

Egy kilenc pontos kalibrációt végeztünk a Randox Evidence Investigator Myco 7 kalibrátorral, amely a vizsgálat kalibrációját lefedte.

Használat előtt minden anyag szobahőmérsékletű volt. Az Investigator keverőinkubátor egységgel felszerelt kezelőtálcát a munkafelületre helyeztük, mindegyik hordozót a kezelőtálcába helyeztük ésmpozícióba rögzítettük. Minden minta és reagens hozzáadást, mostást és inkubációt a kezelőtálca segítségével végeztük el és a hordozókat csak az eljárás végső jelzőanyag hozzáadása után a képalkotás fázisában távolítottuk el. A keveőinkubátort használat előtt 30 perccel 25°C-ra melegítettük.

### Protokoll

150 µl hígított mosópuffert pipettáztunk minden biochipre, majd 50 µl kalibrátort is. Rögzítettük a kezelőtálcát a keverőinkubátor alaplapjához és inkubáltuk 30 percig 25 °C-on és 370 rpm-en. 100 µl munka konjugátumot pipettáztunk biochipenként és inkubáltuk további 60 percig 25°C-on és 370 rpm-en. Azonnal elvégeztük a 2 mosóciklust. Hígított mosópuffert tartalmazó mosóüveget használva adtunk 350 µl hígított mosópuffert mindegyik küvettába, majd további 4 mosócilust végeztünk (biochipek a mosópufferben áztak 2 percig). Az utolsó mosás után feltöltöttük a küvettákat a hígított mosópufferrel és ázni hagytuk közvetlenül a képalkotásig (fénytől óvott helyen).

### Képalkotás

A jelző reagens hozzáadása előtt eltávolítottuk a mosópuffert és hozzáadtunk 25 µl munka jelreagenst (torma peroxidáz) mendegyik biochipre, majd lefedtük, 2 perc múlva behelyeztük az Evidence Investigator-ba.

#### Eredményfeldolgozás

Az eredményeket a társított szoftver használatával kerültek felhasználásra. A biochip egyes teszterületeiről kibocsátott fényjel digitális képalkotási technológiával mutatható ki és egy tárolt kalibrációs görbével hasonlítható össze. A mintában jelenlévő analit koncentrációját a kalibrációs görbéből számoltuk ki.

A toxintartalomról a rezisztenciakategóriába sorolás 8. táblázat ismertített számításával a kísérleti toxintartalom átlaga alapján történt.

### **4.3. Szántóföldi mesterséges szárfertőzések**

#### **4.3.1. Kísérlet anyaga**

A mesterséges szárfertőzést 3 különböző genotípuson végeztük. Mindhárom a FAO 300-as éréscsoportba tartozó martonvásári nemesítésű kétvonalas hibrid. A fuzáriumos szártőkorhadásra való fogékonyág tekintetében különböztek: egy fogékony, egy átlagos ellenállóságú és egy jó ellenállósággal rendelkező genotípuson végeztük a kezeléseket.

A mesterséges fertőzésekhez a *F. graminearum* FG36-os (Iregszemcse, 2003; kukoricaszár/ Növényvédelmi Kutatóintézet) és a *F. verticillioides* FV95-ös (Bicsérd, 2004; kukoricaszár/ Növényvédelmi Kutatóintézet) izolátumait használtuk.

Az izolátumokat tartós tenyészetekben tartottuk fent, a monokonídiumos tenyészetet SNA (Spezieller Nährstoffarmer Agar, Leslie és Summerell 2006) táptalajról indítottuk. A két izolátum kiválasztása előzetes, fitotronban elvégzett patogenitási kísérlet alapján történt (Szőke et al. 2009).

#### **4.3.2. Kísérlet helye és agrotechnikája**

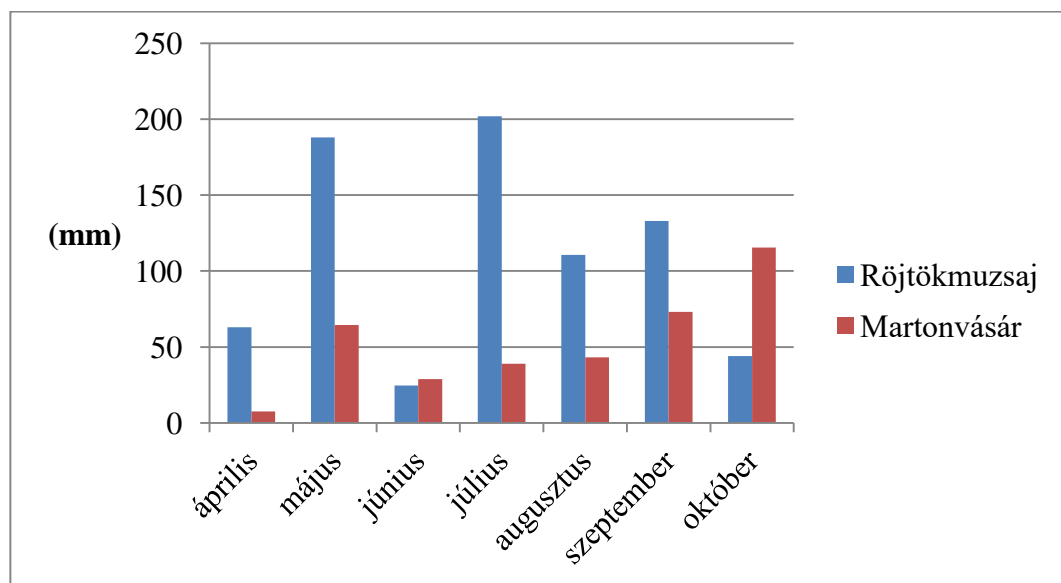
A mesterséges szárfertőzés vizsgálatokat Martonvásáron és Röjtökmuzsajon állítottuk be 2015-ben és 2019-ben. Röjtökmuzsajon. Mindkét helyen és mindkét évben kukorica volt az elővetemény. A betakarítást és a szárazúást követően talajvizsgálatra alapozott 15:15:15 arányú NPK komplex műtrágya lett bedolgozva a talajba. A terület alapművelésként őszi mélyszántást kapott. Tavasszal 50 kg ammónium-nitrát starter műtrágyát dolgoztunk ásóboronával a talajba. A magágyat

kombinátorral készítettük elő. A vetés Martonvásáron kézi vetőpuskával, Röjtökmuzsajon szemenkénti vetőgéppel történt. A kísérleti terület a gyomflórának megfelelően preemergens, majd posztemergens gyomirtó szerrel lett kezelve, amit a későbbiekben mechanikai gyomszabályozással is kiegészítettünk.

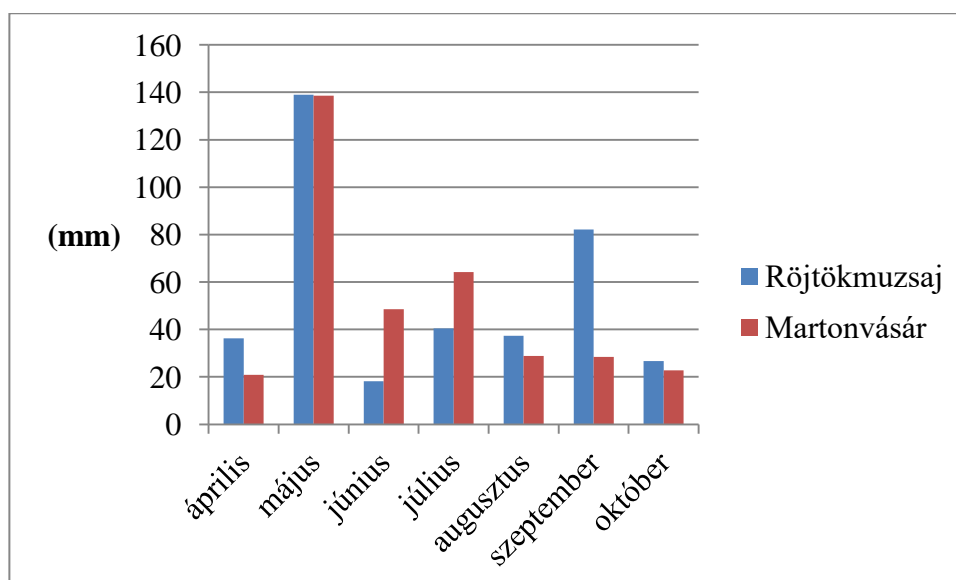
Mind a fogvájós, mind pedig a talajfertőzéses kísérleteket osztott parcellás (A: kezelések, B: vizsgált genotípus), 4 ismétléses (ismétléseket elválasztó út 1,4 m) elrendezésben vetettük. Az osztott parcellák fő parcelláiban a vizsgált hibridek A 3 soros parcellák (soronként 30 db növény) sortávolsága 70 cm, tőtávolsága 20 cm, míg a parcellaméret 4,2 m<sup>2</sup> volt. A két fertőzési mód blokkjai között 4 soros szegélyparcellát vetettünk.

#### 4.3.3. Meteorológiai adatok

2015-ben Röjtökmuzsajra a június és az október kivételével jelentősen csapadékosabb időjárás volt jellemző, mint Martonvásárra (8. ábra). 2019-ben közel azonos volt a két kísérleti hely havi csapadékeloszlása, májusban kiemelkedően nagy mennyiségű csapadék hullott (9. ábra).



8. ábra: A kísérleti helyek vegetációs idejének havi csapadékmennyiség-eloszlása (Röjtökmuzsaj és Martonvásár, 2015)



9. ábra: A kísérleti helyek vegetációs idejének havi csapadékmennyiség-eloszlása (Röjtökmuzsaj és Martonvásár, 2019)

#### 4.3.4. A fertőzés módszerei

A talajfertőzéshez használt rizsszemeket és a fogvájós fertőzéshez alkalmazott fogvájókat a beoltások előtt sterilizáltuk. A rizsszemeket belső (60 °C-os, 2x5 min vízfürdő, majd 121 °C-os 20 min szárazlevegős) sterilizációjukat követően szobahőmérsékleten sterilboxban megszáritottuk. A fogvájókat 12 órát desztillált vízben áztattuk, majd ezt követően 1200 egységenként befőttesüvegbe raktuk és autoklávban 121 °C-on 20 percig sterilizáltuk. A rizsszemeket 2000 ml-es főzőpohárba mértük, majd a fenti izolátumok  $10^6$  konídium/ml-re beállított szuszpenziójának 100 ml-nyi mennyiségével beoltottuk. A sterilizált fogvájók beoltását szintén a fenti izolátumok PDA táptalajon felnevelt tisztatenyészetekből kivágott 5 mm-es korongjaival (1200 db fogvájó/4 db korong) hajtottuk végre. Az így elkészített egységeket 27 °C-on, 21 napig inkubáltuk. A kontrollként használt steril fogvájókat is a fentiek szerint készítettük el, elhagyva a beoltás lépését.

A talajfertőzést mindkét helyen virágzaskor (július első fele) végeztük 2015-ben és 2019-ben is. A talajfertőzés célja, hogy a talajba juttatott fertőzőanyaggal úgy fokozzuk a növényekre ható fertőzőési nyomást, hogy az alkalmazott provokáció minél közelebb álljon a természetes fertőzéshez. A 20 cm tőtávolságra vetett tövek

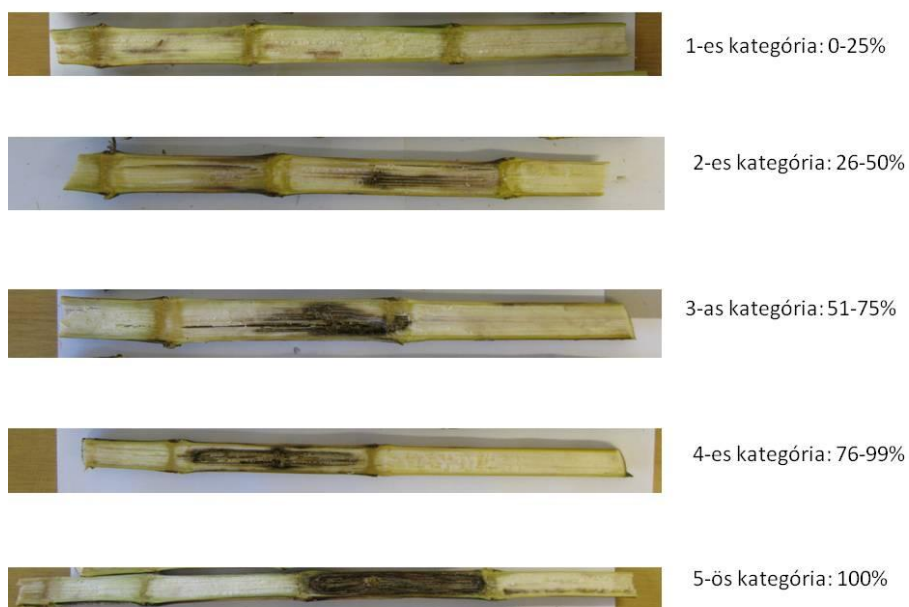


közé 10 cm távolságra lefűrtünk 10-20 cm mélyen, amelybe 70 g fertőzött rizsszemet juttattunk ki (Yang et al, 2010).

A fogvájós fertőzést Young (1943) módszerét adaptálva, a talajfertőzést követően 1-2 héttel, a virágzástól számított 10-12. napon végeztük. A kukoricaszár földfelszínétől számított 2. internódiumait először 70%-os alkohollal feltőtlenítettük, majd ezt követően egy steril, 2 mm átmérőjű kézi lyukfúróval lyukat fűrtünk a 2. internódium közepébe, melybe elhelyeztük a kórokozó micéliumával benőtt fogvájókat. A felülfertőzés elkerülése érdekében leukoplaszttal lezártuk a szúrt sebeket. Parcellánként 10 növényt fertőztünk. A mesterséges fertőzések kontrolljaként steril fogvájóval is szűrtünk töveket, melyeket ugyanúgy lezártunk leukoplaszttal.

#### 4.3.5. Értékelés

A szárok begyűjtését októberben végeztük. A talajfelszín felett metszőollóval kivágtuk a vizsgálandó növényegyedeket 3 internódium hosszúságban és a feldolgozásig  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on tároltuk. A bélszövet korhadásának mértékét 2-féle módszerrel határoztuk meg. A szármintákat hosszirányban kettévágtuk, és a bélszövet állapotának megfelelően 1-től 5-ig terjedő skálán értékeltük a korhadás kiterjedtségét szemrevételezés alapján (10. ábra). A skála értékéhez tartozó kategóriák a következők voltak (Afolabi et al. 2008):



## 10. ábra: Bonitálási kategóriák a fuzáriumos szártókorhadás felvételezéséhez

(Afolabi et al. 2008)

A bélszövet korhadásának értékelése során milliméter pontosan lemértük a fertőzött lézió hosszát és szélességét. A foltot ellipszisnek értelmeztük és a területét az ellipszisre vonatkozó képlettel határoztuk meg az alábbiak szerint:

$$\left( \left( \frac{\text{szélesség}}{2} \right) * \left( \frac{\text{hosszúság}}{2} \right) * 3,14 \right)$$

A kapott adatok alapján meghatároztuk a teljes terület és a beteg terület egymáshoz viszonyított százalékos arányát. Afolabi et al. 2018 skálája alapján a százalékos értékeket besoroltuk bonitálási kategóriába, így lehetőségünk volt az objektív mérés alapján kapott bonitálási sála értékeit összehasonlítani a vizuális felvételezés során kapott bonitálási skála értékeivel.

### 4.4. Adatok statisztikai feldolgozása

A természetes fertőzöttségből származó adatok elemzésekor a normalitást Kolmogorov-Smirnov módszerével, a homogenitást Levene-teszttel ellenőriztük. A természetes fertőzöttségből származó adatok által létrehozott csoportok eltérő elemszámmal rendelkeztek. Az eltérő elemszám egyrészt abból adódott, hogy a különböző években különböző volt a FAO csoportok száma a kísérleti helyeken (M-III. táblázat), másrészt abból, hogy a felvételezett kísérleti helyek száma évről-évre betegségformánként (csőpenészedés, szártókorhadás) változott. A változó elemszám miatt nem paraméteres statisztikai módszerre volt szükség. A Kruskal-Wallis-próba kettőnél több független minta egy változó mentén történő összehasonlítására használt nem paraméteres eljárás, amely alkalmas nem normális eloszlású, elemszámfüggetlen minták összevetésére. Hatékony alternatívája az egytényezős varianciaanalízisnek. A Kruskal-Wallis H próba során rangsoroltuk minden csoport adatát, és H értéket számoltunk.

$$H = \frac{12}{N(N+1)} + \left( \left( \frac{R^2}{n} \right) - 3(N+1) \right)$$

ahol R: rangok összegével, N: összes pontszám számával, n: egy adott csoport pontszámainak számával egyenlő. A P érték nagysága mutatja meg a vizsgált

csoporthoz kapcsolódóan: ha  $P = < 0,05$  elvetjük a nullhipotézist, és kijelentjük, hogy a csoportok statisztikailag igazolhatóan különböznek egymástól (Ostertagová et al. 2014).

A mesterséges fertőzéses kísérlet adatainak értékelése során is sérült a normalitás és a homogenitás, ezért a Kruskal-Wallis próba volt alkalmas az elemzésre.

A csoportok páronkénti összehasonlítására Dunn utótesztet használtunk, melyhez a többszörös összehasonlításból adódó hibalehetőségek kiküszöbölésére Bonferroni korrekciót alkalmaztunk, ami a csoportok különböző elemszámára kevésbé érzékeny eredményt ad. (Sinkovits és Prohászka 2021). Az eredmények ábrái a Kruskal-Wallis próba elemzése alapján készültek. Az eredmények táblázataiban csak a Dunn-Bonferroni utóteszt szignifikánsan különböző adatpárjait közöljük (11-16, 19-22 táblázat).

A Kruskal-Wallis próba és a Dunn-Bonferroni utóteszt futtatását, valamint az előrejelző modell készítését SPSS statisztikai programmal végeztük. Az előrejelző modell paramétereinek súlyozását az optimalizációs folyamat során kapjuk meg.

A hibridek csőpenészedés és szártőkorhadás fertőzöttségének összehasonlítását Spearman-féle rangkorrelációval vizsgáltuk, mely alkalmas nem normális eloszlású adatok elemzésére.

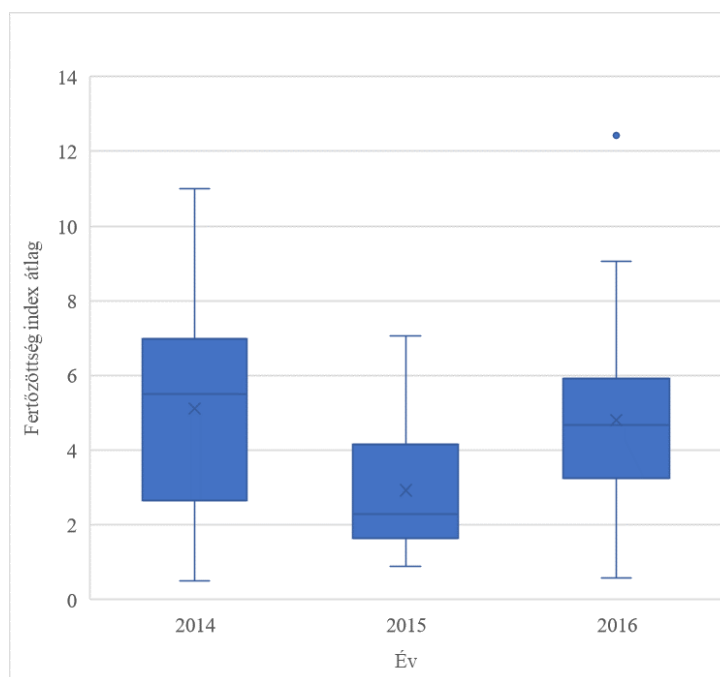
A toxinmérés adatait Microsoft Windows® Excel programban értékeltük, Pearson korrelációt számolva, lineáris regresszióanalízist alkalmazva (Pearson és Hartley 1962).

## 5. EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁS

### 5.1. Természetes fertőzöttségű szántóföldi kísérletek eredményei

#### 5.1.1. Az évjárat hatása a csőpenészedés és szártőkorhadás mértékére

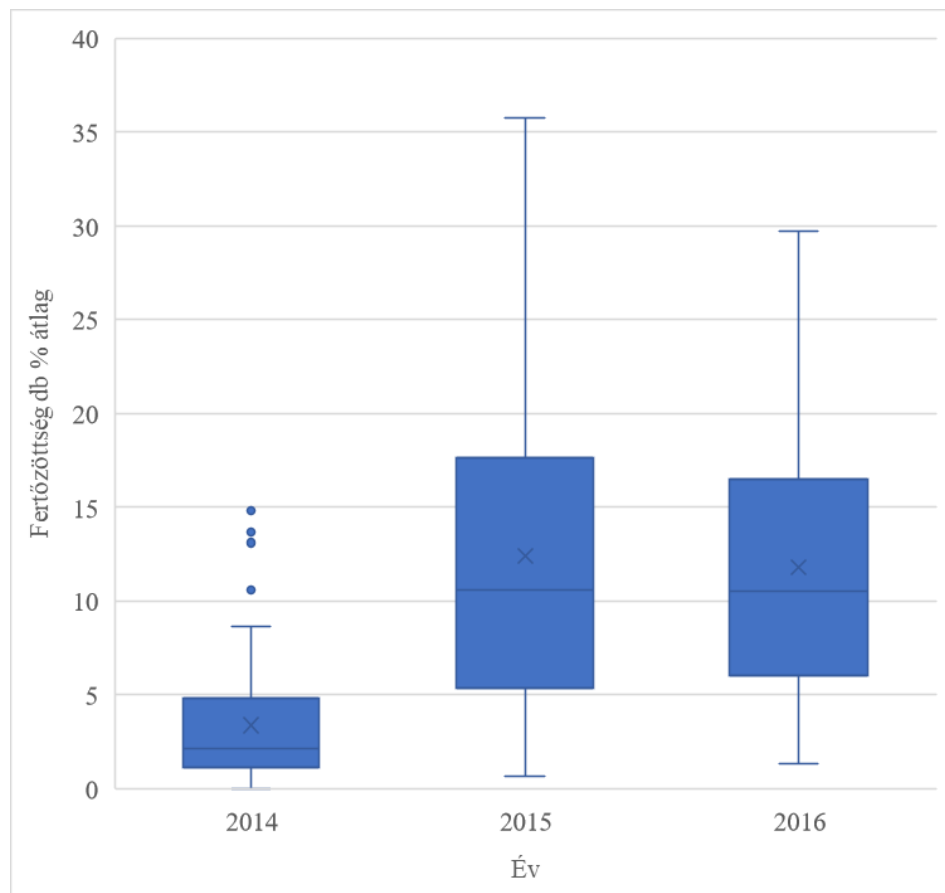
A vizsgált 3 éves időszakban az évjárat hatással volt a csőpenészedés mértékére ( $H(2)=28,920, P=0,000$ ) (11. ábra). Az utóteszt alapján a 2015-ös év fertőzöttségi adatai a 2014-es és a 2016-os év adataitól szignifikánsan ( $p=0,000$ ) eltérnek, vagyis fertőzöttség mértéke jelentősen alacsonyabb a másik két évhez képest (11. ábra). 2014-ben a virágzás időszakában 7 kísérleti helyen a lehullott csapadék mennyisége meghaladta a 100 mm-t. De la Campa et al. (2005) és Cao et al. (2014) szerint a virágzás alatt lehulló csapadék mennyisége kritikus a fuzárium fertőzésre és a mikotoxin-felhalmozódásra.



11. ábra: A csőpenészedés-fertőzöttség mértékének átlagértékei évjáratonként a vizsgált termőhelyek és hibridek átlagában (2014-2016)

A szártőkorhadásra szintén jelentős hatást gyakorolt az évjárat (12. ábra). A Kruskal-Wallis próba ( $H(2)=71,640, P=0,000$ ) és utótesztje alapján a 2014-es év fertőzöttsége szignifikánsan ( $p=0,000$ ) alacsonyabb mindkét másik évnél. Azonban a 2015-ös és a 2016-os év értékei között nincs szignifikáns különbség ( $p>0,05$ ).

Megállapítottuk, hogy 2014-ben alacsonyabb mértékű szártőkorhadás volt, mint 2015-ben és 2016-ban (12. ábra). A szártőkorhadás fellépésre elsősorban a sokévi átlagnál melegebb és aszályosabb évjáratokban kell számítani, az extrém hő- és szárazságstressz következtében. Dodd (1980) és Balázs (1990) szerint a szárazságstressz az egyik legfontosabb kockázati tényező, amely növeli a szártőkorhadás kialakulásának veszélyét. 2015-ben kísérleti helyek többségében a szeptemberi csapadékmennyiség 50 mm alatt volt.

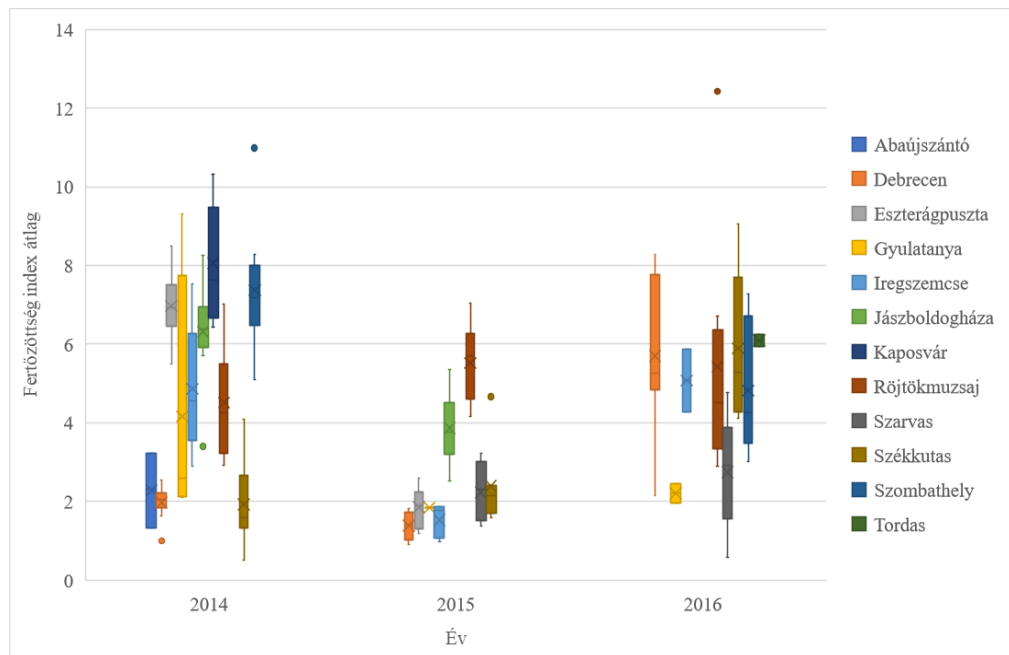


12. ábra: A szártőkorhadás-fertőzöttség gyakoriságának átlagértékei évjáratonként a vizsgált termőhelyek és hibridek átlagában (2014-2016)

### 5.1.2. A kísérleti helyek hatása a csőpenészedés és szártőkorhadás mértékére

A Kruskal-Wallis próba alapján megállapítható, hogy az évjárathatások mellett a csőpenészedésre egy adott évjáraton belül statisztikailag igazolható hatása volt a kísérleti helynek is 2014-ben és 2015-ben (2014-ben  $H(9)=59,427$ ,  $P=0,000$ ) és 2015-ben ( $H(7)=36,427$ ,  $P=0,000$ ) 2016-ban nem volt matematikailag igazolható hatása a helynek (13. ábra). A 2014-es évben a székkutasi és debreceni fuzáriumos csőpenészedés-fertőzöttség volt a legtöbb helytől szignifikánsan eltérő. 2015-ben is a debreceni és a röjtökmuzsaji értékek különböztek a legtöbb helytől szignifikánsan az utóteszt páronkénti összevetései során (10. táblázat). A debreceni fertőzöttségi adatok alacsonyok voltak, a röjtökmuzsaji adatok magasabbak (13. ábra). Debrecenben 2014-ben és 2015-ben kismértékű volt a csőpenészedés fertőzöttség és 2016-ban nagymértékű. A júniusi csapadék 2014-ben és 2015-ben kevés volt (26,8 mm és 33,3 mm), ugyanakkor 2016 júniusában 140,1 mm hullott. Iregszemcsén 2014-ben és 2016-ban nagymértékű fertőzöttség, 2015-ben alacsony fertőzöttség alakult ki. A júliusban hullott csapadék mennyisége 2014-ben 97,8 mm és 2016-ban 87,8 mm volt, 2015-ben csak 36 mm. 2014-ben Jászboldogháza, Eszterágpusztá, Szombathely, Kaposvár volt jellemzően magasabb csőpenész-fertőzöttségű kísérleti hely, ezeken a helyeken a július-augusztusi csapadékmennyiség meghaladta a 200 mm-t, Szombathelyen a 300 mm-t is.

Az elővetemény hatását vizsgálva megállapítható, hogy a kukorica elővetemény (monokultúra) minden évben magas fertőzöttséget eredményezett. Bár 2014-ben és 2016-ban nem megkülönböztethetőek szignifikánsan a többi hely adatától a röjtökmuzsaji adatok, de összességében elmondható, hogy Röjtökmuzsaj mindhárom vizsgált évben megbízhatóan magas fertőzöttségi adatot biztosított az értékeléshez. A kukorica elővetemény fertőzést fokozó hatása Szarvason is megmutatkozott 2016-ban, amikor magasabb csőpenészedés fertőzöttség volt, mint 2015-ben.

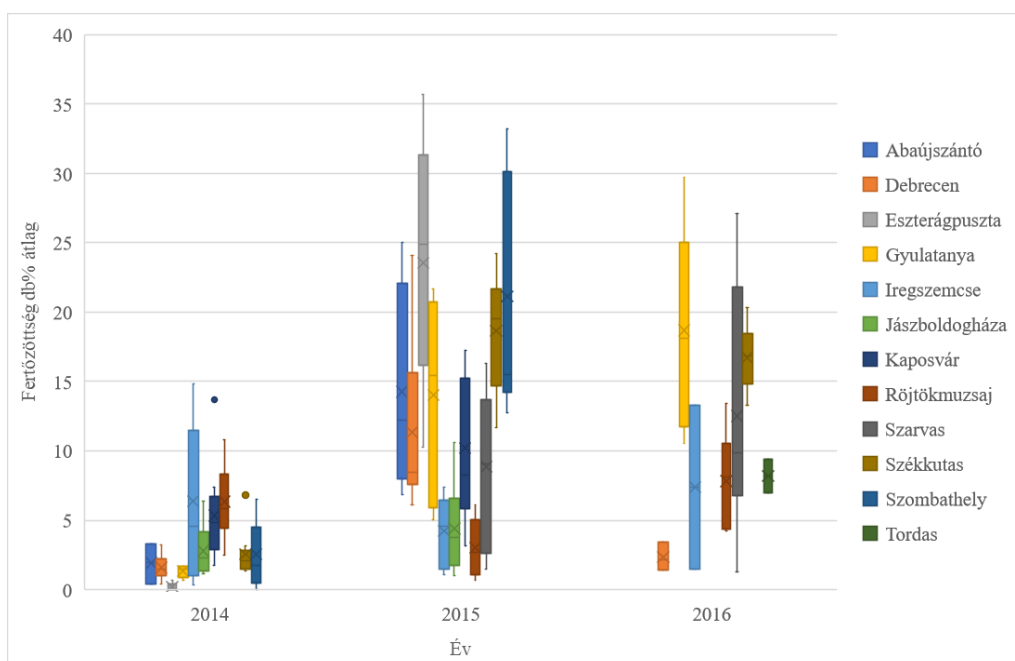


13. ábra: A csőpenészedés-fertőzöttség mértékének átlagértkei kísérleti helyenként és évjáratonként (2014-2016)

10. táblázat: A kísérleti helyeken fellépő fuzáriumos csőpenészedés mértékének összehasonlítása (2014-2016) során kapott szignifikáns helypárok, Dunn-Bonferroni utótesztel értékelve,  $p=5\%$

Év	Kísérleti helypárok	P
2014	Székkutas- Jászboldogháza	0,011
	Székkutas- Eszterágpuszta	0,001
	Székkutas- Szombathely	0,000
	Székkutas- Kaposvár	0,000
	Debrecen- Jászboldogháza	0,009
	Debrecen- Eszterágpuszta	0,001
	Debrecen- Szombathely	0,000
	Debrecen- Kaposvár	0,000
2015	Debrecen- Jászboldogháza	0,030
	Debrecen- Röjtökmuzsaj	0,001
	Iregszemcse- Röjtökmuzsaj	0,001
	Eszterágpuszta- Röjtökmuzsaj	0,002
	Szarvas- Röjtökmuzsaj	0,011

Az évjáráthatások mellett a szártőkorhadásra egy adott évjáraton belül statisztikailag igazolható hatása volt a kísérleti helynek is (2014-ben  $H(9)=43,642$ ,  $P=0,000$ , 2015-ben  $H(10)=52,160$ ,  $P=0,000$  és 2016-ban  $H(6)=18,487$ ,  $P=0,005$ ) (14. ábra). A 2014-ben Eszterágpusztán mért fertőzöttségi adatok szignifikánsan ( $p<0,05$ ) megkülönböztethetők az iregszemcseitől, kaposváritól és röjtökmuzsajtól. Röjtökmuzsaj adatai Debrecentől is szignifikánsan különböztek (11. táblázat). 2015-ben Röjtökmuzsaj, Jászboldogháza és Iregszemcse adatai szignifikánsan eltértek a legtöbb helytől az utóteszt páronként összevetései alapján. 2016-ban Debrecen adatai voltak szignifikánsan megkülönböztethetők Gyulatanya és Székkutas fertőzöttségi adataitól. A röjtökmuzsaji provokációs kísérlet adatairól megállapítható, hogy bár mindhárom évben kialakult értékelhető szártőkorhadás-fertőzöttség, nem volt kiugróan magas egyik évben sem. 2014-ben Iregszemcse, Kaposvár, Röjtökmuzsaj, 2015-ben Székkutas, Szombathely, Eszterágpusztá, 2016-ban Székkutas és Gyulatanya kísérleteire volt jellemző nagymértékű szártőkorhadás (14. ábra). Szártőkorhadás szempontjából nagyobb szerepe van az évjáráthatásnak, mint a kísérleti helynek. A vizsgált évek közül 2015-ben tapasztaltunk a legtöbb helyen nagymértékű szártőkorhadás fertőzést.



14. ábra: A szártőkorhadás-fertőzöttség gyakoriságának átlagértékei kísérleti helyenként és évjáratonként (2014-2016)

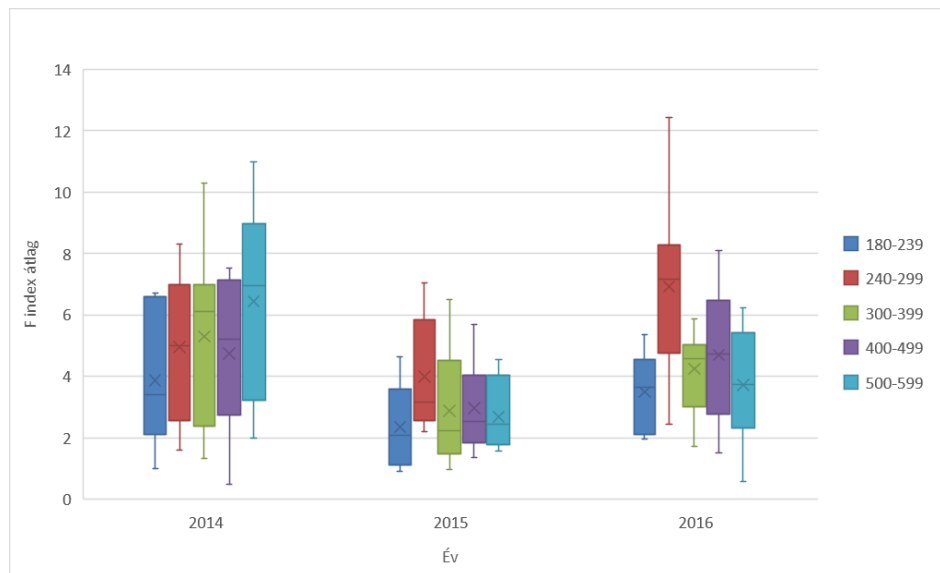


11. táblázat: A kísérleti helyeken fellépő fuzáriumos szártőkorhadás mértékének összehasonlítása (2014-2016) során kapott szignifikáns helypárok, Dunn-Bonferroni utótesztel értékelve,  $p=5\%$

Év	Kísérleti helypárok	P
2014	Eszterágpusztá-Iregszemcse	0,001
	Eszterágpusztá-Kaposvár	0,000
	Eszterágpusztá-Röjtökmuzsaj	0,000
	Debrecen-Röjtökmuzsaj	0,022
2015	Röjtökmuzsaj-Székkutas	0,002
	Röjtökmuzsaj-Szombathely	0,000
	Röjtökmuzsaj-Eszterágpusztá	0,000
	Jászboldogháza-Székkutas	0,029
	Jászboldogháza-Szombathely	0,012
	Jászboldogháza-Eszterágpusztá	0,004
	Iregszemcse-Székkutas	0,011
	Iregszemcse-Szombathely	0,004
	Iregszemcse-Eszterágpusztá	0,001
2016	Debrecen-Székkutas	0,029
	Debrecen-Gyulatanya	0,025

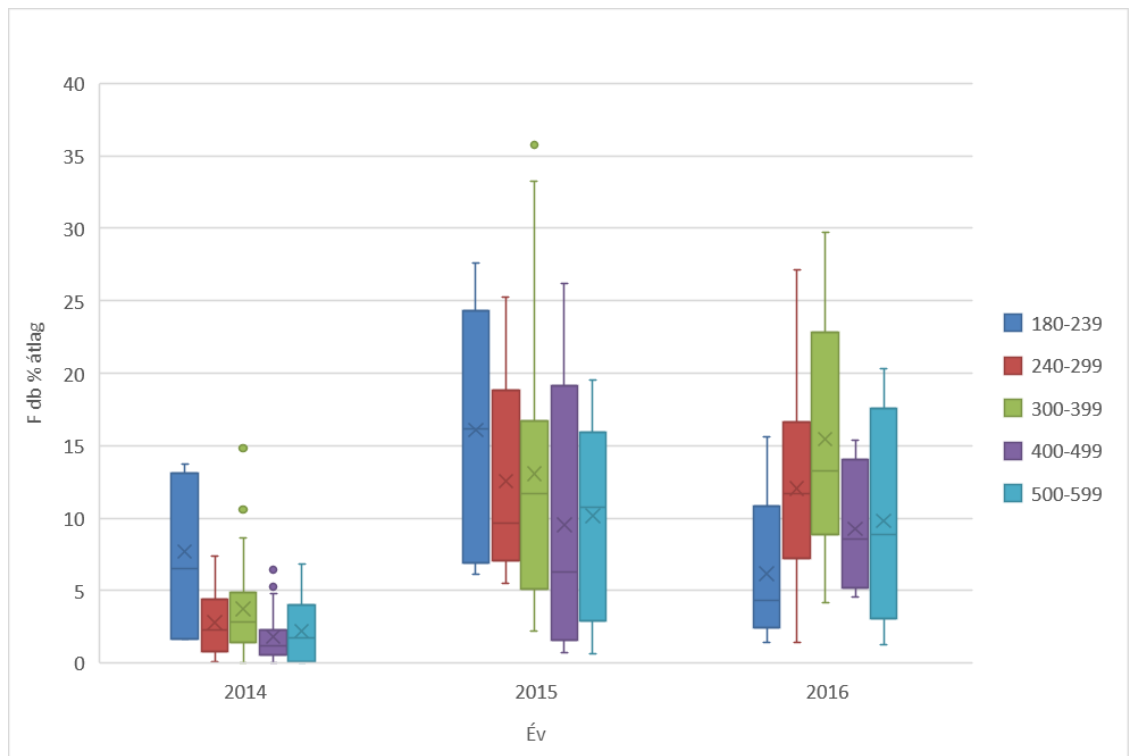
### 5.1.3. Az éréscsoport hatása a csőpenészedés és szártőkorhadás mértékére

2014-ben és 2015-ben az éréscsoport-párok között szignifikáns különbséget nem tudtunk kimutatni. Statisztikailag igazolható különbséget csak a 2016-os évben találtunk ( $H(4)=11,706$ ,  $P=0,02$ ) a FAO 180-239 és a FAO 240-299 éréscsoport-pár között ( $p=0,035$ ) (15. ábra). A FAO 180-239 éréscsoport csőpenész-fertőzöttsége szignifikánsan alacsonyabb volt, mint a FAO 240-299 éréscsoporté.



15. ábra: A csőpenész-fertőzöttség mértékének átlagértékei éréscsoportonként és évjáratonként (2014-2016)

A szártőkorhadás fertőzöttségi db%-ának alakulása 2014-ben éréscsoport-páronként ( $H(4)=13,199$ ,  $P=0,01$ ) szignifikánsan eltér (16. ábra). A 2014-ben a FAO 400-499 csoport eloszlása szignifikánsan eltér a FAO 180-239 csoport adatainak eloszlásától ( $p=0,01$ ). 2014-ben a FAO 180-239 éréscsoport hibridjeire nagyobb mértékű szártőkorhadás volt jellemző, mint a FAO 400-499 éréscsoport hibridjeire (16. ábra). Nagy és Cabulea (1996) is megállapította, hogy a korai érésű, szártőkorhadással szemben ellenálló kukoricák nemesítése nehézségekbe ütközik. Manninger (1972) is arra a megállapításra jutott, hogy a későbbi éréscsoportok hibridjei jellemzően jobb ellenállóságúak szártőkorhadással szemben, mivel a hosszabb tenyészidő révén több idő van a szilárdító szövetek felépítésére és tovább tart a növény turgora (Manninger 1972). 2015-ben és 2016-ban az éréscsoportok között nem találtunk statisztikailag igazolható különbségeket.



16. ábra: A szártőkorhadás-fertőzöttség gyakoriságának átlagértékei éréscsoportonként és évjáratonként (2014-2016)

#### 5.1.4. Az időjárás és egyéb környezeti tényezők hatásának a vizsgálata a csőpenészedés és a szártőkorhadás előrejelzésére

Az időjárás és az egyéb környezeti tényezők változó valószínűséggel befolyásolják a kétféle betegségforma fellépésének mértékét. Kutatómunkánk során a 2014-2016-os évek kísérleti helyeinek csőpenészedés és szártőkorhadás fertőzöttség eredményeit kiegészítettük a 2017-es és 2020-as év kísérleti helyeinek eredményeivel. Így az 5 év alatt összesen 41 hely adatsorát elemeztük a csőpenészedés és 40 hely adatsorát a szártőkorhadás mértékére gyakorolt hatás szempontjából. Az elemzés során azokat a környezeti tényezőket vettük figyelembe, amelyek a szakirodalom szerint jelentősen befolyásolják a csőpenészedés és a toxin-felhalmozódás mértékét. De la Campa et al. (2005) és Schaafsma és Hooker (2007) a kísérleti hely, az elővetemény, a hibrid, a virágzás körül hullott csapadék mennyiségét és a hőmérséklet alakulását, továbbá a rovarkártétel hatását vizsgálták. E paraméterek közül a kísérleti hely, az elővetemény, a FAO éréscsoport, a nyári (június-augusztus) csapadékmennyiség állt rendelkezésünkre. Az optimalizációs folyamat során próbálgatásos úton megkapom a

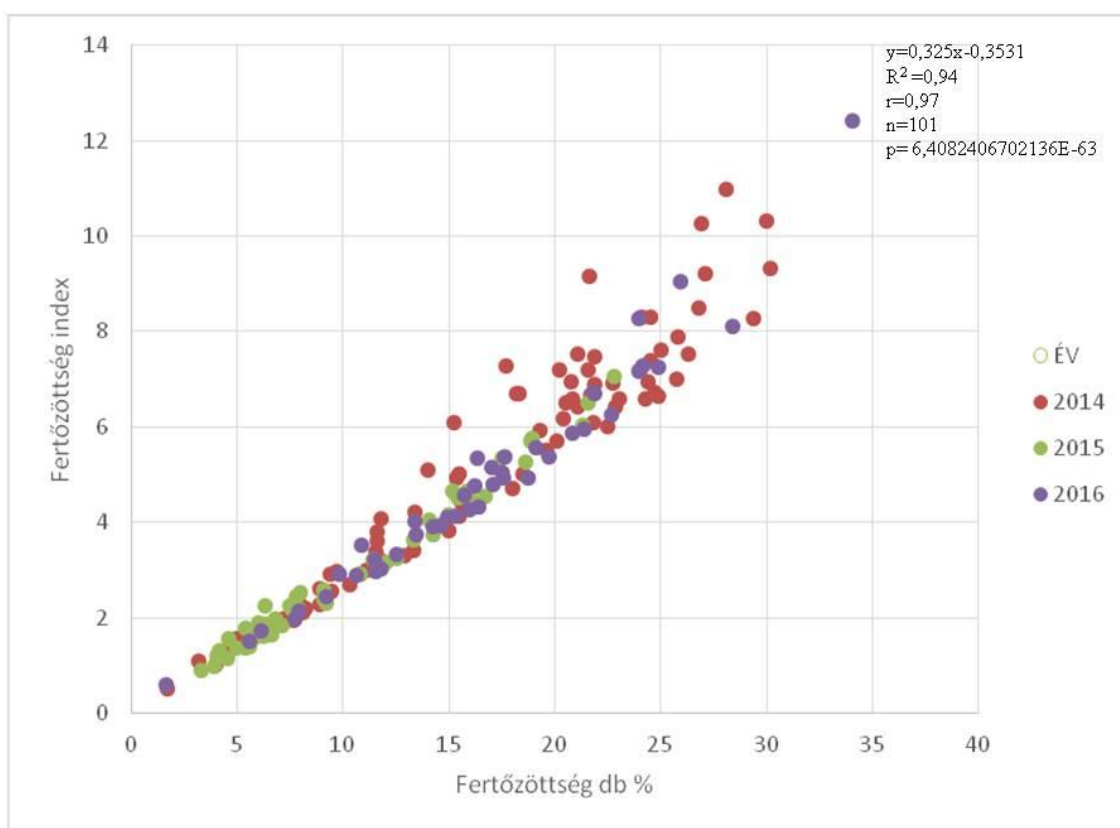
paraméterek legjobb súlyozását, amit használva a legjobb becslések jönnek ki a kimeneti változóra, ami esetünkben a fertőzöttség volt. A figyelembe vett tényezők közül a csőpenészedés mértékére a legnagyobb hatással a júniusi csapadékmennyiség (27,5%), majd a kísérleti hely (22,8%) volt. Az elővetemény (14,0%) és az éréscsoport (8,0%) kisebb befolyást gyakorolt a fertőzöttségre. Schaafsma és Hooker (2007) megállapították, hogy a kukorica hibridek 25% hatással, az időjárás 12% hatással, a kettő együttesen 42% hatással van a toxintartalomra. De la Campa et al. (2005) vizsgálataik szerint a kísérleti hely 47 % hatással, rovarkártétel 11-17% hatással volt a fumonizin mennyiségére. Bár De la Campa et al. 2005 a fumonizin tartalomra történő hatást vizsgálták, igazolták, hogy a virágzáskori időjárási tényezők befolyásolják a legnagyobb mértékben a fumonizin-felhalmozódást. Pfordt et al. (2020) is a virágzás alatti átlaghőmérsékletet és csapadékmennyiséget találta meghatározónak a csőpenészedés mértékére. A szártókorhadás kialakulására a legnagyobb hatással az augusztusi csapadékmennyiség (23,7%) volt. A csőpenészedéséhez közel megegyezőnek találtuk a kísérleti hely (22,2%), az elővetemény (14,5%) és az éréscsoport (8,5%) hatását (12. táblázat). Pfordt et al. (2020) vizsgálata szerint a fuzáriumos szártókorhadás mértékére a szeptemberi időjárási viszonyok a meghatározóak.

12. táblázat: Az időjárás és a környezeti tényezők hatásának a vizsgálata a csőpenészedés előrejelzésére

%	csőpenészedés	szártókorhadás
FAO csoport	8	8,5
Kísérleti hely	22,8	22,2
Elővetemény	14	14,5
Júniusi csapadékmennyiség	27,5	12,3
Júliusi csapadékmennyiség	12,6	18,8
Augusztusi csapadékmennyiség	14,8	23,7

### 5.1.5. A csőpenészedés gyakoriságának és súlyosságának alakulása a vizsgált években (2014-2016)

A vizsgált évek kísérleti helyein felvételezett fertőzöttségi gyakoriság (fertőzöttség db%) és megbetegedés súlyosságának (fertőzöttségi index) átlagértékei között szoros összefüggést ( $r=0,97$ ) mutattunk ki. Minél magasabb a fertőzöttség db% értéke, annál nagyobb gyakorisággal fordulnak elő kiugróan magas fertőzöttségi index értékek (17. ábra). Az évjáráthatás vizsgálatához hasonlóan megállapítható, hogy 2014-re volt jellemzőbb a magasabb fertőzöttségi index, valamint 2016-ban is volt néhány kiugróan magas fertőzöttségi index érték. 2015-ben alacsonyabb fertőzöttség mellett, alacsonyabb fertőzöttségi index volt jellemző.



17. ábra: A fertőzöttség db%-a és fertőzöttségi index közötti összefüggés a kísérleti helyek átlagában (2014-2016)

### 5.1.6. A csőpenészedés és a szártőkorhadással szembeni ellenállóság kapcsolata

Vizsgáltuk a 2014-2016 évek fertőzöttségi értékeit hibridenként azokon a helyeken, ahol mindkét betegségforma nagyobb mértékben előfordult. 19 hibrid 483 adatpár (n=483) alapján végeztünk statisztikai elemzést. A leíró statisztika alapján nem teljesült a normalitás és a homogenitás. A nem parametrikus Spearman-féle rangkorrelációt alkalmazva a csőpenészedés és a szártőkorhadás fertőzöttsége között gyenge negatív korrelációt ( $r = -0,29$ ) határoztunk meg az évek adatait egybeértékelve. A korreláció szignifikáns ( $p = 0,01$ ). Mivel a vizsgált 3 évnek eltérő volt az időjárási körülményei, melynek szignifikáns hatása volt mind a csőpenészedés, mind a szártőkorhadás mértékének az alakulására, ezért évjáratonként is megvizsgáltuk a csőpenészedés és szártőkorhadás fertőzöttség mértékének a kapcsolatát. 2014-ben nem volt szignifikáns kapcsolat. 2015-ben ( $r = -0,31$ ) és ( $p = 0,01$ ), 2016-ban ( $r = -0,15$ ) és ( $p = 0,05$ ). Hasonlóan Nagy és Căbulea (1996) megállapította, hogy nincs kapcsolat a csőpenészedés és a szártőkorhadás mértéke között. Ezzel szemben Li et al. (2019b) véleménye szerint a kukorica szártőkorhadása súlyosbítja a csőpenészedés előfordulását és kilátásba helyezik az erre irányuló kutatások végzését. A vizsgálatokban szereplő hibridek közül a 18-as számú (18. és 19. ábra) jól példázza a két betegségformával szembeni rezisztencia függetlenségét, mivel a csőpenészedéssel szemben magas szintű szántóföldi rezisztenciát mutatott, ugyanakkor a szártőkorhadásra nagyon fogékonyak bizonyult.

Vizsgáltuk a fertőzöttség alapján számított rezisztenciakategóriák százalékos megoszlásának arányát is. A 19 hibrid 523 adatpárja alapján megállapítottuk, hogy a szártőkorhadással szemben a vizsgált hibridek 9%-a került rezisztens (1) és csőpenészedésre mérsékelten rezisztens (2) kategóriába. További 9% a szártőkorhadással szemben mérsékelten rezisztens (2) és csőpenészedésre közepesen fogékony (3) rezisztenciakategóriába tartozik. A szártőkorhadásra fogékony (4) és csőpenészedésre nagyon fogékony (5) aránya 0,6% volt. A mindkét betegségformával szemben rezisztens (1) hibridek 1%-ot, a mindkét betegségformára nagyon fogékony (5) hibridek 1,5%-ot tettek ki (13. táblázat). Szerencsés körülménynek tekinthető, hogy a vizsgált kukoricahibridek többsége a mérsékelten

rezisztens (2) és a közepesen fogékony (3) rezisztenciakategóriákba tartozik mindkét betegségformával szemben.

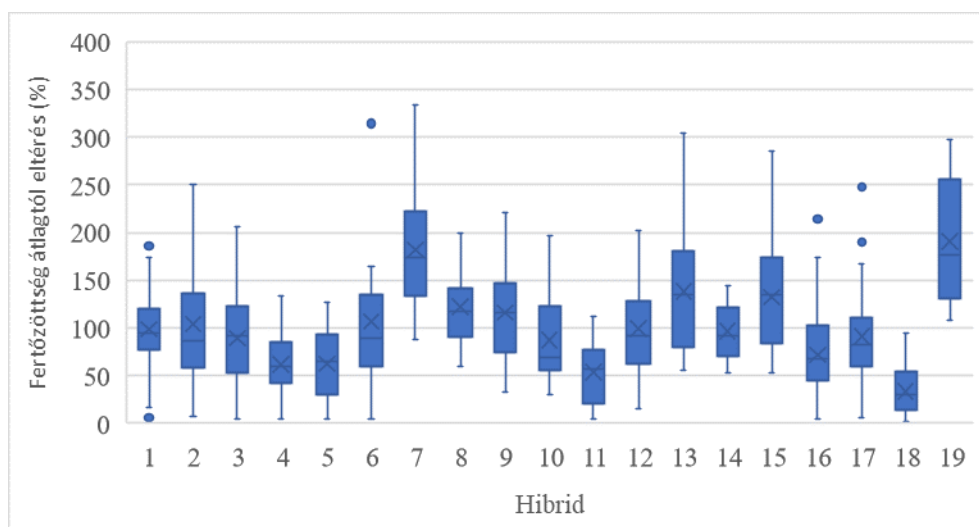
13. táblázat: A csőpenészedés és szártőkorhadás rezisztenciakategóriáinak %-os megoszlása

	szártőkorhadás					
	%	rezisztens (1)	mérsékelten rezisztens (2)	közepesen fogékony (3)	fogékony (4)	nagyon fogékony (5)
csőpenészedés	rezisztens (1)	1	1,3	0,6	3,4	2,7
	mérsékelten rezisztens (2)	9	7,6	7,5	3,6	7,3
	közepesen fogékony (3)	4,6	9	7,1	5	6,1
	fogékony (4)	2,9	5,9	1,3	2,1	3,6
	nagyon fogékony (5)	1,5	3,6	1,1	0,6	1,5

### 5.1.7 A 2014-2016-os évjáratokban vizsgált 19 hibrid fuzáriumos csőpenészedéssel és szártőkorhadással szembeni ellenállósága az évjáratok és a kísérleti helyek átlagában

Az elemzésbe vont 19 hibrid fertőzöttségi adatait értékelve jelentős különbségek figyelhetők meg a hibridek csőpenészedés iránti fogékonyságában a Kruskal-Wallis próba alapján ( $H(18)=151,593$ ,  $P=0.000$ ) (18. ábra). Az utótesztek szerint matematikailag is igazolható módon a 18-as hibrid csővei 15 hibridnél kisebb mértékben fertőződtek fuzáriummal. A 4-es hibrid 6 hibridnél (7, 8, 9, 13, 15, 19) fertőződik szignifikánsan kisebb mértékben. A 11-es hibrid fertőzöttsége szignifikánsan eltér 4 hibridtől (7, 13, 15, 19), a 16-os is 4 hibridtől (15, 13, 7, 19) továbbá az 5-ös különbözik 2 hibridtől (7, 19). A 10-es hibrid is szignifikánsan alacsonyabb mértékben fertőződik 2 hibridnél (7, 19) (14. táblázat). A 4-es, 5-ös, 11-es és a 18-as hibrid fertőzöttségi értéke mindig a kísérleti átlag (100%) alatt van. A 7-es és a 19-es fertőzöttsége gyakran a kísérleti átlag kétszeresét is elérte. Vizsgálataink alapján a 7-es, 13-as és a 19-es hibridek közepesnél fogékonyabbak

fuzáriumos csőpenészedésre. A 4-es, 5-ös, 11-es, 16-os és 18-as hibridek mérsékelt rezisztens kategóriába tartoznak (16. táblázat).



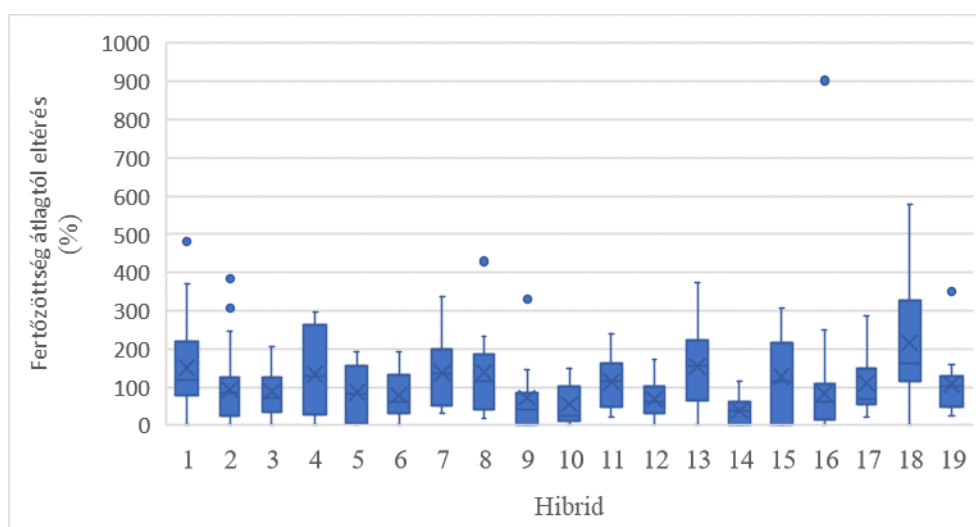
18. ábra: A vizsgált 19 hibrid fuzáriumos csőpenész-fertőzöttségének százalékos eltérése az átlagtól a kísérleti évek és helyek adatai alapján (2014-2016)



14. táblázat: A vizsgált 19 hibrid fuzáriumos csőpenészedés-fertőzöttségének hibridpáronkénti összehasonlítása (2014-2016) során kapott szignifikáns eltérések Kruskal-Wallis próba után végzett Dunn-Bonferroni utótesztel vizsgálva,  $p= 5\%$

Hibridpár	P
18-10	0,032
18-16	0,011
18-17	0,001
18-14	0,001
18-6	0,001
18-19	0,000
18-15	0,000
18-13	0,000
18-12	0,000
18-9	0,000
18-8	0,000
18-7	0,000
18-3	0,000
18-2	0,000
18-1	0,000
16-15	0,022
16-13	0,040
16-19	0,000
16-7	0,000
11-19	0,000
11.15	0,036
11-13	0,000
11-7	0,000
10-19	0,044
10-7	0,015
5-19	0,000
5-7	0,000
4-9	0,044
4-8	0,014
4-15	0,006
4-13	0,010
4-19	0,000
4-7	0,000

A 19 hibrid szártőkorhadással szembeni ellenállóságában jelentős eltérést (H(18)=75,456, P=0,000) mutattunk ki. Az utóteszt alapján a 18-as hibrid 4 hibridnél (10, 12, 14, 16) szignifikánsan magasabb mértékben fertőződött (19. ábra). A 14-es hibrid statisztikailag igazolhatóan alacsonyabb mértékben fertőződött 3 hibridnél (1, 13, 18). Továbbá az 1-es és a 16-os is különbözik egymástól (15. táblázat). A 14-es hibrid eredményei mindig a kísérleti átlag alatt voltak. Az 1-es, 4-es, 7-es, 13-as, 15-ös hibrid a kísérleti átlag fertőzöttségi értékének kétszeresét, a 18-as hibrid a háromszorosát is elérte (19. ábra). Vizsgálataink alapján a 8-as és a 18-as hibrid szártőkorhadásra a közepesnél fogékonyabb, a 6-os, 9-es, 12-es és 16-os hibrid a mérsékelten rezisztens és a 14-es hibrid a rezisztens kategóriába tartozik (16. táblázat).



19. ábra: A vizsgált 19 hibrid fuzáriumos szártőkorhadás-fertőzöttség százalékos eltérése az átlagtól a kísérleti évek és helyek adatai alapján

15. táblázat: A vizsgált 19 hibrid fuzáriumos szártőkorhadásának hibridpáronkénti összehasonlítása (2014-2016) során kapott szignifikáns eltérések Kruskal-Wallis próba után végzett Dunn-Bonferroni utóteszttel vizsgálva, p= 5%

Hibridpár	P
16-1	0,007
16-18	0,000
14-13	0,033
14-1	0,001
14-18	0,000
12-18	0,000

16. táblázat: A vizsgált 19 hibrid szártőkorhadással és csőpenészedéssel szembeni rezisztenciakategóriába sorolása (2014-2016) évjáratok és kísérleti helyek adatai alapján

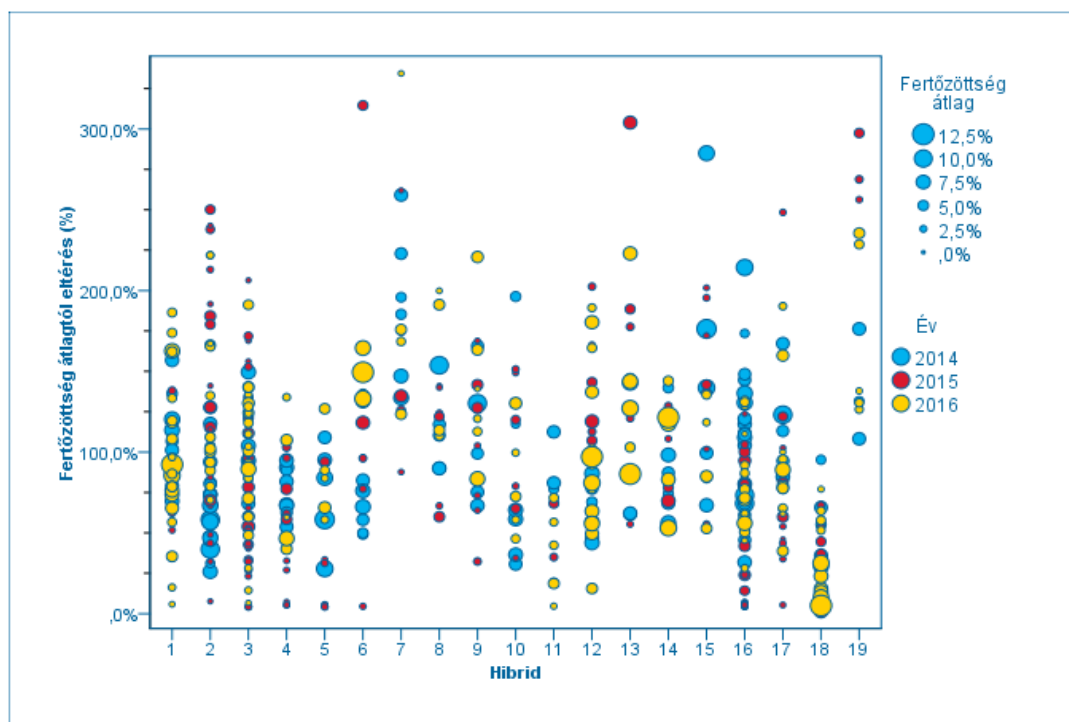
Hibrid kód	szártőkorhadás rezisztenciakategória	csőpenészedés rezisztenciakategória
1	3	3
2	3	3
3	3	3
4	3	2
5	3	2
6	2	3
7	3	4
8	4	3
9	2	3
10	2	3
11	3	2
12	2	3
13	3	4
14	1	3
15	3	3
16	2	2
17	3	3
18	4	2
19	3	4

A jelenlegi módszertan szerint a hibridek rezisztenciakategóriába sorolását csak azoknak a helyeknek az adatai alapján végezzük, ahol megfelelő fertőzési nyomás alakult ki. A 20. és 21. ábra azt hivatott bemutatni, hogy adott hibridnek fertőzöttségének a kísérleti átlagtól való eltérése függ az aktuális fertőzési nyomás mértékétől. Előfordul, hogy kisebb kísérleti átlag mellett valamely hibrid fertőzöttsége az átlagtól a vártnál jobban eltér. A 4-es és a 18-as hibrid a kísérleti

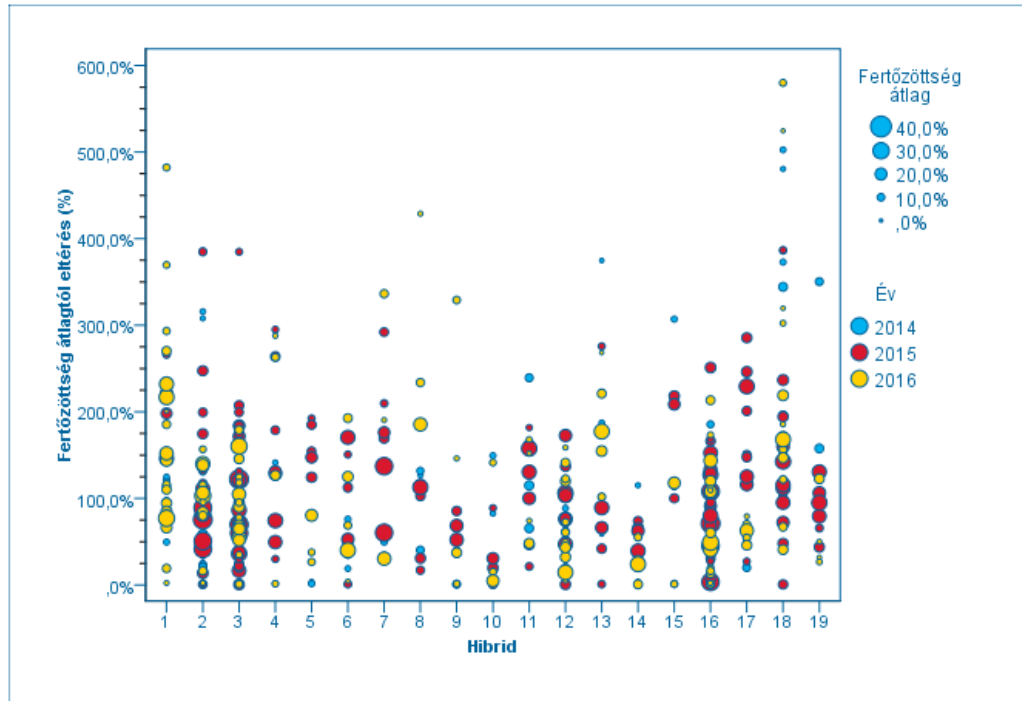
átlagtól függetlenül következetesen viselkedik az átlagtól való eltérésben, ugyanakkor a 6-os és a 13-as hibridek fertőzöttségének az átlagtól való eltérése változatosságot mutatott. A korábbi évjárathatás vizsgálat eredményeit illusztrálja a kísérleti átlagokat jelölő körök különböző színei. Magasabb kísérleti átlagok fordultak elő 2014-ben és 2016-ban. 2015-ben alacsony kísérleti átlagok voltak jellemzően (20. ábra), ugyancsak alátámasztva a korábbi évjárathatás vizsgálatának eredményeit.

Szártókorhadás ellenállóság vizsgálatánál különösen fontos szerepe van a megfelelő fertőzési nyomásnak. A vizsgált hibridek esetében a legnagyobb átlagtól való eltéréseket minden esetben alacsony kísérleti átlag mellett tapasztaltuk. A 3-as és a 8-as hibrid esetében a kisebb kísérleti átlag okozott a vártnál nagyobb átlagtól való eltérést. A korábbi évjárathatás-vizsgálat eredményeivel egybehangzóan 2015-ben fordult elő a leggyakrabban magas kísérleti fertőzöttségi átlag (21. ábra).

Robertson-Hoyt et al. (2006) szerint egyes beltenyésztett vonalak, melyeket rezisztensnek találtak egy bizonyos kísérleti helyen, eltérően viselkedtek más vizsgálati helyszíneken a genotípus x környezet interakciójuk révén.



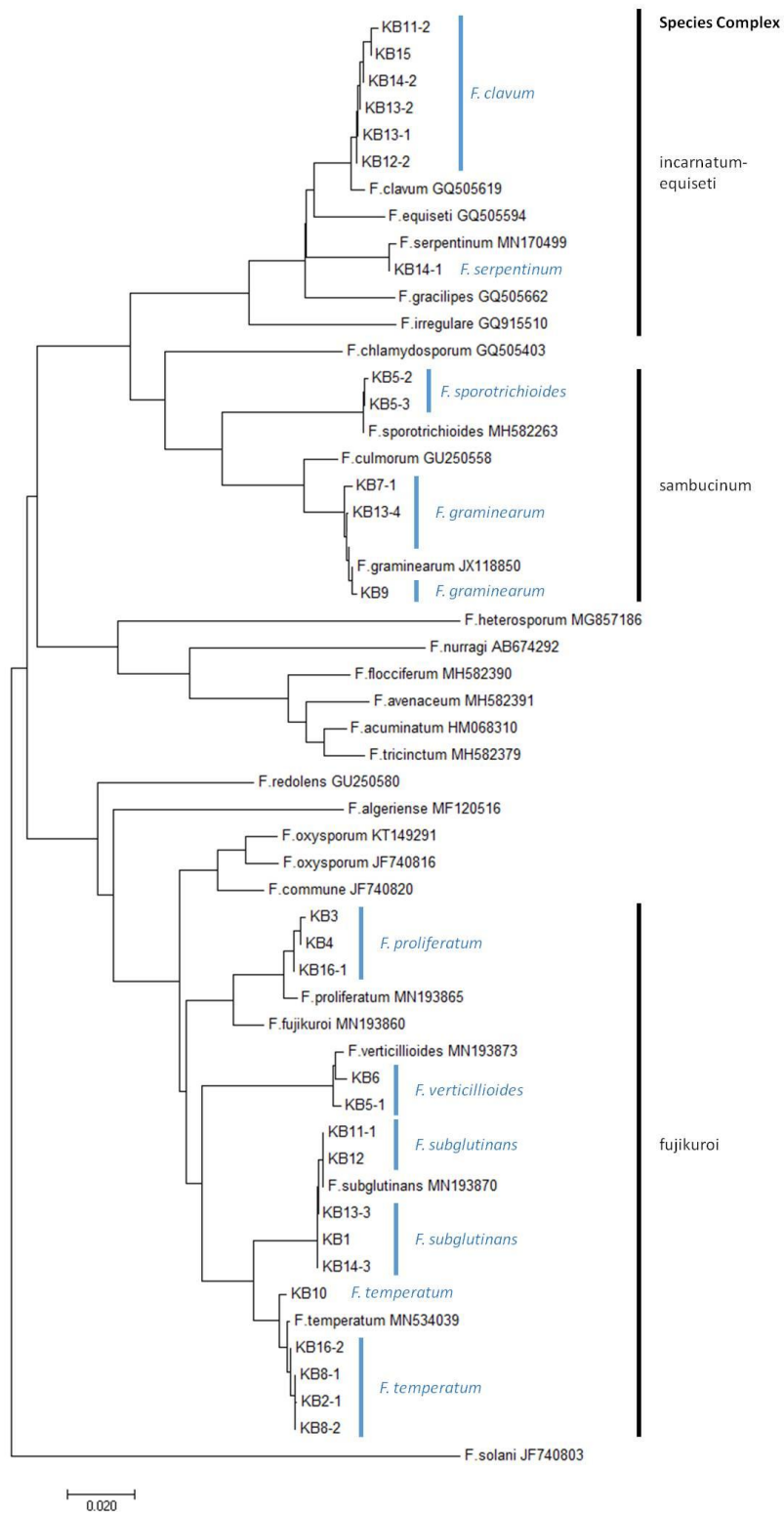
20. ábra: A vizsgált 19 hibrid fuzáriumos csőpenész-fertőzöttségének százalékos eltérése a kísérleti átlagoktól a kísérleti évek és helyek adatai alapján (2014-2016)



21. ábra: Vizsgált 19 hibrid fuzáriumos szártörés-fertőzőségének százalékos eltérése a kísérleti átlagoktól a kísérleti évek és helyek adatai alapján (2014-2016)

### 5.1.8 A fajmeghatározás eredménye

A Kaposváron és Szombathelyen gyűjtött összesen 21 szármintából 6 különböző *Fusarium* fajt izoláltunk (22. ábra). Egy mintán több faj is előfordult, így összesen 27 meghatározás történt. Szombathelyen *F. subglutinans*, *F. temperatum*, *F. proliferatum* és *F. verticillioides* fordult elő. Kaposváron *F. verticillioides*, *F. graminearum*, *F. subglutinans*, *F. proliferatum*, *F. temperatum* és *F. clavum* okozta a szártörést.



22. ábra: A *Fusarium* fajok filogenetikai törzsfája feltüntetve a 2015-ben gyűjtött izolátumokat (Szombathely és Kaposvár)

A meleg és aszályos 2015-ös évjáratban fellépett nagymértékű szártókorhadást kiváltó *Fusarium* fajok összetételét vizsgálva a melegigényes *F. temperatum* jelenlétét is igazoltuk 4 minta esetében, melyből 3 (KB16/2, KB 8/1, KB8/2) kaposvári származású és 1 (KB 2/1) szombathelyi származású szártó volt (Molnár et al. 2017b) (17. táblázat). Czembor et al. (2015) *F. temperatum* lengyelországi előfordulását is összefüggésbe hozta a meleg és száraz évjáratok gyakoriságának növekedésével.

17. táblázat: A molekulárisan azonosított izolátumok kódja és gyűjtési helye (2015)

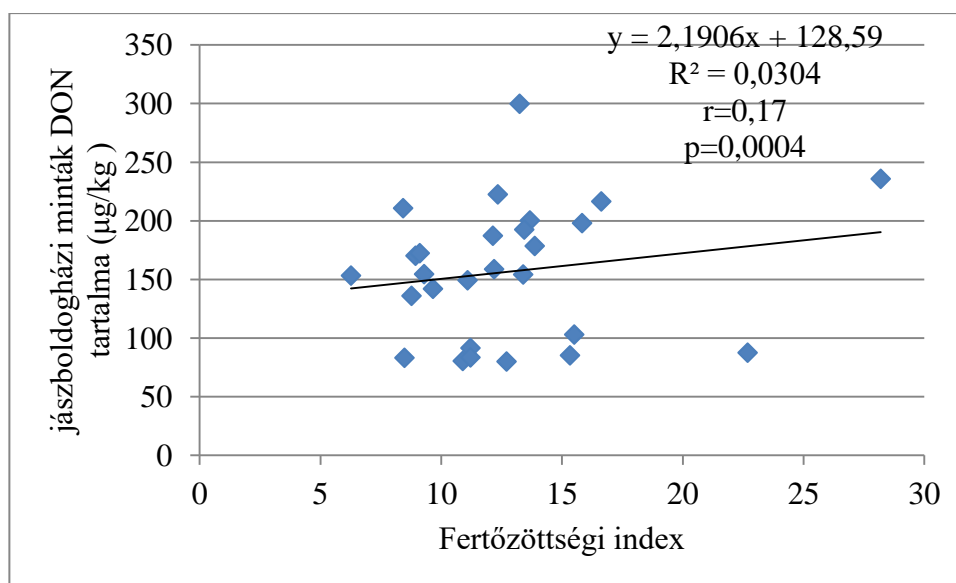
Izolátum kód	Gyűjtés helye
KB1	Szombathely
KB2/1	Szombathely
KB3	Szombathely
KB4	Szombathely
KB5/1	Szombathely
KB6	Kaposvár
KB7/1	Kaposvár
KB8/1	Kaposvár
KB9	Kaposvár
KB10	Szombathely
KB11/2	Kaposvár
KB11/1	Kaposvár
KB12/2	Kaposvár
KB12	Kaposvár
KB13/1	Kaposvár
KB13/3	Kaposvár
KB14/1	Kaposvár
KB14/2	Kaposvár
KB14/3	Kaposvár
KB15	Kaposvár
KB16/1	Kaposvár

### 5.1.9 A toxinvizsgálat eredményei és kapcsolata a csőpenészedés-ellenállósággal

A vizuális felvételezések alapján, 2021-ben Jászboldogházán erős fuzáriumos csőpenészedés-fertőzöttséget tapasztaltunk. A FAO 300-399 39 hibridből álló csoportjának a fuzáriumos csőpenészedése átlagosan 35,4 fertőzöttség db% és 12,8 fertőzöttségi index volt. 2022-ben Szarvason alacsonyabb csőpenészedést tapasztaltunk, 12 fertőzöttség db% és 3,7 fertőzöttségi index jellemezte. A

jászboldogházi minták esetében DON- és a Fumonizin B1+B2-tartalmat mértünk. DON esetében 80 µg/kg- 299 µg/kg szélsőértékek közötti tartalmat mértünk az ismétlések átlagában. Fumonizin B1 és B2 esetében 431 µg/kg- 6526 µg/kg szélsőértékek közötti tartalmat kaptunk az ismétlések átlagában. A szarvasi mintákban a Fumonizin B1 és B2 tartalom átlagértékei 250 µg/kg - 2716 µg/kg szélsőértékek között alakult.

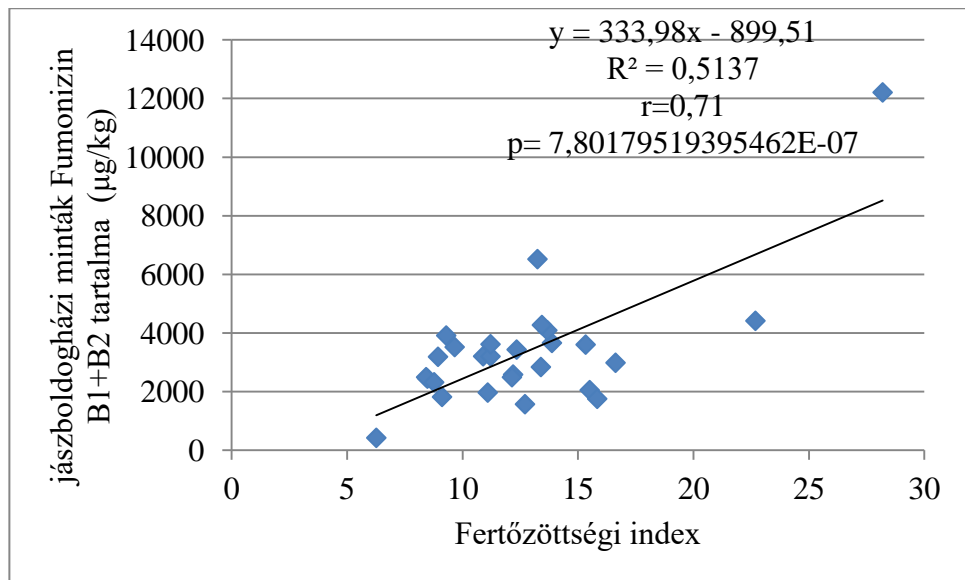
Vizsgáltuk a fertőzöttség és a toxintartalom összefüggését. A DON toxintartalom és a vizuális felvételezés fertőzöttségi index értékei kapcsolatát vizsgálva a Pearson-féle korrelációs koefficiens értéke 0,17, ami laza kapcsolatot jelent a két vizsgált adatsor között (23. ábra). Mesterházy et al. (2020) vizsgálataik során DON toxintartalom és a *F. graminearum* fertőzöttség között szoros összefüggést ( $r= 0,58$ ) állapítottak meg mesterséges fertőzést alkalmazva.



23. ábra: A betakarított csőminták DON toxintartalma és a fertőzöttsége közötti összefüggés (Jászboldogháza, 2021)

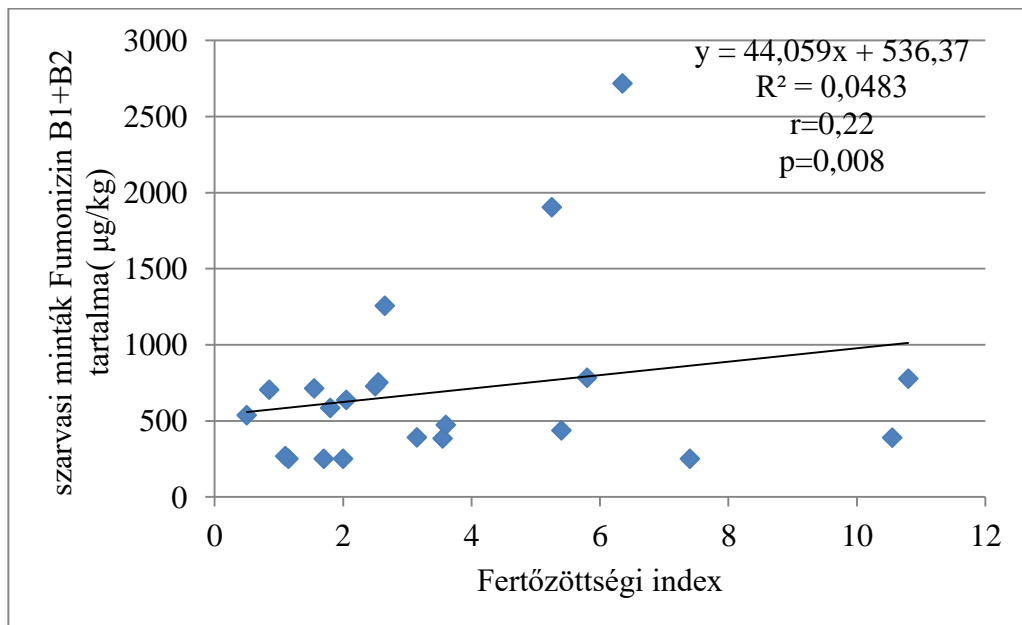
A 24-es ábrán a fumonizin B1 és B2 toxin értékek és a fertőzöttségi indexének a kapcsolatát mutatjuk be. A Pearson korrelációs koefficiens értéke: 0,71, ami szoros kapcsolatnak felel meg.





24. ábra A betakarított csőminták Fumonizin B1 és B2 toxintartalma és a fertőzöttségi index közötti összefüggés (Jászboldogháza, 2021)

A 25-ös ábrán a szarvasi betakarított minták esetében fumonizin B1 és B2 toxin értékek és a fertőzöttségi indexének a kapcsolatát mutatjuk be. A összehasonlítva Pearson korrelációs koefficiens értéke: 0,22, ami laza kapcsolatnak felel meg.



25. ábra A betakarított csőminták Fumonizin B1 és B2 toxintartalma és a fertőzöttségi index közötti összefüggés (Szarvas, 2022)

A vizsgált 27 hibrid 56%-át (15 hibrid) mindkét szempont (fertőzöttségi index és fumonizin B1 és B2 toxintartalom) alapján azonos rezisztenciakategóriába tudtuk besorolni. Tizenegy hibrid (41%) 1 kategória, míg 1 hibrid esetében (3%) 2 kategóriaeltérés volt a két besorolási szempont között, a fertőzöttségi index alapján közepesen fogékony kategóriába került, azonban a magas toxin-tartalma alapján nagyon fogékony kategóriába került (18. táblázat).

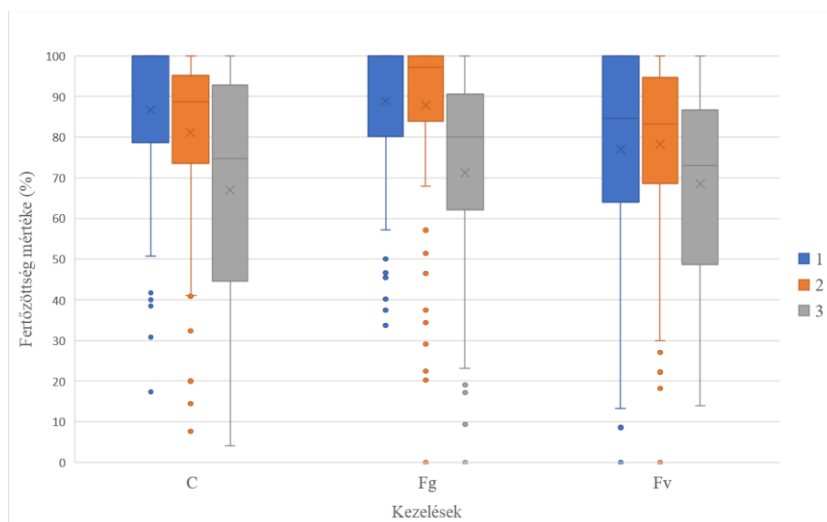
18. táblázat: A vizsgált 27 hibrid rezisztenciakategóriái csőpenészedési fertőzöttségi index és toxintartalom alapján (Jászboldogháza, 2021)

Hibrid kód	rezisztenciakategória fertőzöttségi index alapján	rezisztenciakategória fumonizin B1 és B2 tartalom alapján
1	2	3
2	3	3
3	3	3
4	2	2
5	2	1
6	3	2
7	3	3
8	3	3
9	3	2
10	3	3
11	5	4
12	3	3
13	2	2
14	3	3
15	3	2
16	3	3
17	5	5
18	2	3
19	3	3
20	3	5
21	2	2
22	3	2
23	2	2
24	3	4
25	3	2
26	4	3
27	3	3

## 5.2. Szántóföldi mesterséges szárfertőzés eredményei

### 5.2.1. Fogvájós fertőzési módszer fertőzöttségi adatai

A fogvájós fertőzési módszer fertőzöttségi adatainak értékelése során megállapítható, hogy a fertőzöttségi értékek nagyon magasak voltak (26. ábra). A fogékony genotípus esetében szinte minden tő 80-100% között fertőződött, a közepesen fogékony és az ellenálló genotípus esetében is voltak 80% felett fertőződött növények. A fertőzöttségi értékek nagysága alapján a genotípusok közötti fogékonyágbeli különbség következetes volt, tehát a legmagasabb fertőzöttségi értékeket a fogékony, a legalacsonyabbakat pedig az ellenálló genotípus fertőzése mutatta. A kezelések között volt szignifikáns különbség Kruskal-Wallis próba alapján ( $H(2)=25,510$ ,  $P=0,000$ ) (26. ábra). A kezelések páronkénti összehasonlítása Dunn utóteszt alapján megállapítható, hogy a *F. graminearum* okozta fertőzöttség szignifikánsan ( $p<0,05$ ) megkülönböztethető volt a *F. verticillioides* okozta fertőzöttségtől. Nagyobb mértékű fertőzöttséget a *F. graminearum* okozott (19. táblázat). A sebzés által a steril fogvájós kontroll kezelés hatására is nagymértékű fertőzöttség alakult ki.



26. ábra: A fogvájós fertőzés okozta fuzáriumos szártörkorhadás eredményei a 2 termőhely és a 2 évjárat átlagában (C= kontroll, Fg= *Fusarium graminearum*, Fv= *Fusarium verticillioides*, 1=fogékony genotípus, 2=közepesen fogékony genotípus, 3=ellenálló genotípus) (Röjtökmuzsaj, Martonvásár, 2015 és 2019)

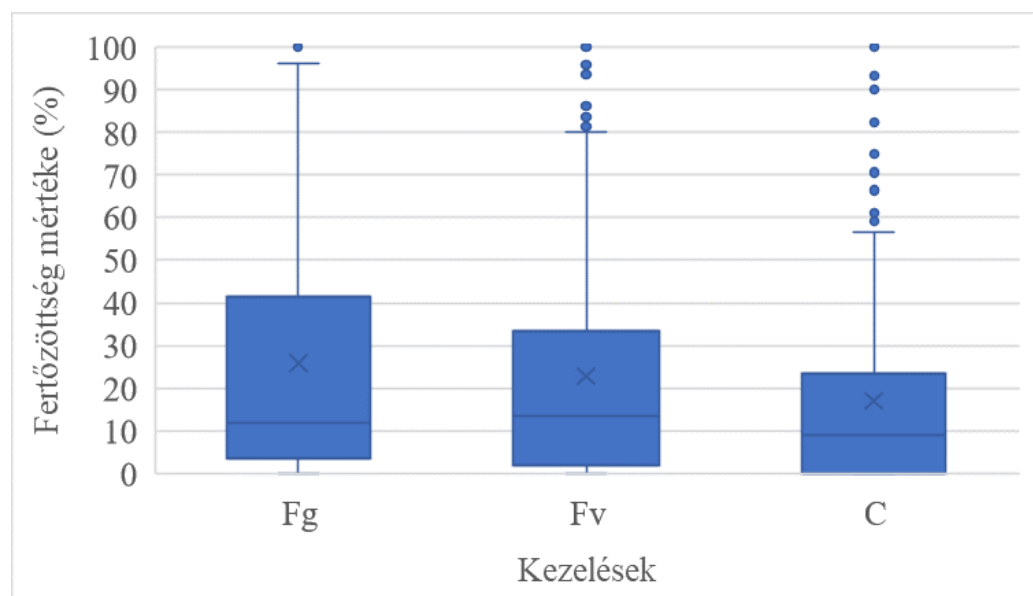
19. táblázat: A fogvájós fertőzés okozta fuzáriumos szártörkorhadás adatainak Kruskal-Wallis próba után végzett kezeléspáronkénti összehasonlítása Dunn-

Bonferroni utótesztel vizsgálva (C= kontroll, Fg= *Fusarium graminearum*, Fv= *Fusarium verticillioides*)

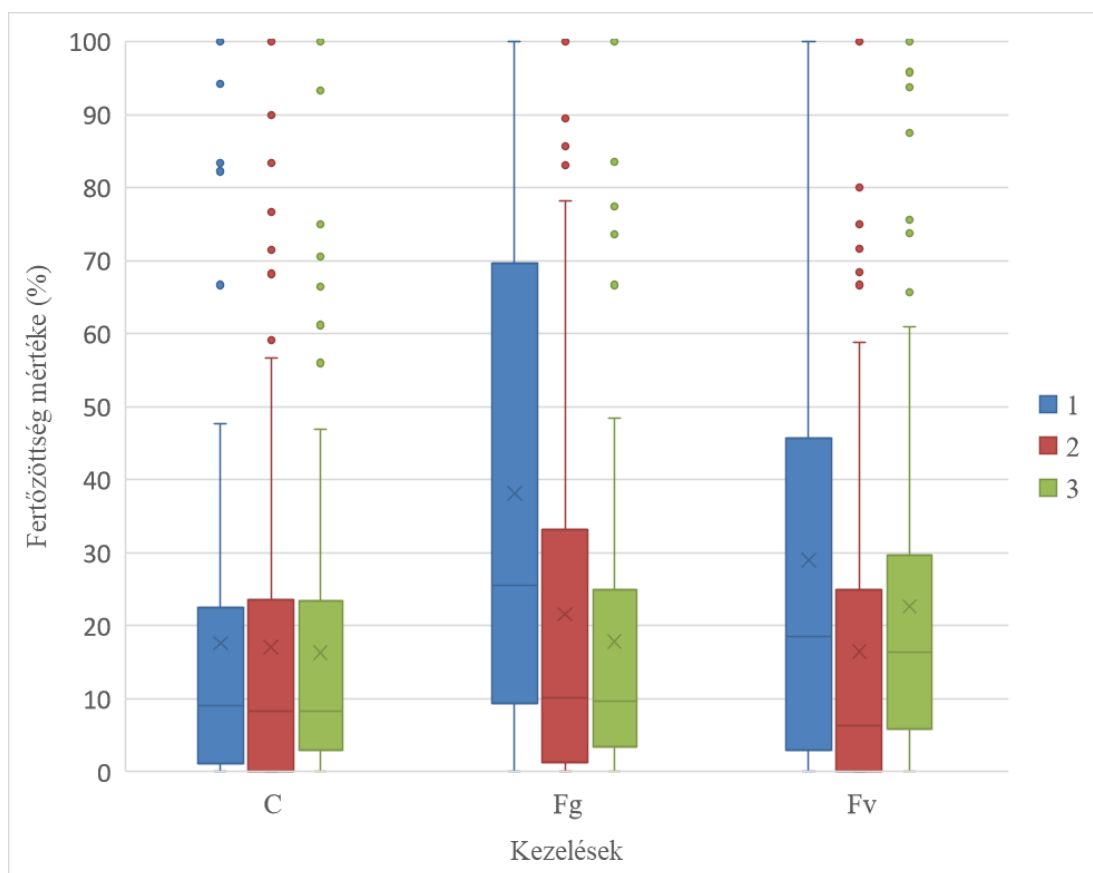
Kezelés pár	P
C-Fg	0,040
C-Fv	0,030
Fg-Fv	0,000

### 5.2.2. Talajfertőzéses módszer fertőzöttségi adatai

Ha a genotípusok fertőzöttségét összevonva értékeljük Kruskal-Wallis próbával akkor volt szignifikáns különbség a kezelések között ( $H(2)=16,456$ ,  $P=0,000$ ) (27. ábra). A kezelések páronkénti összehasonlítása Dunn utóteszt alapján a kontrolltól mindkét kezelés (*F. verticillioides* és *F. graminearum*) hatása szignifikánsan eltért (19. táblázat). Tehát mindkét talajkezelésnek volt szignifikánsan provokáló hatása a fertőzöttség kialakulására. A legmagasabb fertőzést a fogékony genotípus *F. graminearum* izolátummal végrehajtott kezelését követően tapasztaltuk (28. ábra). A genotípusok páronkénti összehasonlítása során a fogékony genotípus fertőzöttsége szignifikánsan eltért a másik két genotípus fertőzöttségétől.



27. ábra: A talajinokuláció okozta fuzáriumos szártőkorhadás eredményei a 2 kísérleti hely, a 2 évjárat és a genotípusok átlagában a mért területi arány alapján %-ban kifejezve (C= kontroll, Fg= *Fusarium graminearum*, Fv= *Fusarium verticillioides*) (Röjtökmuzsaj, Martonvásár, 2015 és 2019)



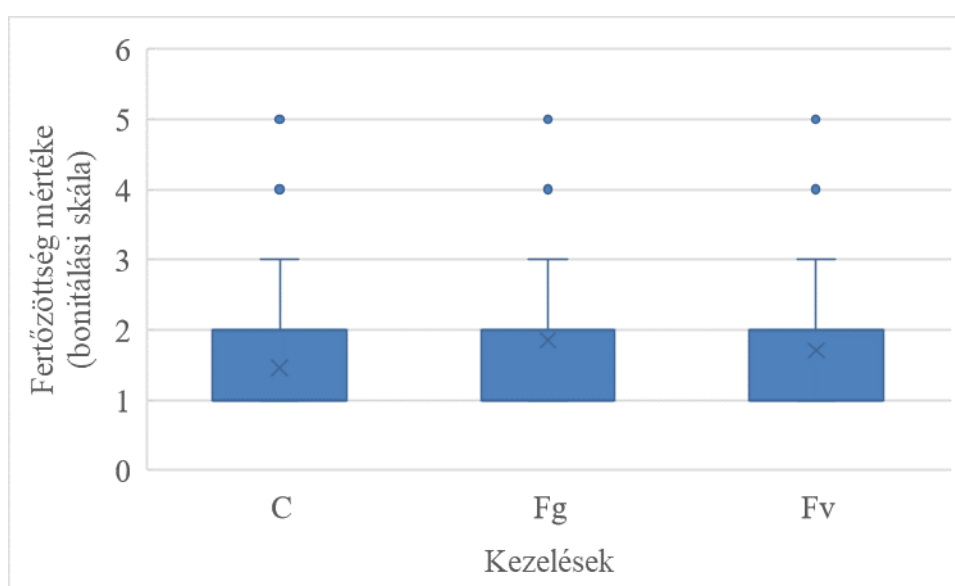
28. ábra: A talajinokulációs fertőzést követő fuzáriumos szártőkorhadás eredményei a 2 kísérleti hely és a 2 évjárat átlagában mért területi arány alapján %-ban kifejezve (C= kontroll, Fg= *Fusarium graminearum*, Fv= *Fusarium verticillioides*, 1=fogékony genotípus, 2=közepesen fogékony genotípus, 3=ellenálló genotípus) (Röjtökmuzsaj, Martonvásár, 2015 és 2019)

20. táblázat: A talajinokulációs fertőzést követő fuzáriumos szártőkorhadás területi arány adatainak Kruskal-Wallis próba után végzett kezelés páronkénti összehasonlítása során kapott szignifikáns eltérések Dunn-Bonferroni utótesztel vizsgálva  $p=5\%$ , (C= kontroll, Fg= *Fusarium graminearum*, Fv= *Fusarium verticillioides*) (Budapest, 2021)

Kezelés pár	P
C-Fg	0,000
C-Fv	0,010

Ha a genotípusok fertőzöttségét a vizuális felvételezés alapján bonitálási skálában kifejezett adatai alapján összevonva értékeljük Kruskal-Wallis próbával akkor volt

szignifikáns különbség a kezelések között ( $H(2)=21,732, P=0,000$ ) (29. ábra). A kezelések páronkénti összehasonlítása Dunn utóteszt alapján a kontrolltól mindkét kezelés (*F. verticillioides* és *F. graminearum*) hatása szignifikánsan eltért (21. táblázat). Tehát mindkét talajkezelésnek volt szignifikánsan provokáló hatása a fertőzöttség kialakulására a vizuális felvételezés alapján is. A genotípusok páronkénti összehasonlítása során a fogékony genotípus fertőzöttsége szignifikánsan eltért a másik két genotípus fertőzöttségétől a *F. graminearum* kezelés esetében, a *F. verticillioides* esetében a fogékony genotípus és az ellenálló genotípus adatai között volt szignifikáns különbség (30. ábra és 22. táblázat).

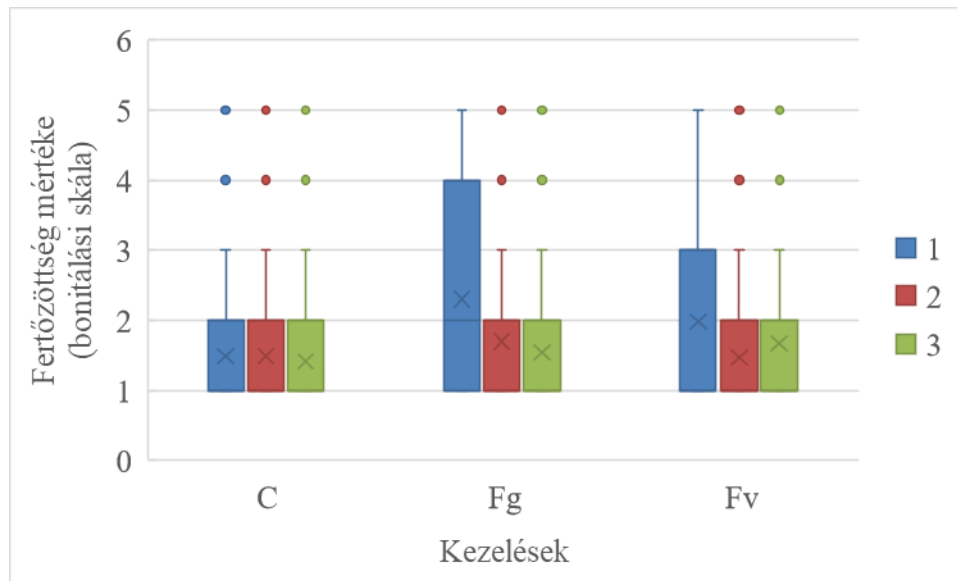


29. ábra: A talajinokuláció okozta fuzáriumos szártőkorhadás eredményei a 2 kísérleti hely, a 2 évjárat és a genotípusok átlagában vizuális felvételezés alapján bonitálási skálán kifejezve (C= kontroll, Fg= *Fusarium graminearum*, Fv= *Fusarium verticillioides*) (Röjtökmuzsaj, Martonvásár, 2015 és 2019)

21. táblázat: A talajinokulációs fertőzést követő fuzáriumos szártőkorhadás vizuális felvételezés adatainak Kruskal-Wallis próba után végzett kezelés páronkénti összehasonlítása során kapott szignifikáns eltérések Dunn-Bonferroni utóteszttel vizsgálva  $p=5\%$  (C= kontroll, Fg= *Fusarium graminearum*, Fv= *Fusarium verticillioides*) (Budapest, 2021)

Kezelés pár	P
C-Fg	0,006

C-Fv	0,000
------	-------



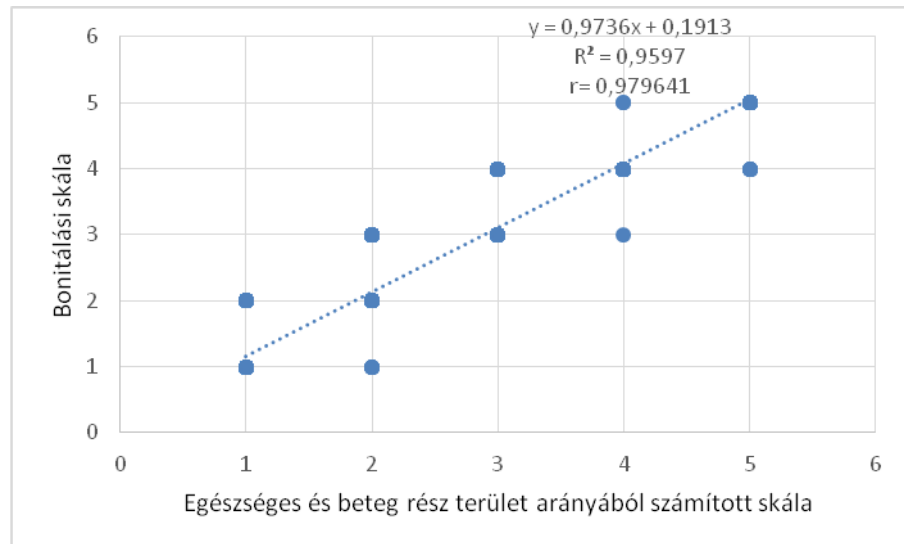
30. ábra: A talajinokulációs fertőzést követő fuzáriumos szártőkorhadás eredményei a 2 kísérleti hely és a 2 évjárat átlagában vizuális felvételezés alapján bonitálási skálán kifejezve (C= kontroll, Fg= *Fusarium graminearum*, Fv= *Fusarium verticillioides*, 1=fogékony genotípus, 2=közepesen fogékony genotípus, 3=ellenálló genotípus) (Röjtkömujsaj, Martonvásár, 2015 és 2019)

22. táblázat: A talajinokulációs fertőzést követő fuzáriumos szártőkorhadás vizuális felvételezés adatainak Kruskal-Wallis próba után végzett kezelés páronkénti összehasonlítása során kapott szignifikáns eltérések Dunn-Bonferroni utótesztel vizsgálva  $p= 5\%$  (Fg= *Fusarium graminearum*, Fv= *Fusarium verticillioides*, 1=fogékony genotípus, 2=közepesen fogékony genotípus, 3=ellenálló genotípus) (Budapest, 2021)

Kezelés pár		P
Fg	1-3	0,00
	1-2	0,001
Fv	1-3	0,001

### 5.2.3. Az értékelési módok összehasonlításának eredményei

A vizuális értékelés alapján kapott bonitálási értékek, valamint az egészséges és beteg szárrészek területi arányának a százalékos értékeket besoroltuk Afolabi et al. (2018) skálája alapján bonitálási kategóriába. A kapott két adatsor korrelációját megvizsgáltuk. Az értékek között szignifikánsan szoros összefüggést ( $r=0,98^{***}$ ) kaptunk (31. ábra). A regresszió analízis alapján a korreláció szignifikáns ( $p=4,38151214553949E-10$ ).



31. ábra: Összefüggés a bonitálási skála és az egészséges és beteg szárrészek területi aránya alapján számított fuzáriumos szártőkorhadás adatai között (2015 és 2019, Rőjtökmuzsaj és Martonvásár)



## 6. KÖVETKEZTETÉSEK

### 6.1. Természetes fertőzöttségű szántóföldi kísérletek eredményeinek értékelése

#### 6.1.1. Az évjárat hatása a csőpenészedés és szártőkorhadás értékelésére

A természetes fertőzöttségű szántóföldi kísérletek eredményei szerint az évjárat jelentős hatást gyakorol a kukorica szártőkorhadására és csőpenészedésére egyaránt. A csőpenészedés mértékét a virágzás időszakában lehullott csapadék mennyisége alapvetően meghatározza. A fajmeghatározás eredményei alapján a már elterjedt *Fusarium* fajokon kívül a jövőben a *F. temperatum*-mal is számolnunk kell a szártőkorhadás kiváltásában. Az évjárat jelentősen befolyásolja a természetes fertőzésben résztvevő *Fusarium* fajok összetételét, ezért célszerű az állami fajtaelismerés rezisztenciavizsgálatait kiegészíteni fajmeghatározással. Egy adott évjáratban jelenlévő *Fusarium* fajoknak nemcsak a rezisztencia szempontjából van jelentősége, hanem a toxinok összetételét és mennyiségét is meghatározzák. Több prevalens faj mesterséges fertőzésével beállított kísérlet biztosítja a meghatározó fajok jelentését minden évben a vizsgálati területen.

#### 6.1.2. A kísérleti helyek hatása a csőpenészedés és szártőkorhadás értékelésére

A kísérleti hely statisztikailag igazolható hatást gyakorol a csőpenész- és szártőfertőzöttségre egy adott évjáraton belül. A Fajtakísérleti Állomások az ország eltérő éghajlati adottságú területein vannak, így egy éven belül is különböző volt a kísérleti helyek éghajlati jellemzői. Ebből a szempontból a legjelentősebb a vegetációs idő alatt hullott csapadék mennyisége. A *Fusarium* fajok fertőzését meghatározzák egyéb helyi környezeti tényezők, mint például az elővetemény. A szarvasi Fajtakísérleti Állomás öntözése biztosított, mely lehetővé teszi száraz időben is a csapadékigényesebb fajok fertőzését. A röjtökmuzsaji monokultúra mellett várhatóan a szarvasi monokultúrából is magasabb fertőzöttségi adatok fognak származni. Az ellenállóság-vizsgálat szempontjából fontos, hogy több természetes fertőzöttségű helyre alaposan tudjunk döntést hozni a helyeken előforduló fuzárium fajösszetételének ismeretében. A szártőkorhadásra az évjárat nagyobb hatást gyakorolt, mint a kísérleti hely. Ennek következtében szükség van mesterséges szártőfertőzéses kísérlet beállítására.

### **6.1.3. Az éréscsoport hatása a csőpenészedés és szártókorhadás értékelésére**

A FAO éréscsoportok hatását a csőpenész- és szártókorhadás-fertőzöttségre csak egy-egy évjáratban sikerült statisztikailag igazolni. 2016-ban a FAO 240-299 csoport csőpenészedés iránti fogékonysága és 2014-ben a FAO 180-240 csoport szártókorhadás-fogékonysága volt kiemelkedőbb. A későbbi éréscsoportok esetében is fennáll a veszély, ha kint maradnak sokáig a szántóföldön, hogy magasabb lesz a fertőzöttség a visszanedvesedés és felülfertőződés miatt, de a kórtani felvételezéseket betakarítás előtt a szántóföldön végezzük, így arról nincs adat a fajtaminósítás során. Az éréscsoportok fogékonyságbeli különbsége inkább egy tendenciát mutat, mindezt befolyásolhatják az adott csoportba, adott évben bejelentett genetikai anyagok tulajdonságai. De különbség adódhat az eltérő virágzási időből fakadóan is, ha kiegyenlítetlen csapadékos idő a jellemző.

### **6.1.4. Az időjárás és a környezeti tényezők hatásának a vizsgálat a csőpenészedés és szártókorhadás előrejelzésére**

Az eredményeink alapján a nyári csapadék mennyiségének és a kísérleti helynek volt a legnagyobb hatása befolyása a csőpenészedés mértékére. Vizsgálataink alapján a szártókorhadásra is az időjárás hatása volt a legmeghatározóbb (54,8%), azon belül is az augusztusban lehullott csapadékmennyiség (23,7%). A kísérleti hely hatása a szártókorhadás mértékére a csőpenészedéssel közel azonos százalék (22,2%). A kukorica állami fajtaelismerése céljából minden évben az ország legalább 9 helyén lévő Fajtakísérleti Állomásán végzünk betegség-ellenállóság vizsgálatot, ezért minden évben nagy mennyiségű fertőzöttségi adattal rendelkezünk mindkét betegségformára. A kísérleti helyek agrotechnológiai paraméterei is dokumentáltak, ezek biztosítják a lehetőséget arra, hogy a jövőben előrejelzés céljából megfigyeléseket végezzünk. Ez alapján eldönthető, hogy mely kísérleti helyeken kell elvégeznünk a természetes fertőzöttség felvételezését. A jövőben várhatóan toxinmérésekkel kiegészítjük az eredményeinket, így lehetőségünk lesz nemcsak a kórokozó fertőzöttségének az előrejelzésére, hanem a toxin-felhalmozódás előrejelzésére is.

### **6.1.5. A csőpenészedés- és szártókorhadás-ellenállóság kapcsolata**

A hibridek csőpenészedéssel és szártókorhadással szembeni ellenállósága között gyenge negatív kapcsolatot igazoltunk ( $r=-0,29$ ), ami az egymástól független genetikai szabályozásra utal. Megerősítettük, hogy a fajtajelöltek állami elismerését

célzó rezisztenciavizsgálatainkban mind a két betegségformával szembeni ellenállóság értékelése szükséges.

#### **6.1.6. A 2014-2016-os évjáratokban vizsgált 19 hibrid fuzáriumos csőpenészedéssel és szártőkorhadással szembeni ellenállóságának az alakulása az évjáratok és a kísérleti helyek átlaga alapján**

A fuzáriumos csőpenészedés és szártőkorhadás kialakulásának mértékét befolyásolják többek között az időjárási körülmények, az agrotechnológia, a rovarkártétel és meghatározó szerepe van a választott hibrid ellenállóságának. Bár a fuzáriummal szembeni rezisztenciamechanizmus még nem teljesen tisztázott, nincs egyértelműen fuzáriumrezisztens kukoricahibrid, vizsgálataink alapján vannak jó ellenállósággal rendelkező hibridek. A vizsgált 19 hibrid fogékonyságában megkülönböztethető a 3 év és a különböző helyek összevont eredményei alapján. A vizsgált hibridek többsége a mérsékelt rezisztens (2) és a közepesen fogékony (3) rezisztenciakategóriába tartozik mindkét betegségformával szemben.

Az értékelés során azonban meghatározza egy-egy hibrid végső rezisztenciakategóriába kerülését, hogy milyen fertőzöttségi nyomás mellett került felvételezésre a fertőzöttsége, illetve nagyban befolyásolja, hogy az éréscsoportban szereplő többi hibridnek milyen ellenállóság tulajdonságaik vannak. Az eredmények alapján gyakran nem stabil egy hibrid fogékonysága, mert egyik évről a másikra a bejelentések és visszavonások miatt változhat egy csoport kísérleti anyaga, és ezáltal a kísérleti átlagot adó hibridek változó összetételűek. Annak érdekében, hogy évről-évre fix ponthoz lehessen viszonyítani a hibridek fogékonyságbeli tulajdonságát, az adott hely, elővetemény és évjárat hatása összességében, fuzárium standardok beállítására van szükség éréscsoportonként. Olyan hibridek alkalmasak standardnak, melyek évről-évre, az adott évjáratnak és helynek hajlamosító tényezői mellett stabilan a kísérleti átlagnak megfelelő fertőzöttséget produkálnak. Ilyen a 11-es hibrid a vizsgált 19 hibridből. A jelen metodika szerint a kísérleti átlagot tekintjük közepesen fertőzöttségi kategóriára jellemző fertőzöttség középértékének, az ettől való eltérés anyag és módszerben leírt százalékok alapján történik a hibridek kategóriába sorolása. Tehát stabilan közepesen fogékony standardok alkalmazása során a számítási módszert nem kellene változtatni, csak a viszonyítási érték lenne független a kísérleti átlagot adó, többi hibrid fogékonyságbeli tulajdonságaitól. Stabil viszonyítási pontot jelentenének a fajtajelöltek fogékonyságbeli tulajdonságuk

megállapításához. További vizsgálatokat igényel, hogy FAO éréscsoportonként találjunk olyan már elismert hibrideket, amelyek alkalmasak kórtani standardnak. A standard használat a jelenleg is elfogadott metodika része, ami alapján a hibrid további gazdasági értékmérő tulajdonságát állapítjuk meg.

### **6.1.7 A toxinvizsgálat jelentősége a csópenészedés értékelésében**

A kukoricahibridek állami elismerésekor a rezisztenciakategóriába sorolás jelenleg a fertőzöttség felvételezése alapján történik. Toxintartalom-mérés jelenleg nem történik, azonban egyre nagyobb figyelmet kapnak a kórokozó által termelt mikotoxinok és azok mennyisége. A szemtermés mintákból elvégzett toxinmérések alapján a legnagyobb mértékben a fumonizin B1 és B2 fordult elő, amit a DON toxintartalom követett. A jászboldogházi természetes fertőzésből származó DON toxintartalom és fertőzöttségi db% között laza kapcsolatot igazoltunk ( $r=0,17$ ). Ugyanakkor Mesterházy et al. (2020) vizsgálataik során DON toxintartalom és a *F. graminearum* fertőzöttség között szoros összefüggést ( $r= 0,58$ ) állapítottak meg mesterséges fertőzést alkalmazva. A *F. verticillioides* és a fumonizin B1 és B2 toxintartalom kapcsolatának elemzése során mesterséges fertőzésű kísérlet esetében nem tapasztaltak szorosabb kapcsolatot ( $r=0,21$ ), azonban a jászboldogházi erős fertőzöttségéből származó fumonizin B1 és B2 toxintartalom és a fertőzöttségi index között szoros összefüggést igazoltunk ( $r=0,71$ ). A szarvasi alacsonyabb fertőzöttségű kísérlet mintáinak a fumonizin B1 és B2 toxintartalma és a fertőzöttség között mi is laza kapcsolato ( $r= 0,22$ ) tapasztaltunk. A jászboldogházi kísérletben vizsgált hibridek közül egyetlen hibridnek volt közepes fertőzöttség mellett magas toxintartalma. Alacsonyabb természetes fertőzöttség mellett nem tapasztaltunk szoros összefüggést a fertőzöttség mértéke és a toxintartalom között, ezért javasolt mesterséges csőfertőzéssel beállított rezisztenciavizsgálatok beállítását bevezetni és az abból származó minták élelmiszerbiztonságot szolgáló toxinmérésével ki kell egészíteni. A módszerfejlesztés eredményeképp elkerülhető, hogy tünetmentesen magas toxintartalommal rendelkező hibridek kerüljenek köztermesztésbe.

### **6.2. Szántóföldi mesterséges szárfertőzés eredményeinek értékelése**

Az évjáratok szártőkorhadásra kifejtett hatása miatt javaslatot teszünk a mesterséges szárfertőzés bevezetésére a rezisztenciavizsgálatokban. Mindkét módszer alkalmas a hibridek közötti fogékonyságbeli különbség kimutatására. A fogvájós fertőzéssel kapott fertőzöttségi értékek alapján a genotípusok közötti fogékonyság-különbség

következetes volt. A *F. graminearum* szignifikánsan nagyobb mértékű fertőzöttséget okozott, mint a *F. verticillioides*. Mesterséges csőfertőzéses kísérletek során is a *F. graminearum* erősebb megbetegítő képességét tapasztalták a *F. verticillioides*-hez képest (Mesterházy et al. 2020). A fogvájós mesterséges fertőzés esetében a kontrollkezelés következményeként is (steril fogvájó) magas szárfertőzés alakult ki, mivel a sebzés önmagában is növeli a fertőződés kockázatát. Azonban a fajtaelismerés rezisztenciavizsgálatai során érdemes kerülni a sebzéssel járó provokációs módszereket. Yang et al. (2010) véleményéhez hasonlóan nem találjuk megbízhatónak a fogvájós és szárinjektálás módszerek eredményeit, ha az oltóanyagot közvetlenül a növénybe juttatják. A természetes fertőzési útvonal során a kórokozó a gyökerekbe hatol és a gyökéren keresztül jut a szárba. Az általunk alkalmazott talajinokulációs módszer a természetes fertőzés útját követi. Mindkét *Fusarium* fajjal végzett talajkezelésnek provokáló hatása volt a fertőzöttség kialakulására. Összességében megállapítható, hogy a fajtakísérletekben a szártőkorhadás-ellenállóság vizsgálatához szükséges megkülönböztetőséget biztosíthatjuk talajfertőzéssel provokált mesterséges fertőzéssel. A kétféle fertőzöttségértékelési módszerrel (vizuális tünetértékelés, egészséges és beteg szárrészek területi arányának kiszámítása) kapott fertőzöttségi értékek között szoros összefüggést igazoltunk ( $r=0,98^{***}$ ), így indokolt az egyszerűbb és gyorsabban kivitelezhetőbb bonitálás alkalmazása a szártőkorhadás mértékének meghatározására a nagy hibridszámú rezisztenciavizsgálatokban.

## 7. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Megállapítottuk, hogy a jelenleg érvényben lévő fajtakísérleti metodika alkalmas a fajták csöpenészedés és szártőkorhadással szembeni ellenállóságának vizsgálatára, az évjáráthatás ellenére. Javaslatot tettünk metodika korszerűsítésére, annak érdekében, hogy megfelelő fertőzöttségi nyomást biztosítsunk az évjáráthatás további kiküszöbölésére, valamint élelmiszerbiztonsági szempontból fontos toxinok vizsgálatával történő kiegészítésre.

- Javaslat a mesterséges csőfertőzéses kísérlet beállítására. A fertőzöttség és a toxintartalom között, csak magas fertőzöttség esetén van szoros kapcsolat, ami természetes fertőzöttség esetén évjárat- és kísérleti helyfüggő.
- Javaslat mesterséges szárfertőzéses kísérlet beállítására. Igazoltuk, hogy a mesterséges fertőzési módszerek közül a fogvájós módszerrel összehasonlítva a természetes fertőződés folyamatát követő talajinokuláció megbízható adatokat szolgáltat. A szártőkorhadás fertőzöttség felvételezése kapcsán megállapítottuk, hogy a vizuális tünetértékelés és az egészséges és beteg szárrészek területi arányának a kiszámításával kapott fertőzöttségi adatok szoros összefüggést mutatnak. A két módszer között nem volt statisztikailag igazolható különbség, ezért a két módszer közül a nagyszámú vizsgálati hibridszám, az egyszerűbb és gyorsabb kivitelezhetőség miatt a bonitálási skála használatát (vizuális tünetértékelés) javasoljuk a bejelentett hibridek szártőkorhadással szembeni ellenállóságának értékeléséhez.
- Javaslat az állami fajtaelismerés rezisztenciavizsgálatait kiegészíteni fajmeghatározással, mivel az évjárat jelentősen befolyásolja a természetes fertőzésben résztvevő *Fusarium* fajok összetételét. Magyarországon a 2014-es első leírást követő évben igazoltuk a *F. temperatum* jelenlétét további termőhelyeken (a fajtakísérleti állomásokon).

2. Öt év (2014-2016, 2017 és 2020) adataiból megállapítottuk a csöpenészedés és szártőkorhadás kialakulását leginkább meghatározó környezeti tényezőket, melyek ismeretében becsülni tudjuk az adott évjárat és termőhely fuzáriumos betegségeinek fellépésének valószínűségét. Az állami elismerésre bejelentett kukorica kísérlet minden évben nagy vizsgált fajtaszámmal rendelkezik, az előrejelzés segítségével meghatározható, melyik fajtakísérleti állomáson alakul ki megfelelő fertőzöttségi

nyomás, ahol érdemes a felvételezést a jelenleg érvényben lévő metodikában meghatározottól nagyobb ismétlés számban elvégezni. Ezáltal statisztikailag megbízhatóbb eredményeket kaphatunk.

3. Eredményeink alapján nem igazolható kapcsolat a kukorica fuzáriumos csőpenészedésével és szártőkorhadásával szembeni ellenállósága között, ami eltérő genetikai szabályozásra utal. Megfigyelésünk alapján a két betegségformát külön-külön kell értékelni az állami elismerés folyamata során.

## 8. ÖSSZEFOGLALÁS

A kukorica (*Zea mays* L.) a világ egyik legfontosabb takarmánynövénye. Magyarországon is a szántóföldi vetésforgó legmeghatározóbb növénye a búza mellett. A két növényfaj közös kórokozói a *Fusarium* fajok. A kukorica esetében különösen fontos szerepe van a fuzáriummal szembeni ellenállásnak, mert az ellene való vegyszeres védekezés nehezen kivitelezhető. A nemesítés során folyamatosan újabb és újabb hibrideket állítanak elő annak érdekében, hogy egyre nagyobb hozamokat érjenek el. A magas hozamok mellett a változó klimatikus tényezők miatt a termésbiztonság szerepe egyre fontosabb. A fuzáriumos csőpenészedés közvetlen kártétele a termésveszteség, azonban jelentősebb közvetett kártétele a mikotoxin-termelés, mely humán és állategészségügyi veszélyt jelent. A leggyakoribb mikotoxinok a deoxinivalenol, ezt követi a zearalenon és a fumonizinek. Az élelmiszerbiztonság érdekében a Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal (Nébih) vizsgálja az állami elismerésre bejelentett fajták fuzáriumos szártőkorhadásával és csőpenészedésével (*Fusarium* spp.) szembeni rezisztenciáját.

A kutatómunka során 2014-2016 év adatai alapján vizsgáltuk a kukorica állami fajtaelismerés jelenleg érvényes metodikája alapján végzett fuzáriumos betegség-ellenállóság kísérletek eredményeit. Megállapítottuk, hogy eredményesen megkülönböztethetők a vizsgált hibridek a fogékonyáguk alapján, annak érdekében, hogy megakadályozzuk a fogékony hibridek köztermesztésbe kerülését.

A vizsgált 3 évjárat közül 2014-ben és 2016-ban magasabb csőpenészedést tapasztaltunk, 2015-höz képest, mivel 2014 és 2016 júliusában (kukoricavirágzáskor) nagyobb mennyiségű csapadék hullott. A 2015-ös extrém meleg és aszályos évjárat a szártőkorhadás kialakulását fokozta. A természetes fertőzésre alapozott ellenállóság-vizsgálat során célszerű meghatározni az adott évben fellépő *Fusarium* fajok összetételét. Több prevalens faj mesterséges fertőzésével beállított kísérlettel tudjuk biztosítani a meghatározó fajok jelentését minden évben a vizsgálati területen. A szántóföldi vizuális felvételezés során nem végzünk fajmeghatározást. A 2015-ben fellépett nagymértékű szártőkorhadást kiváltó *Fusarium* fajok összetételét vizsgálva a melegigényes *F. temperatum* jelenlétét is igazoltuk. Az éghajlatváltozás hatására új fajok megjelenésére és elterjedésére kell számítani, ezért is fontosak a mesterséges



fertőzéses kísérletek mellett a természetes fertőzésre alapozott vizsgálatok fajmeghatározással kiegészítve.

Az ellenállóság-vizsgálat szempontjából fontos, hogy több természetes fertőzőttségű helyre alapozottan tudjunk döntést hozni a kísérleti helyeken előforduló *Fusarium* fajok összetételének ismeretében. A röjtökmuzsaji monokultúra mellett várhatóan a szarvasi monokultúrából is magasabb fertőzőttségi adatok fognak származni.

Előrejelző modell segítségével 5 év adata alapján értékeltük az csőpenészedés és szártőkorhadás mértékére ható tényezőket. A csőpenészedés mértékére a júniusi csapadékmennyiség és a kísérleti hely gyakorolta a legnagyobb hatást. A szártőkorhadás kialakulását az augusztusi csapadékmennyiség és a kísérleti hely befolyásolta legnagyobb mértékben. A kukorica állami fajtaelismerése céljából minden évben az ország legalább 9 helyén lévő Fajtakísérleti Állomásán végzünk betegség-ellenállóság vizsgálatot, ezért minden évben nagy mennyiségű fertőzőttségi adattal rendelkezünk mindkét betegségformára. A kísérleti helyek agrotechnológiai paraméterei is dokumentáltak, ennek köszönhetően lehetőségünk van előrejelzés céljából is megfigyeléseket végezni. A jövőben várhatóan toxinmérésekkel egészítjük ki az eredményeinket, így lehetőségünk lesz nemcsak a kórokozó fertőzőttségének az előrejelzésére, hanem a toxin-felhalmozódás előrejelzésére is.

A csőpenészedéssel és szártőkorhadással szembeni ellenállóság között nem igazoltunk összefüggést, ezért a fajtajelöltek állami elismerését célzó rezisztenciavizsgálatainkban mind a két betegségformával szembeni ellenállóság értékelése szükséges.

A jelenleg érvényben lévő vizsgálati metodika alapján is eredményesen vizsgálható a hibridek betegség-ellenállósága. Vannak azonban fejlesztési lehetőségek, melyekkel megbízhatóbbá lehet tenni a fajtaelismerés folyamatát. A kísérletek kiegészítése közepesen fogékony kórtani standardokkal elősegítené a rezisztenciakategóriába sorolás során fellépő ellentmondások elkerülését. A természetes fertőzőttségű kísérletek értékelése mellett szükségesnek tartjuk mesterséges fertőzés alkalmazását is a csőpenészedéssel és a szártőkorhadással szembeni ellenállóság vizsgálatához. A csőpenészedés-ellenállóság vizsgálatokor a vizuális tüneti értékelést ki kell egészíteni toxintartalom-méréssel az alacsony fertőzőttség mellett magas toxintartalmú hibridek

miatt. A szártőkorhadással szembeni ellenállóság vizsgálatához szükséges fertőzési nyomást biztosíthatjuk talajinokulációs provokációs kísérletekkel.

## SUMMARY

Maize (*Zea mays* L.) is one of the most important fodder crops in the world. In addition to wheat, it is the most important crop in field rotation in Hungary. Common pathogens of these plant species are *Fusarium* species. In case of maize, resistance to *Fusarium* is of paramount importance because chemical control against it is difficult. During selection, more and more hybrids are being produced to achieve ever-increasing yields. In addition to high yields, the role of crop safety is increasingly important due to changing climatic factors (Széles and Huzsvai, 2020). Depending on the year, the pathogen can cause a yield loss of 6-35% (Bottalico, 1998; Logrieco et al. 2002), which can reach 50% in severe cases (Yu et al. 2017). Direct damage caused by *Fusarium* ear rot is crop loss, but indirect mycotoxin production is a more significant direct damage, which poses threat to human and animal health. The most common mycotoxins are deoxynivalenol (DON), followed by zearalenone (ZEA) and fumonisins (FUM). The selection of less susceptible maize hybrids may offer an opportunity to reduce fusarium infection and mycotoxin contamination (Hoenisch and Davis 1994; Ramirez et al. 1996; Warfield and Davis 1996). For food safety, the National Food Chain Safety Office (*Nébih*) is studying the resistance of species registered for state acceptance to *Fusarium* stalk and ear rot (*Fusarium* spp.).

In the course of the research work, we tested the results of *Fusarium* disease resistance experiments carried out on the basis of the currently valid methodology of maize national species registration based on data of 2014-2016. We found that hybrids tested could be effectively distinguished on the basis of their susceptibility so that we can prevent susceptible hybrids from entering commercial cultivation from the National Variety List.

Of 3 years tested, higher ear rot level was observed in 2014 and 2016, compared to 2015, due to higher precipitation in July 2014 and 2016 (during corn silking). The extremely hot and droughty year of 2015 intensified the development of stalk rot. In the course of a resistance test based on natural infection, it is advisable to determine the composition of *Fusarium* species present in a given year. By artificial infection of several prevalent species, we can ensure the significance of the dominant species in the test field each year. No variety identification is performed during visual mapping in the field. Examining the composition of *Fusarium* species, which caused

a large amount of stalk rot in 2015, we confirmed the presence of heat-demanding *Fusarium temperatum*. The emergence and spread of new species are expected to occur as a result of climate change, therefore, in addition to experiments with artificial infections, studies based on natural infection, supplemented with species identification, are important.

It is important for resistance test to be able to make decision on several naturally infected sites based on the composition of *Fusarium* species in the experimental sites at. In addition to the monoculture in Röjtökmuzsaj, higher infection data are expected from the monoculture in Szarvas.

With a predictive model, we evaluated factors influencing the degree of ear and stalk rot. The extent of ear rot was affected mostly by precipitation in June and the experimental site. The development of stalk rot was affected particularly by precipitation in August and the experimental site. For national variety registration of maize, we carry out disease resistance testing at 9 selection stations (at least) in Hungary every year, therefore we have a large amount of infection data for both forms of disease. The agrotechnological parameters of the experimental sites are documented, due to which we can make observations to forecast. In the future, we are expected to supplement our results with toxin measurements, therefore we will be able to predict not only the infection of the pathogen, but also the accumulation of the toxin.

We did not prove correlation between resistance to ear and stalk rot, therefore in our resistance studies aimed at the national variety registration, it is necessary to evaluate the resistance to both forms of disease. There are hybrids that have good resistance to ear rot but are susceptible to stalk rot (hybrids 18 and 4), susceptible to both forms of the disease (hybrids 7 and 13), and resistant to both (hybrid 16).

The disease resistance of hybrids can also be successfully tested on the basis of the currently valid test methodology. However, there are opportunities for improvement to make the process of variety registration more reliable. Supplementing the experiments with moderately susceptible pathological standards would help to avoid inconsistencies in the classification of resistance. In addition to the evaluation of experiments with natural infection, it necessary to use an artificial infection to test resistance to stalk and ear rot. When testing resistance to ear rot, visual symptom

assessment should be supplemented by measurement of toxin content due to toxin-producing hybrids. Toxin measurement must be performed on samples from an artificial infection experiment at a testing site with a highly natural infection. The infection pressure required to test for resistance to stalk rot can be provided by soil inoculation challenge experiments.

## 9. MELLÉKLETEK

### 9.1 Irodalomjegyzék

1. 1881/2006/EK rendelet (2006.december 19.) Az élelmiszerekben előforduló egyes szennyező anyagok felső határértékeinek meghatározásáról Melléklet 2. szakasz: Mikotixinok
2. A takarmányokban előforduló mikotoxinok felső határértékei (44/2003 (IV.26.) FVM rendelet 2003)
3. AFOLABI, C. G., OJIAMBO, P. S., EKPO, E. J. A., MENKIR, A., BANDYOPADHYAY, R. (2008): Novel sources of resistance to fusarium stalk rot of maize in tropical Africa. In: *Plant Disease*, 92 772—780. p.
4. ANDERSON, N. R., ROMERO LUNA, M. P., RAVELLETTE, J. D., WISE, K. A., (2017): Impact of foliar fungicides on Gibberella ear rot and deoxynivalenol levels in Indiana Corn. In: *Plant Health Progress*, 18 186-191. p.
5. ANDRIOLLI, C. F., CASA, R. T., KUHNEM, P. R., BOGO, A., ZANCAN, R. L., REIS, E. M. (2016): Timing of fungicide application for the control of Gibberella ear rot of maize. In: *Trop. Plant Pathol.*, 41 264-269. p.
6. BACON, C. W., GLENN, A.E., YATES, I. E. (2008): *Fusarium verticillioides*: managing the endophytic association with maize for reduced fumonisins accumulation. In: *Toxin Reviews*, 27 411—46. p.
7. BALÁZS, F. (1990): A vízhiány által előidézett stressz állapot összefüggése a kukorica szártőkorhadás megjelenésével. In: *Kórtani és rezisztenciaproblémák búzában és kukoricában. Tudományos Konferencia*, 17. p.
8. BASLER, R. (2016): Diversity of *Fusarium* species isolated from UK forage maize and the population structure of *F. graminearum* from maize and wheat. In: *PeerJ*, 2143
9. Bayer, (2021): [https://ipad.bayerhungaria.hu/cropscience/content/gazdainfo/v2/online/pdf\\_36\\_termekek\\_114\\_tovabbi/pdf\\_36\\_termekek\\_114\\_tovabbi.pdf](https://ipad.bayerhungaria.hu/cropscience/content/gazdainfo/v2/online/pdf_36_termekek_114_tovabbi/pdf_36_termekek_114_tovabbi.pdf) Hozzáférés: 2021. december 10.
10. BÉKÉSI, P., HINFNER, K. (1970): Adatok a kukorica fuzáriumos megbetegedésének ismeretéhez (Data on the *Fusarium* spp. in maize). In: *Növényvédelem* 6, 13—18. (in Hungarian, English summary) Budapest: Mezőgazdasági Minősítő Intézet
11. BÉKÉSI P. (1992): A növénykórtani vizsgálatok szerepe a fajtaminősítésben. 90-92. p. In: Bódis Gy.(szerk) *A Magyar növény fajtakísérletezés centenáriuma* 1992.
12. BÉKÉSI, P. (1999): A rezisztenciális tulajdonságok jelentősége és vizsgálata a fajtakísérletekben. In: *Gyakorlati Agroforum*, OMMI. 7. p.
13. BÉKÉSI, P. (2001): A rezisztenciális tulajdonságok jelentősége és vizsgálata a fajtakísérletekben. In: *Gyakorlati Agroforum*, OMMI Konferencia előadásai, 7.
14. BÉKÉSI, P. (2019): A genetikai védelem- a rezisztencia szerepéről. In: *Agroforum*, 30 54-55. p.
15. BERGSTROM, G. C., SHIELDS E. J. (2002): Atmospheric spore dispersal and regional epidemiology of the *Fusarium* head blight fungus. In: *Phytopathology*, 92 593. p.

16. BERTHILLER, F., DALL'ASTA, C., SCHUHMACHER, R., LEMMENS, M., ADAM, G., KRŠKA, R. (2005): Masked mycotoxins: determination of a deoxynivalenol glucoside in artificially and naturally contaminated wheat by liquid chromatography-tandem mass spectrometry. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53 3421-3425. p.
17. BISBY, G. R., BAILEY, D., L. (1923): Ear and root rots. *Fourth Annual Report of the Survey of the Prevalence of Plant Diseases in the Dominion of Canada*, 33. p.
18. BLANDINO, M., REYNERI, A., VANARA, F., PASCALE, M., HAIDUKOWSKI, M., SAPORITI M., (2008): Effect of sowing date and insecticide application against European corn borer (Lepidoptera: Crambidae) on fumonisin contamination in maize kernels. In: *Crop Protection*, 27 1432– 6. p.
19. BOLDUAN, C.; MIEDANER, T., SCHIPPRACK, W., DHILLON, B.S., MELCHINGER, A. E., (2009): Genetic variation for resistance to ear rots and mycotoxins contamination in early European maize inbred lines. In: *Crop Science*, 2009, 49 2019–2028. p.
20. BOTTALICO, A. (1998): Fusarium diseases of cereals: Species complex and related mycotoxin profiles, in Europe. In: *Journal of Plant Pathology*, 80 85-103. p.
21. BUSH B. J, CARSON M. L, CUBETA, HAGLER W M, PAYNE G A (2004): Infection and Fumonisin Produktion by Fusarium verticillioides in Developing Maize Kernels. In: *Phytopathology* 94 (1) 88-93. p.
22. CADOT V., (2015): Questionnaire synthesis on bioagressors EU-VCU Experts Seminar, Coboru-Sdoo Pawlowice, 2015. július 1-3
23. CAO, A., SANTIAGO, R., RAMOS, A. J., SOUTO, X. C., AGUÍN, O., MALVAR, R. A., et al. (2014): Critical environmental and genotypic factors for *Fusarium verticillioides* infection, fungal growth and fumonisin contamination in maize grown in northwestern Spain. In: *Journal Food Microbiology*, 177 63–71.p.
24. CAVAGLIERI, L., ORLANDO, J., RODRÍGUEZ, M. I., CHULZE, S., ETCHEVERRY, M. (2005): Biocontrol of *Bacillus subtilis* against *Fusarium verticillioides* in vitro and maize root level. In: *Research in Microbiology*, 156 5-6: 748-754. p. <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2005.03.001>
25. CECCARELLI, S., GRANDO, S., MAATOUGUI, M., MICHAEL, M., SLASH, M., HAGHPARAST, R. et al. (2010): Plant breeding and climate changes. In: *The Journal of Agricultural Science*, 148 627–637.p.
26. CEGLAR, A., ZAMPIERI, M., TORETI, A. & DENTENER, F. (2019): Observed northward migration of agro-climate zones in Europe will further accelerate under climate change. In: *Earth's Future*, 7 1088–1101.p.
27. CHAMBERS KR (1988): Effect of time of inoculation on Diplodia stalk and ear rot of maize in South Africa. In: *Plant Disease*, 72 529–531.p.
28. CHAPMAN, S. C., CHAKRABORTY, S., DRECCER, M. F. & HOWDEN, S. M. (2012): Plant adaptation to climate change – opportunities and priorities in breeding. In: *Crop & Pasture Science*, 63 251–268.p.
29. CHARMLEY, L. L., ROSENBER, A., TRENHOLM, H., L. (1994) Factors responsible for economic losses due to *Fusarium* mycotoxin contamination of grains, foods and feedstuffs. 471–486.p. In: Miller JD & Trenholm HL (Szerk): *Mycotoxins in Grain Compounds Other Than Aflatoxin* , St Paul: Eagan Press
30. CHEN, J.F., DING, J.Q., LI, H.M., LI, Z.M., SUN, X.D., LI, J.J., WANG, R.X., DAI, X.D., DONG, H.F., SONG, W.B., CHEN, W., XIA, Z.L., WU, J.Y.

- (2012): Detection and verification of quantitative trait loci for resistance to *Fusarium* ear rot in maize. In: *Molecular Breeding*, 30 1649–1656.p.
31. CHET, I., HARMAN, G., BAKER, R. (1981): *Trichoderma hamatum*: its hyphal interactions with *Rhizoctonia solani* and *Pythium* spp. In: *Microbial Ecology*, 28-29. p.
  32. CHU, F. S., LI, G. Y. (1994): Simultaneous occurrence of fumonisin B1 and other mycotoxins in moldy corn collected from the People's Republic of China in regions with high incidences of esophageal cancer. In: *Applied and Environmental Microbiology*, 60 847–852.p.
  33. CLEMENTS, M.J., KLEINSCHMIDT, C.E., MARAGOS, C.M., PATAKY, J.K., WHITE, D.G. (2003): Evaluation of inoculation techniques for *Fusarium* ear rot and fumonisin contamination of corn. In: *Plant Disease*, 2003, 87, 147–153. p.
  34. CLEMENTS, M. J., MARAGOS, C. M., PATAKY J. K., WHITE, D. G. (2004): Sources of Resistance to fumonisin accumulation in grain and fusarium ear and kernel rot of corn. In: *Phytopathology*, 94. 3. 251-260. p.
  35. COOK RJ (1978): The incidence of stalk rot (*Fusarium* spp.) on maize hybrids and its effect on yield of maize in Britain. In: *Ann Appl Biol.*, 88 23–30. p.
  36. COTTEN, T. K., MUNKVOLD G.P. (1998): Survival of *Fusarium moniliforme*, *F. proliferatum*, and *F. subglutinans* in maize stalk residue. In: *Phytopathology*, 88:550–555.
  37. CZEMBOR, E., STEPIEN, L., WASKIEWICZ, A. (2015): Effect of environmental factors on *Fusarium* species and associated mycotoxins in maize grain grown in Poland. In: *PLoS ONE*, 10. 7. p.
  38. CZEMBOR, E., WASKIEWICZ, A., PIECHOTA, U., PUCHTA, M., CZEMBOR, J. H., STEPIEN, L. (2019): Differences in ear rot resistance and *Fusarium verticillioides*- produced fumonisin contamination between Polish currently and historically used maize inbred lines. In: *Frontiers in Microbiology*, 10. 449.p.
  39. CZIBULYÁS P. et al. (2017): Növényfajtakísérlet az elmúlt 25 évben, Szántóföldi növények. 37-65.p. In: Lukács J. (szerk) *125 éves a magyar növényfajtakísérlet 2017*. Budapest: Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal
  40. CSAPÓ J (2017): Röviden a növényfajtakísérletről. 23-29. p. In: Lukács J. (szerk) *125 éves a magyar növényfajtakísérlet 2017*. Budapest: Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal
  41. CSAPÓ J (2021): Nemzeti fajtajegyzék. Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal, Budapest
  42. De la CAMPA, R., HOOKER, D., MILLER, D., SCHAAFSMA, A. W., HAMMOND, B. G. (2005): Modeling effects of environment, insect damage, and Bt genotypes on fumonisin accumulation in maize in Argentina and the Philippines. In: *Mycopathologia* 159 539-552. p.
  43. DESJARDINS A. E., MUNKVOLD, G. P., PLATTNER, R. D., PROCTOR, R. H. (2002): FUM1 – a gene required for fumonisin biosynthesis but not for maize ear rot and ear infection by *Gibberella moniliformis* in field tests. In: *Moecular Plant-Microbe Interactions*, 15 1157–1164. p.
  44. DESJARDINS, A. E. (2006): *Fusarium* mycotoxins: chemistry, genetics and biology. In: *St Paul Journal*,
  45. DING Y., SUN T., AO K., PENG Y., ZHANG Y., LI X., ZHANG Y (2018) Opposite roles of salicylic acid receptors NPR1 and NPR3/NPR4 in transcriptional regulation of plant immunity. In: *Cell* 173. 6. 1454-1467. p.



46. DODD, J.L. (1980): The role of plant stresses in development of corn stalk rot. In: *Plant Disease*, 64 533-537. p.
47. DOOHAN FM, BRENNAN J, COOKE BM (2003): Influence of climatic factors on *Fusarium* species pathogenic to cereals. In: *European Journal of Plant Pathology*, 109 755–768. p.
48. DORN B., FORRER H.-R., SCHÜRCH S., VOGELGSANG S. (2009): *Fusarium* species complex on maize in Switzerland: occurrence, prevalence, impact and mycotoxins in commercial hybrids under natural infection. In: *European Journal of Plant Pathology*, 125 51–61.p.
49. DUAN C.X., QIN Z.H., YANG Z.H., LI W.X., SUN S.L., ZHU Z.D., WANG X.M. (2016): Identification of pathogenic *Fusarium* spp. causing Maize ear rot and potential mycotoxin production in China. In: *Toxins*, 8 186–19.p.
50. DUNCAN, K. E., HOWARD, R., J. (2010): Biology of maize kernel infection by *Fusarium verticillioides*. In: *Molecular Plant Microbe Interaction*, **23**, 6-16.p.
51. DUTTON, M.F. (2009): The African Fusarium/maize disease. In: *Mycotoxin Res.*, 25 29–39. p. DOI: 10.1007/s12550-008-0005-8
52. EUROPEAN COMMISSION (2021) Plant variety database [https://ec.europa.eu/food/plant/plant\\_propagation\\_material/plant\\_variety\\_catalogues\\_databases/search/public/index.cfm?event=SearchForm&ctl\\_type=A](https://ec.europa.eu/food/plant/plant_propagation_material/plant_variety_catalogues_databases/search/public/index.cfm?event=SearchForm&ctl_type=A)  
Hozzáférés: 2021. november 3.
53. FIGUEROA-LÓPEZ, A. M., CORDERO-RAMÍREZ, J. D., MARTÍNEZ-ÁLVAREZ, J. C., LÓPEZ-MEYER, M., LIZÁRRAGA-SÁNCHEZ, G. J., FÉLIX-GASTÉLUM, R., CASTRO-MARTÍNEZ, C., MALDONADO-MENDOZA, I. E. (2016): Rhizospheric bacteria of maize with potential for biocontrol of *Fusarium verticillioides*. In: *SpringerPlus*, 5 330 1-12. p.
54. FOLCHER, L., JARRY, M., WEISSENBERGER, A., GERAULT, F., EYCHENNE, N., DELOS, M., REGNAULT-ROGER, C. (2009): Comparative activity of agrochemical treatments on mycotoxin levels with regard to corn borers and *Fusarium* mycoflora in maize (*Zea mays* L.) fields. In: *Crop Protection*, 28 302—308. p.
55. FRANCIS, R. G., BURGESS, L.W. (1975): Surveys of Fusaria and other fungi associated with stalk rot of maize in Eastern Australia. In: *Austral Journal of Agriculture Research*, 26 801–807. p.
56. FUMERO, M. V., SULYOK, M., CHULZE, S. (2016): Ecophysiology of *Fusarium temperatum* isolated from maize in Argentina. In: *Food Additives and Contaminants*, 33 147-156. p.
57. GILL S S, TUTEJA N, (2009) Polyamines and abiotic stress tolerance in plants. In: *Plant Signaling and Behavior*. 5. 1. 26-33.
58. GIULINI, A. (2021): VCU protocols across Europe: a case-study within Innovar project. In: *EU-VCU Experts Group Meeting*, Svájc, 2021 szeptember 27-28
59. 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. In: *European Journal of Plant Pathology*, 128 101–111.p.
60. HAKALA, K., HANNUKKALA, A. O., HUUSELA-VEISTOLA, E., JALLI, M., PELTONENSAINIO, P. (2011): Pests and diseases in a changing climate: A major challenge for Finnish crop production. In: *Agricultural and Food Science*, 20 3–14.p.

61. HAMMER, G. L., MCLEAN, G., OOSTEROM, E., CHAPMAN, S., ZHENG, B., WU, A. (2020): Designing crops for adaptation to the drought and high-temperature risks anticipated in future climates. In: *Crop Science*, 60 605–621.p.
62. HARRIS, L J, BALCERZAK M, JOHSTON A, SCHNEIDERMAN D, OUELLET T (2016) Host-preferential *Fusarium graminearum* gene expression during infection of wheat, barley and maize. In: *Fungal Biology* 120. 11-123.
63. HARRISON, L. R., COLVIN, B. M., (1990): Pulmonary edema and hydrothorax in swine produced by fumonisin B1, a toxic metabolite of *Fusarium moniliforme*. In: *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 2. 217-221.p.
64. HASANUZZAMAN, M., ALHAITHLOUL, H. A. S., PARVIN, K., BHUYAN, M. H. M. B., TANVEER, M., MOHSIN, S. M., NAHAR, K., SOLIMAN, M. H., MAHMUD, J. A., FUJITA, M. (2019). Polyamine action under metal/metalloid stress: Regulation of biosynthesis, metabolism, and molecular interactions. In : *International Journal of Molecular Sciences* 20, 3215.p.
65. HENRY, W.B.; WILLIAMS, W.P.; WINDHAM, G.L.; HAWKINS, L.K. (2009): Evaluation of maize inbred lines for resistance to *Aspergillus* and *Fusarium* ear rot and mycotoxin accumulation. In: *Agronomy Journal*, 101 1219–1226.p.
66. HERMOSA, R., VITERBO, A., CHET. I., MONTE, E. (2012): Plant-beneficial effect of *Trichoderma* and of its genes. In: *Microbiology* 158. 17-25. p.
67. HINFNER, K., HOMONNAY, F. (1966): A répa betegségei és kártevői. Mezőgazdasági kiadó. Budapest
68. HINFNER, K. (1969): Őszi búzafajták és jelöltek kő-és porüszöggel szembeni rezisztenciájának, fogékonyságának vizsgálata és értékelése provokációs kísérletekben. In: *Országos fajtakísérletek*. Budapest: Mezőgazdasági Kiadó. 173-193. p.
69. HINFNER, K., BÉKÉSI, P. (1969): Kukoricahibridek fuzáriumos eredetű megbetegedésének rezisztenciavizsgálati módszerei. In: *Különlenyomat az 1969. évi Országos Fajtakísérletek című kiadványból* 253-267.
70. HINFNER, K., BÉKÉSI, P. (1971): Rezisztenciavizsgálatok elvi alapjai és a fertőzöttség mérésének módszerei. In: *1971 évi Országos Fajtakísérletek* 113-126.p.
71. HOENISCH, R. W., & DAVIS, R. L. M. (1994): Relationship between kernel pericarp thickness and susceptibility to fusarium ear rot in field corn. In: *Plant Dis.*, 78 517– 519.p.
72. HOOKER, A.L. (1956): Association of resistance to several seedling, root, stalk, and ear diseases in corn. *Phytopathology*, 46 379-384. p.
73. Európai Bizottság (2021): [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_hu](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_hu) Hozzáférés: 2021. 11. 12.
74. IGLESIAS, J., D. A. PRESELLO, G. BOTTA, G. A. LORI, C. M. FAUGUEL, (2010): Aggressiveness of *Fusarium* Section *Liseola* isolates causing maize ear rot in Argentina. In: *Journal of Plant Pathology*, 92 205—211.p.
75. INCH, S.A., GILBERT, J. (2003): Survival of *Gibberella zeae* on *Fusarium*-damaged kernels of spring wheat. In: *Plant Disease*, 87 282–287. p.
76. Internet 1: [www.syngenta.hu](http://www.syngenta.hu). Hozzáférés: 2022. 01. 23.
77. Internet 2: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>. Hozzáférés: 2022. 01.20.

78. IVIĆ D. , DOMIJAN A-M. , PERAIKA M., MILIČEVIĆ T, CVJETKOVIĆ B (2009): *Fusarium* spp. contamination of wheat, maize, soybean, and pea in Croatia. In: *Arh Hig Rada Toksikol*, 60 435-442. p.
79. JACOB, D., PETERSEN, J., EGGERT, B., ALIAS, A., CHRISTENSEN, O. B., BOUWER, L. M. et al. (2014): Euro-cordex: New high-resolution climate change projections for European Impact research. In: *Regional Environmental Change*, 14 562–578. p.
80. JAKUCS, E., VAJNA, L. (Szerk.) (2003): Mikológia. Budapest: Agroinform Kiadó, 477 p
81. JIANG, Y.Y.; DU, J.; CHI, Y.P., LIU, X.Y.; LIU, H.W., LI, W.L.(2018): Occurrence and effective control of maize stalk rot.In: *J. Northeast Agriculture Science*, 43 24–27. p.
82. JIMÉNEZ-BREMONT, J. F., RUIZ, O. A., RODRÍGUEZ-KESSLER M. (2007). Modulation of spermidine and spermine levels in maize seedlings subjected to long-term salt stress. In: *Plant Physiology and Biochemistry* 45. 10-11. 812.821.
83. JÓCSÁK, G., KISS, D. S., TÓTH, I., BÁRÁNY, Z., ZSARNOVSZKY, A., FRENYÓ, V. L. (2017): A zearalenol mint mikotoxin káros hatásai az emlős szervezetben: az utóbbi évtizedek eredményeinek rövid áttekintése <http://www.huveeta.hu/handle/10832/2591> Hozzáférés: 2021.11.10.
84. JOSZT-TAKÁCS, N., MAJOR, Z., RUGA-KOVÁCS, B. (2021): Kukorica kísérleti módszertan. Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal, Budapest
85. KÁDÁR I. (1992): A növénytáplálás alapelvei és módszerei. MTA TAKI. Budapest. 398 pp.
86. KELLERMAN T.S., MARASAS W.F.O. (1990): Leukoencephalomalacia in two horses induced by oral dosing of fumonisin B1. In: *Onderstepoort J. Vet. Res.*, 57 269–275. p.
87. KENGANAL, M., PATIL, M. B., NIMBARAGI, Y. (2017): Management of stalk rot of maize caused by *Fusarium moniliforme* (Sheldon). In: *International Journal of Current Microbiolog and. Applied Sciences* 6 9 3546-3552. p.
88. KHONGA, E. B., SUTTON, J. C. (1988): Inoculum production and survival of *Gibberella zea* in maize and wheat residues. In: *Canadian ournal of. Plant Pathology*, 10 232-239. p.
89. KOEHLER, B., HOLBERT, J.R. (1930): Corn diseases in Illinois. In: *Ill. Agr. Exp. Sta. Bull.*, 354 1-164.p
90. KOEHLER B (1960): Cornstalk rots in Illinois. In: *Ill Agric Exp Stn Bull*, 658 90. p.
91. KOMMEDAHL, T., WINDELS, C. E., & STUCKER, R. E. (1979): Occurrence of *Fusarium* species in roots and stalks of symptomless corn plants during the growing season. In: *Phytopathology*, 69 961–966.p.
92. KOVÁCS, M. (2014) A fumonizin B1 mikotoxin a táplálékláncban-egészségkárosító hatásai Magyar Tudományos Akadémia
93. KOVÁCS, M (2018): Mikotoxinok hatása az életminőségünkre. In: *Acta Agraria Kaposváriensis* 22 (2) 33-24. p. <https://doi.org/10.31914/aak.2273>
94. KSH (2021): [https://www.ksh.hu/stadat\\_files/mez/hu/mez0072.html](https://www.ksh.hu/stadat_files/mez/hu/mez0072.html) Hozzáférés: 2021.01.07.
95. KUMAR, S., STECHER, G., TAMURA, K. (2016): MEGA7: Molecular Evolutionary Genetics Analysis 7.0 for bigger datasets. In: *Molecular Biology and Evolution* 33 1870-1874.p.
96. LAL S., SINGH, I.S. (1984): Breeding for resistance to downy mildews and stalk rots in maize. In: *Theor Appl Genet*, 69. 111–119. p.

97. LANUBILE, A. et al. (2011): Evaluation of broad spectrum sources of resistance to *Fusarium verticillioides* and advanced maize breeding lines. In: *World Mycotoxin Journal*, 4 43–51.p.
98. LEDENČAN, T., ŠIMIČ, D., BRKIĆ, I., JAMBROVIĆ, A., AND ZDUNIĆ, Z. (2003): Resistance of maize inbreds and their hybrids to Fusarium stalk rot. In: *Czech Journal of Geneics Plant Breeing*, 39 15-20.p.
99. LESLIE, J. F. , SUMMERELL, B. A. (2006): The Fusarium Laboratory Manual Blackwell. *John F. Leslie and Brett A. Summerell., Ed*, 1-388.p.
100. LI, CX., SU, J., GONG, SC., SONG, XZ., LI, GL., HU, GH., WANG, MQ. (2001): Study on inoculated methods of corn stalk rot. In: *Journal of Maize Science (Chinese)*, 9 72–74. p.
101. LI, YG., JIANG, D., KUN, XU, L., ZHANG, S., SHENG, JI. P., PAN, HY., JIANG, BW., SHEN, ZB (2019a): Evaluation of diversity and resistance of maize varieties to *Fusarium* spp. causing ear rot in maize under conditions of natural infection. In: *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*, 55 131–137. p. <https://doi.org/10.17221/81/2018-CJGPB>
102. LI, L, QU, Q, CAO, Z., GUO Z, JIA, H., LIU, N., WANG, Y., DONG, J. (2019b): The Relationship Analysis on Corn Stalk Rot and Ear Rot According to *Fusarium* Species and Fumonisin Contamination in Kernels. In: *Toxins*, 11 320.p. doi:10.3390/toxins11060320
103. LINXUAN LI, TINGTING ZHU, YUN SONG, LI FENG, PHILIP JAMES KEAR, ROOALLAH SABERI RISEH, MAHMOUD SITOHY, RAJU DATLA, MAOZHI REN (2022): Salicylic acid fights against Fusarium wilt by inhibiting target of rapamycin signaling pathway in *Fusarium oxysporum*, In: *Journal of Advanced Research*. 39. 1-13,
104. LOGRIECO, MULE G, MORETTI A, BOTTALICO A (2002): Toxigenic *Fusarium* species and mycotoxins associated with maize ear rot. In: *European Journal of Plant Pathology*, 108 597–609.p.
105. LORITO, M., MARMAN, G. E., HAYES, C. K., BROADWAY, R. M., TRONSMO, A., WOO, S.L., DI PIETRO, A. (1993): Chitinolytic enzymes produced by *Trichoderma harzianum*: Antifungal activity of purified endochitinase and chitobiase. In: *Phytopathology*, 83 302-307.p.
106. LÖFFLER, M., KESSEL, B., OUZUNOVA., M, MIEDANER, T. (2011): Covariation between line and testcross performance for reduced mycotoxin concentrations in European maize after silk channel inoculation of two *Fusarium* species. In: *Theoretical and applied genetics*, 122 925-934.p. <https://doi.org/10.1007/s00122-010-1499-y>
107. MAJUMDAR, R., MINOCHA, R., LEBAR ,M. D., RAJASEKARAN, K., LONG, S., CARTER-WIENTJES, C., MINOCHA, S., CARY, J. W. (2019) Contribution of maize polyamine and amino acid metabolism toward resistance against *Aspergillus flavus* infection and aflatoxin produktion. In: *Plant Science* 10. 692.
108. MALVICK, D.K. (1995): Corn stalk rots. Department of Crop Sciences, University of Illinois at Urbana-Champaign, In: *Report on plant disease*, 200 1-6.p.
109. MANNINGER, I. (1972): A kukorica szárkorhadásos megdőlése. Magyar Mezőgazdaság, 27 14-15.p.
110. MARÍN, P., MAGAN, N., VÁZQUEZ, C., GONZÁLEZ- JEÉN, M. T. (2010): Differential effect of environmental conditions on the growth and regulation of the fumonisin biosyntetic gene FUM1 in the maize pathogens and fumonisin

- producers *Fusarium verticillioides* and *Fusarium proliferatum*. In: *Microbiology Ecology*
111. MARTON L. CS., ÁRENDÁS T., PINTÉR J., BÓNIS P., SZIEBERTH D (2020): A kukorica tenyészidejének meghatározása FAO számmal. In: *Agrofórum*, 2020 december. 24-28. p.
  112. MCKEEN, W.E. (1951): A corn root- and stalk-rot complex hitherto known as *Giberella zeae* stalk rot. In: *Phytopathology*, 41. 26.p.
  113. MCKINNEY, H.H. (1923): Influence of soil temperature and moisture on infection of wheat seedlings by *Helminthosporium sativum*. In: *J. of Agric. Res.*, 26 195-217.p.
  114. MEISSE M, MOURON P, MUSA T, BIGLER F, PONS X, VASILEIADIS VP, OTTO S, ANTICHI D, KISS J, PALINKAS Z, DORNER Z, VAN DER WEIDE R, GROTEN J, CZEMBOR E, ADAMCZYK J, THIBORD JB, MELANDER B, NIELSEN GC, POULSEN RT, ZIMMERMANN O, VERSCHWELE A, OLDENBURG E. (2010): Pests, pesticide use and alternative options in European maize production: current status and future prospects. In: *Journal of Applied Entomology*, 134 357–375.p.
  115. MESTERHAZY, Á., VOJTOVICS, M. (1977): A kukorica *Fusarium* spp. okozta fertőzőttségének vizsgálata 1972–1975-ben. In: *Növénytermelés*, 26 367–378.p.
  116. MESTERHÁZY Á. (1982): Resistance of corn to *Fusarium* ear rot and its relation to seedling resistance. In: *J. Phytopathol.* 103 218–231. p.
  117. MESTERHAZY, A (1983): Relationship between resistance to stalk rot and ear rot of corn influenced by rind resistance, premature death and the rate of drying of the ear. In: *Maydica*, 28 425–437.p.
  118. MESTERHÁZY, A ., (1995): Types and components of resistance against *Fusarium* head blight of wheat. In: *Plant Breed*, 114 377-386.p.
  119. MESTERHÁZY, A ., BARTÓK, T., MIROCHA, C. M., KOMOROCZY, R. (1999): Nature of resistance of wheat to *Fusarium* head blight and deoxynivalenol contamination and their consequences for breeding. In: *Plant Breed*, 118 97—110. p.
  120. MESTERHÁZY, A ., (2002): Role of deoxynivalenol in aggressiveness of *Fusarium graminearum* and *F. culmorum* and in resistance to *Fusarium* head blight. In: *Eur. J. Plant Pathol.* 108 675-684.p
  121. MESTERHÁZY A,LEMMENS M, REID L M (2012): Breeding for resistance to ear rots caused by *Fusarium* spp. in maize-A review. In: *Plant Breed* 131 1–19. p.
  122. MESTERHÁZY, A., TOLDINE TOTH, E., SZEL, S., VARGA, M., TOTH, B. (2020): 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. In: *Agronomy*, 10 (9) 1283. p. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091283>
  123. MIEDANER, T., BOLDUAN, C., MELCHINGER, A. E. (2010) : Aggressiveness and mycotoxin production of eight isolates each of *Fusarium graminearum* and *Fusarium verticillioides* for ear rot on susceptible and resistant early maize inbred lines. In: *Eur. J. Plant Pathol.* 127 113-123.p.
  124. MIEDANER T., JUROSZEK P. (2021): Global warming and increasing maize cultivation demand comprehensive efforts in disease and insect resistance breeding in north-western Europe In: *Plant Pathology* DOI: 10.1111/ppa.13365

125. MOLNÁR, O., MARTON, L. CS., SZŐKE, CS. (2017a): First report of *Fusarium temperatum* infecting corn in Hungary. In: *Plant Disease* 101 (7) 1325.p.
126. MOLNÁR, O., SPITKÓ, T., MÓRICZ, M. Á., TÓTHNÉ, ZS. ZS., KOVÁCS, B., MARTON, L. CS., SZŐKE, CS. (2017b): *Fusarium temperatum*: Új kórokozó magyarországi kukorica (*Zea mays* L.) szármintákban. In: *Növényvédelem* 78 (53) 289-294. p.
127. MORALES, L., ZILA, C. T., MEJITA, D. E. M., ARBELAZ, P. J., KÜRTI, B., HOLLAND, J., NELSON, R. (2019): Diverse Components of resistance to *Fusarium verticillioides* infection and fumonisin contamination in four maize recombinant inbred families. In: *Toxins* 11. 86. p.
128. MUNKVOLD, G. P. (2003a): Cultural and genetic approaches to managing mycotoxins in maize. In: *Phytopathol.*, 41 99-116. p.
129. MUNKVOLD, G. P. (2003b): Epidemiology of *Fusarium* diseases and their mycotoxins in maize ears. In: *European Journal of Plant Pathology*, 109 705–713. p.
130. NAGY, E., CĂBULEA, I. (1996): Breeding maize for tolerance to *Fusarium* stalk and ear rot stress. In: *Romanian Agricultural Research* Nr. 5-6 43-59.p.
131. NAYAKA, S.C., SHANKAR, A.C., REDDY, M.S., NIRANJANA, S.R., PRAKASH, H.S., SHETTY, H.S., MORTENSEN, C.N. (2009): Control of *Fusarium verticillioides*, cause of ear rot of maize, by *Pseudomonas fluorescens*. In: *Pest Management Sci.* 65 7 769-775.p.
132. NEDELNIK J, LINDUSKOVA H, KMOCH M (2012): Influence of growing Bt maize on *Fusarium* infection and mycotoxins content— a review. In: *Plant Protection Sciences* 48 18– 24. p.
133. NYVALL, R.F., KOMMEDAHL, T. (1970): Saprophytism and survival of *Fusarium moniliforme* in corn stalks. In: *Phytopathology*, 60 1233–1235. p.
134. OERKE, E-C. (2006): Crop losses to pests. In: *The Journal of Agricultural Science* 144:31–43. p.
135. OMSZ (2021): Éghajlati visszatekintő-2015 nyarának időjárása [https://www.met.hu/omsz/OMSZ\\_hirek/index.php?id=1453&hir=Eghajlati\\_visszatekinto\\_%E2%80%932015\\_nyaranak\\_idojarasa](https://www.met.hu/omsz/OMSZ_hirek/index.php?id=1453&hir=Eghajlati_visszatekinto_%E2%80%932015_nyaranak_idojarasa) Hozzáférés időpontja: 2021. november 10.
136. OSTERTAGOVÁ, E., OSTERTAG, O., KOVÁC, J. (2014): Methodology and application of the Kruskal-Wallis Test. In: *Applied Mechanics and Materials*, 611 115-120. p. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.611.115>.
137. PÁL, M. JANDA, T. (2017): Role of polyamine metabolism in plant pathogen interactions. In: *Journal of Plant Science and Phytopathology* 1. 095-100.p.
138. PALAVERSIC, B., BUHINICEK, I., JUKIC, M. (2004): Comparison of two methods of evaluating maize hybrid resistance to stalk rot. In: *XXXIXth Croatian Symposium on Agriculture. Proceedings*, 269- 270. p.
139. PALAVERSIC, B., KOZIC, Z., JUKIC, M., SABLJO, A., BUHINICEK, I. (2007): Evaluation of inoculation techniques for testing maize hybrids for resistance to stalk anthracnose. In: *Cereal Research Communicatoin*, 35 881-884. p.
140. PEARSON, E.S., HARTLEY, H.O. (1962): *Biometrika, Tables for Statisticians*. Cambridge UK.
141. PEARSON, M. W. ÉS MUNKVOLD, G. P. (2012): Effects of planting date and environmental factors on fusarium ear ro symptoms and fumonisin B1 accumulation in maize grown in six North American locations. In: *Plant Pathology*

142. PÉCZELY, GY (2021): Magyarország éghajlati körzetei [https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag\\_eghajlata/altalanos\\_eghajlati\\_jellemzes/altalanos\\_leiras/](https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/altalanos_leiras/) Hozzáférés időpontja: 2021. november 3.
143. Pérez-Brito, D., Jeffers, D., González-de-León, D., Khairallah, M., Cortes-Cruz, M., Velázquez-Cardelas, G., Azpíroz-Rivero, S., Srinivasan, G. (2001): QTL Mapping of *Fusarium moniliforme* ear rot resistance in highland maize, Mexico. In: *Agrociencia*, 35 2 181-196. p.
144. PFORDT, A., ROMERO, R., L., SCHIWEK, S., KARLOVSKY, P., TIEDEMANN, V. A.(2020): Impact of environmental conditions and agronomic practices on the prevalence of *Fusarium* species associated with ear- stalk rot in maize. In: *Pathogens*, 9 (3) 236. p.
145. PILU, R., CASSANI, E., SIRIZZOTTI, A., PETRONI, K., TONELLI, C., (2011): Effect of flavonoid pigments on the accumulation of fumonisin B1 in the maize kernel. In: *J. Applied Geneics*. 52 145–152. p.
146. PLIENEGGER, J., LEMMENS, M., KOLBENFAULE, (2002): Gibt es Sortenunterschiede? Ear rot—Are there differences between cultivars? In: *Mais* 30 95–97. p.
147. PODHRADSZKY, J. (1965): A búzafajták köüszög rezisztenciája és vetőmagcsávázás eredményessége közötti összefüggés. In: *Növényvédelem*, I. 24-28.p.
148. POMOTHY, J. M., BARNA, R. F., CZIMMERMANN, Á. E., SZÓLÁDI Á., GERE, E. (2020): A deoxinivalenol mikotoxin toxikus hatásai a gazdasági haszonállatokra. In: *Magyarállatorvosok Lapja*. 142 117-127.p.
149. PRESELLO, D.A., IGLESIAS, J., BOTTA, G., REID, L. M., LORI, G. A., Eyherabide, G. H. (2006): Stability of maize resistance to the ear rots caused by *Fusarium graminearum* and *Fusarium. verticillioides* in Argentinean and Canadian environments. In: *Euphytica* 147 403–407.p.
150. QI PF, JOHNSTON A, BALCERZAK M, ROCHELEAU H, HARRIS LJ, LONG XY, WEI YM, ZHENG YL, OUELLET T. (2012): Effect of salicylic acid on *Fusarium graminearum*, the major causal agent of fusarium head blight in wheat. In: *Fungal Biol*. 2012 Mar;116(3):413-26. p.
151. RADOJICIC A., LI X., ZHANG Y. (2018) Salicylic acid: a double-edged sword for programmed cell death in plants. *Front Plant Sciences*. 9. 1133. p.
152. RAMAZAN, S., NAZIR, I., YOUSUF, W., JOHN, R. (2022). Environmental stress tolerance in maize (*Zea mays*): role of polyamine metabolism. In: *Funkcional Plant Biology*, 50 2 85-96. p.
153. RAMIREZ, M. L., PASCALE, M., CHULZE, S., REYNOSO, M. M., MARCH, G., & VISCONTI, A. (1996): Natural occurrence of fumonisins and their correlation to *Fusarium contamination in commercial corn hybrids* growth in Argentina. In: *Mycopathologia*, 135 29-34. p.
154. REID, L., HAMILTON, R. I. (1996): Effects of inoculation position, timing, macroconidial concentration, and irrigation on resistance of maize to *Fusarium graminearum* infection through kernels. In: *Canadian Journal of Plant Pathology*, 18 279-285. p.
155. REID, LM., 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 *Fusarium moniliforme* in maize ears: disease progress, fungal biomass, and mycotoxin accumulation. In: *Phytopathology* 89 (11) 1028–1037. p.
156. REID, L. M., T. WOLDEMARIAM, X. ZHU, D. W. STEWART, AND A. W. SCHAAFSMA, (2002): Effect of inoculation time and point of entry on disease

- severity in *Fusarium graminearum*, *Fusarium verticillioides*, or *Fusarium subglutinans* inoculated maize ears. In: *Canadian Journal of Plant Pathology*, 24 162-167. p.
157. RIBEIRO, N. A.; CASA, R. T.; BOGO, A.; SANGOI, L.; MOREIRA, E. N.; WILLE, L. A. (2005): Incidence of stalk rot, rot grains and grain yield of maize genotypes in different management systems. In: *Ciência Rural*, Santa Maria, 21, n. 1 1003-1009. p.
158. RIDOUT, M., NEWCOMBE, G., GODFREY, B. (2016): First report of *Fusarium temperatum* in diseased sweet corn ears in the western United States. In: *Plant Disease*, 100 2527. p.
159. ROBERTSON-HOYT, L. A., JINES, M. P., BALINT-KÜRTI, P. J., KLEINSCHMIDT, C. E., WHITE, D.G., PAYNE, G. A., MARAGOS, C. M., MOLNÁR, T. L., HOLLAND, J. B. (2006): QTL mapping for fusarium ear rot and fumonisin contamination resistance in two maize populations. In: *Crop Sciences*, 46 1734–1743. p.
160. RODRIGUEZ, V.M., SOENGAS, P., LANDA, A., ORDAS, A., REVILLA, P., (2013): Effects of selection for color intensity on antioxidant capacity in maize (*Zea mays* L.). In: *Euphytica*, 193 339–345.p.
161. ROSE, L. J., MOUTON, M., FLETT, B. C., VAN DER VYVER, C., VILJOEN, A. (2016): Multi-environment evaluation of maize inbred lines for resistance to fusarium ear rot and fumonisins. In: *Plant Disease*, 100 10 2134-2144. p.
162. RUGA-KOVÁCS, B. (2016). A kukorica legfontosabb betegségeinek jelentősége a fajtaminősítés tükrében. In: *Agrofórum* 27 (67) 88-90. p.
163. RUGA-KOVÁCS B., CZIBULYÁS P. (2017): Kukorica növénykórtani vizsgálatának eredménye a fajtakísérletekben, 2017. In: *Agrofórum* 84-85. p.
164. SAMPIETRO, D. A., VATTUONE, M. A. PRESELLO, D. A FAUGUEL, C. M., CATALAN, C. A. N. (2009): The pericarp and its surface wax layer in maize kernels as resistance factors to fumonisin accumulation by *Fusarium verticillioides*. In: *Crop Prot.*, 28 196—200. p.
165. SAMPIETRO, D.A., FAUGUEL, C.M., VATTUONE, M.A., PRESELLO, D.A., CATALÁN, C.A.N., (2013): Phenylpropanoids from maize pericarp: resistance factors to kernel infection and fumonisin accumulation by *Fusarium verticillioides*. In: *Eur. J. Plant Pathol.*, 135 105–113.p.
166. SANTIAGO, R., REID, L. M., ZHI, X., BUTRÓN, A., MALVAR, R. A., (2009): Giberella stalk rot (*Fusarium graminearum*) resistance of maize inbreds and their F1 hybrids and their potential for use in resistance breeding programs. In: *Plant Breeding*
167. SCAUFLAIRE, J., GOURGUE, M., MUNAUT, F. (2011a): *Fusarium temperatum* sp. nov. from maize, an emergent species closely related to *Fusarium subglutinans*. In: *Mycologia*, 103 (3) 586-597. p.
168. SCAUFLAIRE, J., MAHIEU, O., LOIVIEAUX, J., FOUCART, G., RENARD, F., MUNAUT, F. (2011b): Biodiversity of *Fusarium* species in ears and stalks of maize plants in Belgium. In: *Eur J Plant Pathol*, 131 59-66. p.
169. SCAUFLAIRE, J., GOURGE, M., CALLEBAUT, A., MUNAUT, F. (2012): *Fusarium temperatum*, a mycotoxin-producing pathogen of maize. In: *European Journal of Plant Pathology*, 133 911-922. p.
170. SCHAAF SMA, A. W, HOOKER, D. C. (2007): Climatic models to predict occurrence of *Fusarium* toxin in wheat and maize. In: *International Journal of Food Microbiology*. 119 (1-2) 116-125. p.
171. SCHÜRCH, S. (2016): Fusarien auf Mais: Evaluation der Empfindlichkeit von in der Schweiz angebauten Sorten In: *Agrarforschung Schweiz*, 7 64–71. p.



172. SEPTIANI, P., LANUBILE, A., STAGNATI, L., BUSCONI, M., NELISSEN, H., PÉ, M. E., DELL'ACQUA, M., MAROCCO, A. (2019): Unravelling the genetic basis of *Fusarium* seedling rot resistance in the MAGIC maize population: novel targets for breeding. In: *Scientific Reports*
173. SINKOVITS GY, PROHÁSZKA Z (2021): Paraméteres és nem paraméteres próbák alkalmazása több csoport összehasonlítására folytonos változók esetén [https://semmelweis.hu/kutlab/files/2021/03/Csoportok\\_%C3%B6sszehasonl%C3%ADt%C3%A1sa\\_2021\\_SGy.pdf](https://semmelweis.hu/kutlab/files/2021/03/Csoportok_%C3%B6sszehasonl%C3%ADt%C3%A1sa_2021_SGy.pdf)) Hozzáférés: 2021.november 3.
174. SMALL, I. M., FLETT, B. C., MARASAS, W. F. O., MCLEOD, A., STANDER, M. A., AND VILJOEN, A. (2012): Resistance in maize inbred lines to *Fusarium verticillioides* and fumonisin accumulation in South Africa. In: *Plant Disease*, 96 881-888. p.
175. SPRAGUE, G.F. (1954): Breeding for resistance to stalk rot. In: *Amer. Seed Trade Assn. Pub.*, 9 38- 43. p.
176. STADEN, R., BEAL, K.F., BONFIELD, J.K. (2000): The staden package, 1998. In: Misener S, Krawetz SA, eds. *Bioinformatics methods and protocols*. Totowa, Florida In: *Humana Press*. 115–130. p.
177. STAGNATI, L., MARTINO, M., BATTILANI, P., BUSCONI, M., LANUBILE, A., MAROCCO, A. (2020): Development of early maturity maize hybrids for resistance to *Fusarium* and *Aspergillus* ear rots and their associated mycotoxins. In: *World Mycotoxin Journal*, 13 459-471. p.
178. SUMMERELL, B. A., LESLIE, J. F., LIEW E. C. Y., LAURENCE, H. M., BULLOCK S., PETROVIC T., BENTLEY A. R., HOWARD C. G., PETERSON, A. S., WALSH J. L., BURGESS, L. W. (2010): *Fusarium* species associated with plants in Australia. In: *Fungal Diversity* 46: 1-27.
179. SUTTON, J.C. (1982): Epidemiology of wheat head blight and maize ear rot caused by *Fusarium graminearum*. In: *Can. J. Plant Pathol.*, 4 195–209. p.
180. SZABÓ B, TÓTH B, TÓTH TOLDINÉ É, VARGA M, KOVÁCS N, VARGA J, KOCSUBE S, PALAGYI A, BAGI F, BUDAKOV D, STOJŠIN V, LAZIĆ S, BODROŽA-SOLAROV M, ČOLOVIĆ R, BEKAVAC G, PURAR B, JOCKOVIĆ D, MESTERHÁZY A. (2018): A New Concept to Secure Food Safety Standards against *Fusarium Species* and *Aspergillus Flavus* and Their Toxins in Maize. In: *Toxins* 10 372. p.
181. SZÉLES A, HUZSVAI L (2020): Modelling the effect of sowing date on the emergence, silking and yield of maize (*Zea mays* L.) in a moderately warm and dry production area. In: *Agronomy Research* 18 579-594. p.
182. SZÓKE, Cs., RÁCZ, F., SPITKÓ, T., MARTON, L.C. (2009): Dates on the *Fusarium* stalk rot. *Maydica*, 54:211-215
183. SZÓKE, CS. (2011) “Potencial role of salicylic acid in tolerance of maize to *Fusarium graminearum*”, In: *Acta Biologica Szegediensis*, 55(1), pp. 167–168. Available at: <https://abs.bibl.u-szeged.hu/index.php/abs/article/view/2741> (Accessed: 11 November 2022).
184. SZÓKE, CS., MICSKEI, GY., NAGY, Z., SPITKÓ, T., MARTON, L. CS. (2013): A kukorica (*Zea mays* L.) kórtani vizsgálatai Martonvásáron. In: *60 éves a magyar hibridkukorica* 78-83. p.
185. SZÓKE CS., SPITKÓ T., PINTÉR J., TÓTHNÉ ZSUBORI ZS., BERZY T., BÓNIS P., MAGYAR D., MOLNÁR O., MARTON L. CS. (2017): A kukorica gombás betegségei és ellenük való védekezés. In: *Agrofórum Extra*, 72:82-83
186. TABASSUM, A., SANATH-KUMAR, V. B., KIRAN KUMAR, N. (2020): Screening of maize germplasm for resistance against *Fusarium* stalk rot caused

- by *Fusarium verticillioides*. In: *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9 3155-3160. p.
187. TESSO T, CLAXIN LE, TUINSTRA MR (2004): Estimation of combining ability for resistance to *Fusarium* stalk rot in grain sorghum. In: *Crop Sci*, 44 1195-1199. p.
  188. TODD, LR., KOMMEDAHL, T. (1994): Image analysis and visual estimates for evaluating disease reactions of corn to *Fusarium* stalk rot. In: *Plant Dis.*, 78 876–878. p.
  189. VARELA C. P., CASAL O. A., PADIN M., C (2013): First report of *Fusarium temperatum* causing seedling blight and stalk rot on maize in Spain. In: *Plant Disease*, 97 1252. p.
  190. VÁRI, E., PEPÓ, P. (2011): Az agrotechnikai tényezők hatása a kukorica agronómiai tulajdonságaira tartamkísérletben. In: *Növénytermelés* 60 115-130. p.
  191. VASILEIADIS, V. P., OTTO, S., SATTIN, M., PALINKÁS, Z., VERES, A., BÁN, R., (2011): Crop protection in European maize-based cropping systems: current practices and recommendations for innovative integrated pest management. In: *Agric. Syst.*, 104 533–540. p.
  192. VENTURINI, G., TOFFOLATTI, S.L., ASSANTE, G., BABAZADEH, L., CAMPIA, P., FASOLI, E., SALOMONI, D., VERCESI, A., (2015): The influence of flavonoids in maize pericarp on fusarium ear rot symptoms and fumonisin accumulation under field conditions. In: *Plant Pathology* 64 671–679. p.
  193. VENTURINI, G, BABAZADEH, L., CASATI, P., PILU, R., SALOMONI D., TOFFOLATTI S.D. (2016): Assessing pigmented pericarp of maize kernel as possible source of resistance to fusarium ear rot, *Fusarium* spp. infection and fumonisin accumulation. In: *International Journal of Food Microbiology*, 227 56-62. p.
  194. VIGIER, B., REID, L.M., SEIFERT, K.A., STEWART, D.W. AND HAMILTON, R.I. (1997): Distribution and Prediction of *Fusarium* Species Associated with Maize Ear Rot in Ontario. In: *Canadian Journal of Plant Pathology*, 19 60-65. p.
  195. WANG, J. H., ZHANG, J. B., LI, H. P., GONG, A. D., XUE, S., AGBOOLA, R. S., LIAO, Y. C., (2014): Molecular identification, mycotoxin production and comparative pathogenicity of *Fusarium temperatum* isolated from maize in China. In: *Journal of Phytopathology*. 162 147-157. p.
  196. WANG, W., PASCHALIDIS, K., FENG, J.C., SONG, J., LIU, J. H. (2019). Polyamine Catabolism in Plants: A Universal Process With Diverse Functions. In: *Frontiers in Plant Science* 7, 561.
  197. WARFIELD, C. Y., DAVIS, R. M. (1996). Importance of the husk covering on the susceptibility of corn hybrids to *Fusarium* ear rot. In: *Plant Disease*, 80 208-210. p.
  198. WILCOXSON, R.D., COVEY, R.P. (1963): Corn plant populations and size of necrotic lesions in stalks. In: *Plant Dis. Rep.*, 47 962–963. p.
  199. WILSON, T. M., ROSS, P. F., RICE, L. G., OSWEILER, G. D., NELSON, H. A., OWENS, D. L., (1990): Fumonisin B1 levels associated with an epizootic of equine leukoencephalomalacia. In: *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 2 213–216. p.
  200. WISSER, R. J., BALINT-KURTI, P. J. & NELSON, R. J. (2006): The genetic architecture of disease resistance in maize: a synthesis of published studies. In: *Phytopathology*, 96 120–129. p.

201. YANG Q, YIN G, GUO Y, ZHANG, D, CHEN S, XU M (2010): A major QTL for resistance to *Gibberella* stalk rot in maize. In: *Theor Appl Genet* 121.673-687. p.
202. YOUNG, H. C. (1943): The toothpick method of inoculating corn for ear and stalk rots. In: *Phytopathology* 33 16. p.
203. YOUNIS, S., ABO-EL-DNHAB, MK, MALLAH, G. S. (1969): Genetics studies of the resistance to *Fusarium* stalk rot in maize. In: *Indian Journal of Genetics Plant Breed*, 29 418-425. p.
204. 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. In: *Physiology Molecular Plant Pathology*, 98 1–8. p.
205. Yu, C.J.; Saravanakumar, K.; Xia, H.; Gao, J.X.; Fu, K.H.; Sun, J.N.; Dou, K.; Chen, J.(2019): Occurrence and virulence of *Fusarium* spp. associated with stalk rot of maize in North-East China. In: *Physiology Molecular Plant Pathology*, 2017, 98, 1–8.
206. ZHANG, X.F., ZOU, C.J., CUI, L.N., LI, X., YANG, X.R., LUO, H.H. (2012): Identification of pathogen causing maize ear rot and inoculation technique in Southwest China. In: *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 25 2078–2082. p.
207. ZIJLSTRA, C., LUND, I., JUSTESEN, A., NICOLAISEN, M., BIANCIOTTO, V., POSTA, K., (2011). Combining novel monitoring tools and precision application technologies for integrated high-tech crop protection in the future (a discussion document). In: *Pest Manager Sciences* 67 616–625. p. doi: 10.1002/p s.2134
208. ZILA, C. T., OGUT, F., ROMAY, M. C., GARDNER, C.A., BUCKLER, E. S., HOLLAND, J. B. (2014): Genome-wide association study of *Fusarium* ear rot disease in the USA maize inbred line collection. In: *BMC Plant Biology*, 14 372

## 9.2. Táblázatok

I. táblázat: A kísérleti helyeken kijuttatott műtrágya mennyiségei (2014-2015) (\*= nem történt felvételezés)

Kísérleti hely	Kijuttatás dátuma	2014						2015						2016							
		N		P		K		Kijuttatás dátuma	N		P		K		Kijuttatás dátuma	N		P		K	
		ősz	tavaszi	ősz	tavaszi	ősz	tavaszi		ősz	tavaszi	ősz	tavaszi	ősz	tavaszi		ősz	tavaszi	ősz	tavaszi		
		hatóanyag, kg/ha							hatóanyag, kg/ha							hatóanyag, kg/ha					
Szombathely	2013.10.02	32,7		32,7		213		2014.11.20	24		72		192		2015.10.27	21		60		150	
	2014.04.10		135					2015.04.20		135					2016.04.19		135				
Kaposvár	2014.04.15		24		60		90	2015.04.20		24		60		90	*	*	*	*	*	*	*
	2014.04.15		135							135											
Iregszemcse	2013.11.02	12		52		60		2015.03.30		89		60		90	2016.04.04	0	103	0	60	0	60
	2014.04.05		82,7		42		63			1,5		6,9		0			1,05		4,8		0,15
Eszterápuszta	2013.10.25				20	60	60	2014.10.28	20		104		108			ősz	tavaszi	ősz	tavaszi	ősz	tavaszi
	2014.03.25				16	40	60	2015.04.24		169		53		80	*	*	*	*	*	*	*
	2014.04.03				135	0	0														
Székkutas	2014.04.16		136					2015.04.20		136					2016.04.18		136				
Jászboldogháza	2013.10.26	3x15-os összetett 300 kg/ha						2013.10.26		0,27	3x15				*	*	*	*	*	*	*
	2014.02.28	Nitrogén 34%-os 200 kg/ha						2014.02.28		54	45	45		45							
Debrecen	2014.04.14		108					2014.10.08	16		48		48		2016.04.21		108				
								2015.04.23		136											
Gyulatanya	2013.11.17	24		72		72		2014.10.10	24		66		66		2015.10.21	24		66		66	
	2014.04.15		3 q (34%)	102				2015.04.21		102					2016.04.17		81				
	2014.05.28		2 q					2015.06.10						2016.06.02	54						
Abaújszántó	2013. 11.15.	53		63		63		2014.10.12.	53		63		63	Tordas	2016.03.11		100				
	2014.04.05.		68					2015.05.05.		68											
Röjtökmuzsaj			135							135						121,5					
Szarvas	*	*	*	*	*	*	*	2015.05.02.		56,7					2016.04.20.		56,7				

II. táblázat: A kísérleti helyek növényvédő szeres kezelései (2014-2016) (\*=nem történt felvételezés)

Vizsgálati év	2014		2015		2016	
Kísérleti hely	kijuttatás dátuma		kijuttatás dátuma		kijuttatás dátuma	
Szombathely	2014.04.30	Lumax	2015.04.23	Lumax	2016.04.23	Lumax
			2015.06.26	Coragen 20 EC	2016.05.19	Laudis
Kaposvár	2014.04.26	Adengo	2015.04.27	Adengo	*	*
Iregszemcse	2014.04.29	Force 5G	2015.04.25.- 27.	Force 5G	2016. 04.24- 26.	Force 5 G
	2014.05.01	Adengo	2015.04.28	Adengo	2016.06.07	Wuxal Zn
	2014.06.10	Wuxal ZN				
	2014.06.26	Coragen 20 SC				
	2014.07.04	Steward				
Eszterág- puszta	2014.05.29	Adengo	2015.05.13	Adengo	*	*
			2015.06.18	Amalgerol		
			2015.06.18	Coragen 20 SC		
			2015.06.29	Steward 30 DF		
			2015.08.05	Runner 2 F		
Székkutas	2014.04.16	Pyrinex 48 EC	2015.04.20	Pyrinex 48 EC	2016.04.18	Pyrinex 48 EC
	2014.05.19	Laudis	2015.05.21	Laudis	2016.06.03	Laudis
	2014.08.08	Coragen 20 SC	2015.07.02	Steward 30 DF+Trend	2016.07.08	Steward 30 DF+Trend
	2014.06.18	Steward 30 DF	2015.08.03	Coragen 20 SC + Trend	2016.06.24	Coragen 20 SC + Trend
	2014.08.22	Steward 30 DF	2015.08.19	Steward 30 DF + Trend	2016.08.03	Steward 30 DF + Trend
					2016.08.18	Coragen 20 SC + Trend

Jászboldogháza	2014.04.14-19.	Force 1,5 G	2015.05.21	Callisto 4 SC	*	*
	2014.05.29	Laudis	2015.06.11	Laudis		
			2015.06.24	Steward 30 DF		
Debrecen	2014.05.20	Lumax	2015.05.21	Laudis	2016.04.21	Pyrinex 48 EC
	2014.08.11	Coragen 20 SC	2015.06.29	Steward 30 DF	2016.05.23	Capreno
Gyulatanya	2014.05.25	Laudis	2015.05.17	Laudis	2016.05.20	Lumax
			2015.07.10	Nurelle D 50/500 EC		
Abaujszántó	2014.04.05	Adengo	2015.05.26	Adengo	*	*
Tordas	*	*	*	*	2016.04.14	Pyrinex 48 EC
					2016.04.21	Callisto 4 SC
					2016.05.10	Gardoprim Plusz Gold
					2016.07.08	Dursban 480 EC
					2016.07.22	Calypso 480 SC
					2016.08.03	Steward 30 DF
Röjtök-muzsaj	2014.05.08	Callisto	2015.04.30	Banvel	2016.05.06	Lumax
	2014.06.20	Agria-Alfa	2015.05.12	Callisto	2016.07.13	Coragen 20 SC
	.		2015.07.08	Coragen 20 SC	2016.07.28	Steward 30 DF
Szarvas	*	*	2015.06.01	Laudis	2016.06.16	Laudis
			2015.07.03	Steward 30 DF	2016.06.16	Karate Zeon 5 CS
			2015.08.04	Coragen 20 SC	2016.07.02	Coragen 20 SC
			2015.08.17	Steward 30 DF	2016.07.07	Steward 30 DF
					2016.07.31	Coragen 20 SC
					2016.08.16	Steward 30 DF

III. táblázat: Az érécsoportok listája („+” = vizsgálati érécsoport „-”= nem történt felvételezés) a vizsgálat éveiben (2014-2016) kísérleti helyenként

Betegségforma	csőpenészedés				
Év	2014				
Hely/Érés csoport	FAO 180-239	FAO 240-199	FAO 300-399	FAO 400-499	FAO 500-599
Abaújszántó	-	-	+	-	-
Debrecen	+	+	+	+	+
Eszterágpuszta	-	+	+	+	+
Gyulatanya	+	+	+	-	-
Iregszemcse	+	+	+	+	+
Jászboldogháza	+	+	+	+	+
Kaposvár	+	+	+	+	+
Röjtökmuzsaj	+	+	+	+	+
Szarvas	-	-	+	-	-
Székkutas	-	+	+	+	+
Szombathely	+	+	+	+	+
Tordas	-	-	-	-	-
	2015				
Abaújszántó	-	-	+	-	-
Debrecen	+	-	-	+	+
Eszterágpuszta	-	+	+	+	+
Gyulatanya	-	+	-	-	-
Iregszemcse	-	-	+	+	+
Jászboldogháza	+	+	+	+	+
Kaposvár	-	-	-	-	-
Röjtökmuzsaj	+	+	+	+	+
Szarvas	+	+	+	+	+
Székkutas	-	+	+	+	+
Szombathely	-	-	-	-	-
Tordas	-	-	-	-	-
	2016				
Abaújszántó	-	-	-	-	-
Debrecen	+	+	+	+	+
Eszterágpuszta	-	-	-	-	-
Gyulatanya	+	+	-	-	-
Iregszemcse	+	-	+	-	-
Jászboldogháza	-	-	-	-	-
Kaposvár	-	-	-	-	-
Röjtökmuzsaj	+	+	+	+	+
Szarvas	+	+	+	+	+
Székkutas	-	+	+	+	+
Szombathely	+	+	+	+	+
Tordas	-	-	-	+	+

Betegségforma	szártőkorhadás				
	2014				
Hely/Érés csoport	AO 180-239	AO 240-199	AO 300-399	AO 400-499	FAO 500-599
Abaújszántó	-	-	+	-	-
Debrecen	+	+	+	+	+
Eszterápuszta	-	+	+	+	+
Gyulatanya	+	+	+	-	-
Iregszemcse	+	+	+	+	+
Jászboldogháza	+	+	+	+	+
Kaposvár	+	+	+	+	+
Rőjtőkmujsaj	+	+	+	+	+
Szarvas	-	-	+	-	-
Székkutas	-	+	+	+	+
Szombathely	+	+	+	+	+
Tordas	-	-	-	-	-
	2015				
Abaújszántó	+	+	+	-	-
Debrecen	+	+	+	+	+
Eszterápuszta	-	+	+	+	+
Gyulatanya	+	+	+	-	-
Iregszemcse	+	+	+	+	+
Jászboldogháza	+	-	+	+	-
Kaposvár	+	+	+	+	-
Rőjtőkmujsaj	+	+	+	+	+
Szarvas	+	+	+	+	+
Székkutas	-	+	+	+	+
Szombathely	+	+	+	+	+
Tordas	-	-	-	-	-
	2016				
Abaújszántó	-	-	-	-	-
Debrecen	+	+	-	-	-
Eszterápuszta	-	-	-	-	-
Gyulatanya	+	+	+	-	-
Iregszemcse	+	-	+	-	-
Jászboldogháza	-	-	-	-	-
Kaposvár	-	-	-	-	-
Rőjtőkmujsaj	+	+	+	+	+
Szarvas	+	+	+	+	+
Székkutas	-	+	+	+	+
Szombathely	-	-	-	-	-
Tordas	-	-	-	+	+



## 10. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Mindenekelőtt köszönettel tartozom a munkahelyem, a Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal, Mezőgazdasági és Genetikai Erőforrások Igazgatóságának vezetőinek, elsősorban a Szántóföldi Fajtakísérleti Osztály vezetőjének Csapó Józsefnek, aki lehetőséget biztosított a kutatómunkámhoz.

Köszönetet mondok konzulenseimnek Horváthné dr. Petróczy Mariettának az értekezés elkészítéséhez nyújtott szakmai segítségéért és értékes tanácsaiért, továbbá Dr. Szőke Csabának az ATK Mezőgazdasági Intézet tudományos főmunkatársának, aki hozzájárult kutatásom tudományos megalapozásához, értékes tanácsaival segítette munkám, valamint biztosította a kutatás létrejöttéhez szükséges feltételeket. Mindkettőjüknek köszönettel tartozom biztatásukért, és azért, hogy számíthattam rájuk.

Hálás vagyok Pécs Mártonnak az adatok statisztikai feldolgozása és a felmerülő kérdések megoldásának keresése során nyújtott segítségért és a biztatásért.

Köszönettel tartozom a Növényvédelmi Intézet munkatársának Dr. Molnár Orsolyának a fajmeghatározásban és az Analitikai Nemzeti Referencia Laboratórium munkatársának, Lőrincz Annának a toxinmérésben nyújtott segítségükért.

Köszönöm továbbá a Nébih valamennyi munkatársának, elsősorban Péntek Ákosnak és Joszt-Takács Nórának a szántóföldi munkák elvégzéséhez nyújtott segítségét.

Hálás vagyok Dr. Gergely Lászlónak önzetlen segítségéért, a szüntelen biztatásért és a hasznos tanácsaiért.

Köszönettel tartozom Dr. Puskás Katalinnak és Dr. Nagy Gézának a műhelyvita során nyújtott részletes bírálatukért és értékes javaslataikért.

Végezetül hálás köszönetet mondok családtagjaimnak és mindazoknak, akik a többéves munka során szakmai és emberi támogatásukról biztosítottak.