

DIPLOMADOLGOZAT

KARDOS RÓBERT
Növénytermesztő mérnöki MSc

Gödöllő
2023



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Szent István Campus

Növénytermesztő mérnöki MSc

**Különböző kukorica hibridek *Fusarium verticillioides* ellenálló
képességének összehasonlítása**

Belső konzulens:	Dr. Tarnawa Ákos egyetemi docens
Külső konzulens:	Zala Anita kutatási vezető
Készítette:	Kardos Róbert NQ2HYW levelező tagozat
Intézet/Tanszék:	Növénytermesztési- tudományok intézet/ Agronómiai tanszék

**Gödöllő
2023**

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék.....	2
1. Bevezetés és célkitűzések.....	4
2. Irodalmi áttekintés	6
2.1. A kukorica termesztésének jelentősége.....	6
2.2. A kukorica legfontosabb mikotoxint termelő gombabetegségei	8
2.2.1. A <i>Fusarium</i> nemzetség általános jellemzése.....	8
2.2.1.1. <i>Fusarium graminearum</i>	8
2.2.1.2. <i>Fusarium culmorum</i>	9
2.2.1.3. <i>Fusarium verticillioides</i>	10
2.2.2. Az <i>Aspergillus</i> nemzetség általános jellemzése	11
2.2.2.1. <i>Aspergillus flavus</i>	11
2.3. Mikotoxinok	13
2.3.1. Aflatoxin	13
2.3.2. Trichotecének	14
2.3.3. Zearalenon	15
2.3.4. Fumonizinek	15
2.3.5. A mikotoxinok maximális jelenlétére vonatkozó szabályozások és határértékek az Európai Unióban.....	16
2.4. Csőpenészekkel szembeni ellenállósági vizsgálatok során alkalmazott mesterséges fertőzési módszerek	17
3. Anyag és módszer.....	21
3.1. Szántóföldi kísérlet kivitelezése	21
3.2. A kísérleti terület jellemzői	22
3.2.1. A kísérleti területen alkalmazott agrotechnika	22
3.2.2. A kísérleti terület időjárása a tenyészidőszakban	24
3.3. A kísérlet elrendezése.....	25
3.4. A mesterséges fertőzés bemutatása	26
3.5. A csőpenész fertőzöttség értékelése	27
3.6. A beltartalmi vizsgálatok elvégzése	28
3.7. A mikotoxin mérés kivitelezése	28
3.8. A kapott eredmények statisztikai feldolgozása	29

4. Eredmények	30
4.1. Csőfertőzőtség eredményei	30
4.2. Beltartalmi értékek eredményei	36
4.2.1. A kukorica minták fehérjetartalma	36
4.2.2. A kukorica minták keményítőtartalma	39
4.3. Ezermagtömeg alakulása	41
4.4. Toxinmérés eredményei	44
4.4.1. Zearalenon	44
4.4.2. Fumonisin	46
5. Következtetések és javaslatok	47
6. Összefoglalás	49
7. Irodalomjegyzék	51
8. Köszönetnyilvánítás	54
9. Nyilatkozat	55

1. Bevezetés és célkitűzések

A kukorica a világban és hazánkban is fontos szerepet tölt be a kultúrnövények között, mind vetésterület tekintetében, mind takarmányozási, humán táplálkozási és ipari felhasználás szempontjából is. Magyarországi vetésterülete az elmúlt évek átlagában egymillió hektár körül alakult.

Néhány évtizeddel ezelőtt a kukoricát még úgy emlegették, mint az egyik legkevésbé betegedő növényt, azóta a kukoricatermesztésünkben jelentős változások következtek be. A monokultúrás termesztés, illetve a búza-kukorica vetésváltás, az agrotechnikai eljárások változása, illetve az időjárás hektikussága előidézte a kukorica betegségeinek a térnyerését. A kukoricatermesztő országokban a kórokozók által okozott termés kiesést évente 5-10%-ra becsülik, ami járványos években elérheti a 25-30%-ot is. Hazánkban a kukoricát leggyakrabban a *Fusarium* és *Aspergillus* gombák fertőzik, továbbá a golyvás- és rostosüszög, valamint a helmintospóriumos levélfoltosság. A *Fusarium* fajok közül a legveszélyesebbnek a *Fusarium verticillioides*-t tartják. Tünetei között szerepel a csíranövény elhalása, a szártó- és gyökérkorhadás és a csőpenészesedés.

A *Fusarium* és *Aspergillus* fajok mellett, hogy termés kiesést és minőségi romlást okoznak, mikotoxinokat termelnek. A mikotoxinok a gombák által termelt másodlagos anyagcsere termékek, amelyek különböző állati és humán egészségügyi problémákat okoznak. Mivel a takarmányokból hőkezelés útján nem lehet őket semlegesíteni, ezért fontos a mikotoxin termelő gombák elleni védekezés. Az integrált védekezés keretein belül a helyes agrotechnikai eljárások alkalmazása és a kémia védekezés együttese gazdasági küszöb alá tudja csökkenteni a betegségek elterjedésével okozott kárt.

Az agrotechnikai eljárások egyik legfontosabb eleme a megfelelő hibrid kiválasztása, mind termésmennyiség, mind kórokozókkal szembeni ellenállóság tekintetében. A hibridek ellenállósága genetikai alapjukra vezethető vissza. A genotípusok toleranciájának vizsgálata a nemesítés egyik fontos elemét képezi, ezen genotípusok szelektálása elősegítheti a betegségekkel szembeni hatékony védekezést. Azonban ezek a gombák eltérő időjárási körülmények között fejlődnek, így az évjárathatás következtében nehéz a szelekciót természetes körülmények között elvégezni. Erre a problémára jelenthet megoldást a mesterséges fertőzési eljárások alkalmazása, mivel évjárathatástól függetlenül tesztelhetőek a genotípusok, beltenyésztett vonalak és hibridek esetében

is. A témában dolgozó kutatók többféle módszert dolgoztak ki a hibridek csőpenész ellenállóságának tesztelésére, amelyet számos nemesítőház alkalmaz a szelektálás érdekében.

Dolgozatomban célul tűztem ki, hogy három nemesítő ház jelenleg is piacon lévő hibridjeinek ellenállóságát teszteljem *Fusarium verticillioides* gombával szemben, mesterséges fertőzési módszerrel és eltérő dózisú inokulum használatával. A dolgozatomban a következő kérdésekre kerestem a választ:

- A választott mesterséges fertőzési módszer alkalmas e genotípusok érzékenységének vizsgálatára.
- A dolgozatban szereplő tíz hibrid hogyan reagál a mesterséges fertőzésre a kezeletlen kontrolhoz képest.
- Milyen hatással van a fertőzés a hibridek beltartalmi értékeire és ezermag tömegére. Kimutatható e toxintermelés a kezelések hatására.

2. Irodalmi áttekintés

2.1. A kukorica termesztésének jelentősége

A gabonanövények a legfontosabb élelmiszerforrások a világon. A három legtöbbet termelt gabona a kukorica, a rizs és a búza. A kukorica (*Zea mays* L.) a perjefélék családjába tartozó, lágy szárú, egylaki, váltivarú, egynyári növény, melynek csírázási minimuma 8-12 °C, megjelenését tekintve változatos lehet, elsősorban a szemtermés alapján. Gazdasági jelentősége a csemegekukoricának, a pattogatni való kukoricának, a lófogú kukoricának, valamint a simaszemű kukoricának van. A kukorica nagyon igényes a talajjal szemben, csernozjom, réti csernozjom és barna erdőtalajokon lehet a legnagyobb terméseredményeket elérni az évjárathatástól függetlenül. Termeszthető monokultúrában is, hiszen nem igényes az előveteményre, ebben az esetben különösen oda kell figyelni a tápanyagvisszapótlásra, a fajtaválasztásra (rezisztens hibridek, tenyészidő hossza), valamint a gyomirtó szerek rotációjára, hogy elkerüljük a rezisztens gyomfajok kialakulását. A gyakorlatban általában három-négy éves monokultúrában való termesztésről beszélünk (Nagy és Sárvári, 2005). Őshazája Amerika, Európába Kolumbusz Kristóf közvetítésével került be és terjedt el. A 16. században spanyol és portugál kereskedők vitték és terjesztették el Ázsiában és Afrikában. Ma az egyik legnagyobb területen termesztett szántóföldi növényünk, amit haszonállatok takarmányozására és bioetanol előállítására használnak, illetve a fejlődő országokban nagy a humán ételmezésben betöltött szerepe (Nagy, 2007).

A világ legnagyobb kukorica termeszto országai (1.táblázat) megtermelt mennyiség sorrendjében az Egyesült Államok, Kína és Brazília. Az általuk termelt összes mennyiség közel 750 millió tonna volt 2021-ben. Ebben az évben Magyarország a világon a 22. volt a kukoricatermesztők közül a megtermelt mennyiség tekintetében. A központi statisztikai hivatal (KSH) jelentése szerint 2021-ben Magyarország közel 6,5 millió tonna kukoricát termelt. Ezzel az Európai Unió országai között a 4. helyet foglalta el. A legtöbbet termelő EU-s ország Franciaország a maga 15 millió tonnájával (2. táblázat), ami világviszonylatban is csak a 10. helyet foglalja el. 2021-ben a gabonafélék szántóterülete több mint 2,4 millió hektár volt hazánkban. Az összes szántóterület majdnem felén (47%) kukoricát és őszi búzát termesztettek. Ebben az évben a kukorica vetésterülete meghaladta az 1 millió hektárt, a betakarított kukorica átlagos termésmennyisége országos szinten 6.1 t/ha körül alakult (KSH).

Magyarországon a felhasznált szemeskukorica 90%-a abrak, a szarvasmarhák fontos tömegtakarmánya. Az ipari célú felhasználás az éves kukoricatermelés 8%-át teszi ki. A jövőt a jó minőségű, fertőzéstől (mikotxinoktól) mentes kukorica termesztése jelenti, mert erre lehet egy magasabb szintű állattenyésztést, húsfeldolgozást és versenyképes piacot alapozni.

A kukorica beltartalmi értékei alapján inkább szénhidrát forrásnak tekinthető. Átlagos keményítőtartalma 65-70%, fehérjetartalma 7-9%, pentozánok 6%, olajtartalma 3-5%, rosttartalma 2%, cukortartalma 1,4%, míg ásványi anyag tartalma 1,2%.

1.táblázat: A világ top 10 kukoricát termeszto orszaga + Magyarország (ezer tonna) 2021-ben
(Forrás: ksh.hu).

Rangsor	Termelő ország	2021
1.	Egyesült Államok	383943
2.	Kína	272762
3.	Brazília	88462
4.	Argentína	60526
5.	Ukrajna	42110
6.	India	31650
7.	Mexikó	27503
8.	Indonézia	20010
9.	Dél-afrikai Köztársaság	16871
10.	Franciaország	15358
22.	Magyarország	6425

2.táblázat: Az Európai Unió országai által termelt kukorica mennyisége (ezer tonna) 2021-ben
(Forrás: ksh.hu)

Rangsor	Termelő ország	2021
1.	Franciaország	15358
2.	Románia	14821
3.	Lengyelország	7322
4.	Magyarország	6425
5.	Olaszország	6080
6.	Spanyolország	4598
7.	Németország	4462
8.	Bulgária	3427
9.	Ausztria	2435
10.	Horvátország	2242

2.2. A kukorica legfontosabb mikotoxint termelő gombabetegségei

2.2.1. A *Fusarium* nemzetség általános jellemzése

A *Fusarium* fajok a legfontosabb növényi kórokozók közé tartoznak, nem csak hazánkban, hanem a világ minden részén. Az elmúlt évtizedekben a *Fusarium* fajokat széles körben tanulmányozták, mivel az általuk termelt mikotoxinok veszélyt jelentenek az állatok és emberek egészségére egyaránt. Élőhelyük szerint megtalálhatók a talajban, föld alatti és feletti növényi részekben, növényi maradványokon. A *Fusarium* fajokat gyakran talajlakó gombáknak tekintik, mivel a talajban nagy számban fordulnak elő és társulnak a növényi gyökerekkel, akár parazitaként, akár szaprofitaként. Viszont sokszor kolonizálják a növények föld feletti részeit is, ahol a betegség kialakulását követően, fontos gazdasági jelentőséggel bírnak. Kukorica esetében a károsítás a csíranövény pusztulásában, szárkorhadásban és csőpenészen mutatkozik meg (Nelson és mtsai, 1994). A fertőzött kukoricaszemek elszíneződnek, a beteg szemből fejlődő csíranövények növekedése gyenge és sok esetben még csírákorban el is pusztulnak a talajban. A száron jelentkező tünetekre jellemző, hogy a szár szövetei roncsolódnak és gyakran emiatt a növény megdől, amit a betakarítógép nem tud már felszedni a földről, ezáltal szintén termés kiesést okoz (Nagy, 2007). A fuzáriózist okozó gombák veszélyességét az is fokozza, hogy sokféleképpen vészeltetik át a számukra kedvezőtlen körülményeket. A kórokozók növényi maradványokon, talajban vagy a talajfelszínen, vetőmagban vagy annak felületén maradnak fenn. Áttelelhetnek peritéciummal, micéliummal és klamidospórával. Terjedhetnek askospórával, konídiummal, klamidospórával és micéliummal, szél, eső és rovarok segítségével. A gombanemzetség azonosítása viszonylag könnyű, a fajszerű meghatározás azonban rendkívül bonyolult. A fertőzött növényi részek kitenyésztése során bőséges micéliumtömeg keletkezik. Különböző növekedési erélyű, színű és habitusú telepek fejlődnek, ahol a különböző szaporítóképletek jelenléte vagy hiánya, alakja stb. alapján történik a fajszerű beazonosítás (Horváth, 1995). A kukorica termesztés szempontjából legveszélyesebb *Fusarium* fajok a *F. graminearum*, *F. culmorum* és *F. verticillioides*.

2.2.1.1. *Fusarium graminearum*

A *Fusarium graminearum* Schwabe (teleomorf alakja: *Gibberella zeae* (Schw.) Petch) a kukorica fontos szárhothadás és csőpenész betegségét okozó kórokozója, ami képes a gyökereken keresztül is behatolni a kukoricába. A megfertőződött csöveken rózsaszínes vagy vöröses színű penészként jelenik meg (1.kép), súlyos fertőzés esetén a csuhélevelek a kukoricaszemekhez

tapadnak. Ezen kívül a kórokozó megtámadja a cső belsejét és a szárat is (2.kép). Általában a betegség a cső végén indul meg és úgy húzódik lefele, de néha előfordul, hogy a szárról terjed felfelé. Gyakran előfordul, hogy madarak (Sutton és mtsai, 1980) és rovarok (Koehler, 1959) segítik elő a gomba bejutását a növénybe. Ilyen rovarok például a kukoricamolylepke (*Ostrinia nubilalis*), az amerikai kukoricabogár (*Diabrotica virgifera virgifera*) és a gyapottok-bagolylepke (*Helicoverpa armigera*).

A *F. graminearum* által termelt legfontosabb másodlagos anyagcsere termékei a Zearalenon (ZEN) és a Deoxinivalenol (DON) toxinok (Vesonder és mtsai, 1978).



1. kép: *Fusarium graminearum* tünete a kukorica csövön



2. kép: *Fusarium graminearum* tünete a kukorica száron (http2.)

2.2.1.2. *Fusarium culmorum*

A *Fusarium culmorum* Sacc. a fonalas gombák *Hypocreales* rendjének *Nectriaceae* családjába tartozó faj, ami a *Discolor* szekcióban található (Nelson és mtsai, 1983). A micéliumok színe a legtöbb esetben fehér, de előfordulhat sárgás, vagy cser színben is. A narancs és vöröses-barna sporodochiumok a telepek öregedésével mutatkoznak meg. A *F. culmorum* által termelt legjellemzőbb mikotoxinok a deoxinivalenol (DON), zearalenon (ZEN) és a trichotecének (Marasas és mtsai, 1984).

Ezek a fajok általában a hűvösebb régiókban fordulnak elő, főként a kalászos gabonák kalászfuzáriózisának, valamint a kukorica csőpenészesedésének és szártőkorhadásának

kialakulásában játszanak fontos szerepet. Emellett a *F. culmorum* széles körű kórokozója egyéb kultúrnövényeknek is (Nelson és mtsai, 1994).

2.2.1.3. *Fusarium verticillioides*

A *Fusarium verticillioides* Sacc. Nirenberg a legfontosabb kórokozó, amely a *Fusarium* típusú csőpenészcserjék (3.kép) és szárkorhadásért felelős. A kórokozó a kukorica és más növények, különösen a fűfélék maradványain telel át. A fertőzés a környezeti feltételek széles skálája mellett fordulhat elő, azonban, ha az idő meleg és száraz, az kedvez a súlyosabb fertőzésnek. Ooka és Kommedahl (1977) arról számolt be, hogy a gomba szaporítóanyagai a szél és eső hatására a levélfelületekre kerülhetnek, ahol bemosódnak a levélhüvelyekbe és így megfertőzik a nóduszokat, ezáltal a kukorica szárát. A kukoricacső a bibevirágzás idején a legérzékenyebb a *F. verticillioides*-re. Ez a gomba, más gombákkal ellentétben képes úgy bejutni a csőbe, hogy az jól védett csúhélevéllel, illetve madár és rovarkártételtől mentes (Koehler, 1942). A gomba megjelenik a bibén, amin keresztül bejut a csőbe, a maghéjon terjeszkedik, majd behatol a mag belsejébe is, esetenként megtalálható az embrióban és az endospermiumban is (Koehler, 1942). A maghéj fontos szerepet játszik a kórokozókkal szembeni védelemben. Koehler (1957) pozitív korrelációt mutatott ki a maghéj sérülése és fertőzésének erőssége között. A *F. verticillioides* képes a vetőmagon keresztül szisztematikusan megfertőzni a belőle fejlődő növényt, így a kórokozó újból eljuthat a kukoricaszemekig a növény vegetatív részein keresztül, ezért nagyon fontos a vetőmag tételek csávázása.

A csővön jellemzően elszórtan, vagy csoportosan jelenik meg penész formájában, ami fehér, rózsaszínű vagy lazacszínű lehet. A fertőzött magok később barnára színeződhetnek. A betegséghez gyakran társítják a 'starbust' kifejezést (4.kép), mely a fertőzés korai szakaszában észlelhető a szemek maghéján. Súlyos fertőzés esetén a gomba teljesen felemésztheti a csöveket, ami során a csövet körülvevő csúhélevelet a micéliummal a magokhoz ragasztja.

A *F. verticillioides* által termelt legveszélyesebb mikotoxinok a fumonizinek, amelyeket 1988-ban azonosítottak Gelderblom és mtsai. A fumonisin B1 esetében megállapították, hogy rákkeltő hatása van patkányokban (Gelderblom és mtsai, 1988), illetve a ló leukoencephalomalaciáért felelős (ELEM), amely a lovak és szamarak halálos agyi betegségét okozza (Marasas, 1996). Miután a fumonizinek széles körben elterjedtek, ezért elkezdtek vizsgálni

az emberekre gyakorolt hatását, megállapították, hogy a fumonisin B2 mikotoxin rákkeltő hatással bírhat az emberekre nézve (IARC, 1993).



3. kép: *Fusarium verticillioides* tünete a kukorica csövén (http3.)



4. kép: *Fusarium verticillioides* 'starbust' tünete a kukorica csövén (http3.)

2.2.2. Az *Aspergillus* nemzetség általános jellemzése

Az *Aspergillus* nemzetség a gombák egy változatos csoportját képviseli, amely a világon a leggyakrabban fordul elő. Rendszertanilag az *Eurotymycetes* osztály, *Eurotiales* rendjébe és a *Trichocomaceae* családjába tartozik. A környezeti tényezőket figyelembe véve, nem túl érzékenyek. Széles hőmérsékleti tartományban képesek növekedni (6-55 °C) relatív alacsony páratartalom mellett is. Az *Aspergillus* széles körű jelenléte az élővilágban, annak hatékony terjedésével magyarázható. E nemzetség spórái a legdominánsabbak a levegőben, amelyek szétszóródva nagy távolságokra is képesek eljutni (Krijgheld és mtsai, 2012).

Az *Aspergillus* fajok mikotoxint termelhetnek, amelyek mérgezőek az állatokra és az emberekre. Ilyen faj például az *Aspergillus flavus*, amely aflatoxint termel. Az aflatoxin az egyik legkarcinogénebb természetes molekulák közé tartozik (Varga és mtsai, 2010).

2.2.2.1. *Aspergillus flavus*

Az *Aspergillus flavus* egy olyan szaprofita gomba, amely a világ összes részén megtalálható és számos fontos mezőgazdasági növény betegségét okozza. Ilyen például a kukorica, a mogyoró és a gyapotmag. Morfológiailag összetett faj, melyet két csoportba sorolnak a szkleróciumok mérete alapján, ezen csoportok a nagy (L) törzs, 400 µm átmérő felett és a kis (S) törzs, melynek szklerócium méretei 400 µm alatt vannak (Cotty és mtsai, 1989).

A gomba a talajban konídiumok vagy szkleróciumok formájában, a növényi szövetekben pedig micéliumként van jelen. A gombát a legkülönbözőbb éghajlati övezetekből izolálták, de gyakrabban fordul elő a melegebb éghajlati övezetekben (Klich, 2007). A szkleróciumok kedvezőtlen életkörülmények között is képesek életben maradni a talajban, ahol konídiumokat fejlesztenek, esetleg askospórákat is. A forró és száraz körülmények a populációk erősödéséhez vezetnek. Wicklow és mtsai (1993) vizsgálták a szkleróciumok túlélését két különböző helyen, ahol három évet követően is életképes konídiumokat találtak a földben elásott szkleróciumokból.

A kukorica esetében a gomba a bibén és a csövön telepszik meg, a fiatal szemek a tejes érés késői szakaszában a legérzékenyebbek. A kolonizáció nem csak a kedvező környezet hatására történhet, hanem rovarok és madarak is okozhatják azt. Az *Aspergillus* által okozott csőpenész (5.kép) olajzöld penészgyepként jelenik meg a magokon. A gombaspórák porszerűnek tűnnek, a csuhélevelek eltávolításakor ezek porszerűen szétszóródhatnak. A kórkép (6.kép) leggyakrabban a cső csúcsán figyelhető meg, de elszórtan az egész csövön megtalálható (Amaike és Keller, 2011).

A gomba állati és emberi megbetegedésekért is felelős, szennyezett takarmányok elfogyasztása esetén, aflatoxikózist, esetlegesen májrákot okozva. Embereknél invazív szaporodással aszpergillózis léphet fel, ami akár halálos kimenetelű is lehet azok körében, akiknek legyengült az immunrendszere (Hedayati és mtsai, 2007).

Az aflatoxikózist az aflatoxin nevű mikotoxin okozza, amely a gomba által termelt másodlagos anyagcsere termék. Jelentős problémát okozva a fejlődő országokban, különösen Ázsiában és Afrikában, ahol a kukorica alapvető táplálékforrás.



5. kép: *Aspergillus flavus* tünete elszórtan a kukorica csövén (http4.)



6. kép: *Aspergillus flavus* tünete a csővégen (http4.)

2.3. Mikotoxinok

Több ezer olyan toxin létezik, melynek ismert, potenciálisan káros egészségügyi hatásai vannak emberekre és állatokra egyaránt. Az egyik nagy csoportja a természetes toxinoknak a mikotoxinok, melyek általános szennyezői az élelmiszereknek, illetve a takarmányoknak. A mikotoxinok olyan másodlagos anyagcsere termékek, amelyek a penészgombák által termelődnek. A különböző élelmiszernövények mikotoxint termelő gombákkal való fertőzöttsége igen gyakori probléma. A világ élelmiszer ellátásának évente mintegy 25%-a mikotoxinnal szennyezett. Számos mikotoxin rákkeltő hatású mind ember mind állat esetében, ezért különös figyelmet kaptak humán és állategészségügyi szempontból is (Roger és Coulombe 1993).

A legfontosabb mikotoxintermelők a *Fusarium* és *Aspergillus* fajok. A mérsékelt éghajlatú régiókban a gabonafélék legfontosabb toxinjai a fuzárium fajok (3.táblázat) által termelt trichotecének, zearalenon és a fumozininek. illetve az *Aspergillus flavus* által termelt aflatoxin (Szabó és mtsai 2016).

3. táblázat: A legjelentősebb *Fusarium* fajok által termelt mikotoxinok (Forrás: Logrieco és mtsai, 2002)

<i>Fusarium</i> fajok:	Mikotoxinok:
<i>F. acuminatum</i>	T2, MON, HT2, DAS, MAS, NEO, BEA
<i>F. avenaceum</i>	MON, BEA
<i>F. cerealis</i>	NIV, FUS, ZEN, ZOH
<i>F. culmorum</i>	DON, ZEN, NIV, FUS, ZOH, AcDON
<i>F. equiseti</i>	ZEN, ZOH, MAS, DAS, NIV, DAcNIV, FUS, FUC, BEA
<i>F. graminearum</i>	DON, ZEN, NIV, FUS, AcDON, DAcDON, DAcNIV
<i>F. heterosporum</i>	ZEN, ZOH
<i>F. oxysporum</i>	MON, BEA
<i>F. proliferatum</i>	FB₁, BEA, MON, FUP, FB₂,
<i>F. subglutinans</i>	BEA, MON, FUP
<i>F. tricinctum</i>	MON, BEA
<i>F. verticillioides</i>	FB₁, FB₂, FB₃

2.3.1. Aflatoxin

A mikotoxinok egyik csoportja, melyet az *Aspergillus flavus* és *Aspergillus parasiticus* fajok termelnek. Az aflatoxin erős rákkeltő anyag, amelyet a legtöbb országban szigorúan szabályoznak. Több növény is fogékony az *Aspergillus* fajokkal szemben, úgymint a kukorica, földimogyoró, gyapot és diófélék. A számára megfelelő körülmények között a gomba elszaporodik

és aflatoxint termel, ami általában a szárazsággal van összefüggésben. Az aflatoxin nem megfelelő tárolási körülmények között is képes felhalmozódni a termésben (Klich 2007).

Az aflatoxin által okozott betegség az aflatoxikózis. Két általános formája van, az egyik ebből az akut aflatoxikózis, amely halálhoz vezet. A másik a krónikus aflatoxikózis, amely rákot okoz, a máj az elsődleges célszerv (Bennett és Klich 2003).

Négy fő aflatoxin létezik: B1, B2, G1, G2, ezekből a legártalmasabb az aflatoxin B, aminek rákkeltő hatása van (Squire 1981).

Világszerte több nemzet is előírásokban szabályozza az aflatoxin maximális mennyiségét az élelmiszerekben, országonként eltérő mennyiségeket határoztak meg. Az Európai Unió az összes tagállamára vonatkozóan egységes előírást vezetett be, ami jóval szigorúbb összehasonlítva más országokéval, mint például az Amerikai Egyesült Államokéval. Egyes nemzeteknél az aflatoxin szabványt kifejezetten az aflatoxin B1-re határozták meg, nem pedig az összes aflatoxinra vonatkozóan. Amellett, hogy országonként eltérő maximális mennyiséget állapítottak meg, a szabályozás alá eső aflatoxin típusok sem egyeznek meg. Ugyanakkor elmondható, hogy a top húsz exportáló ország szabályozása közel azonos azokkal az országokéval, akik behozatalra szorúlnak kukorica esetében (Wu és Guclu 2012).

2.3.2. Trichotecének

A trichotecének több mint 190 szerkezetileg rokon vegyületből álló csoport, amelyet számos gombafaj termel (Li és mtsai, 2011). A legfontosabb közülük a fuzárium fajok, a *Fusarium sporotricioides* és *Fusarium graminearum* a leggyakoribb trichotecén termelő gombák. Az alacsony hőmérséklet, magas nedvesség és páratartalom kedvez ennek a toxinnak a termelődésének. A legfontosabb trichotecének a T-2, nivalenol (NIV) és a dezoxinivalenol (DON). A legtöbb tanulmány a T-2 toxinnal kapcsolatos, habár a DON toxin a legáltalánosabban elterjedt toxin a gabonák között, mint például a búza, kukorica és az árpa (Roger és Coulombe 1993).

A DON toxin egy nagyon stabil vegyület, ami az élelmiszerek feldolgozása esetén magas hőmérsékleten sem bomlik le (Bennett és Klich, 2003). A gabonafélék gyakori szennyeződése a DON toxinnal és annak ellenállósága a feldolgozással szemben arra következtet, hogy tartósan képes megmaradni az emberi és állati élelmiszerellátásban (Rotter és mtsai, 1995). Abban az esetben, ha a korábban említett környezeti feltételek a tenyésztődőszak végén lépnek fel, késleltetik

a betakarítást, ezáltal tovább növelik a penészgomba terjeszkedését, amely hatására megnő az esélye a magasabb DON koncentrációnak is (Vesonder és mtsai, 1978).

A T-2 toxin lenyelést követően akut és krónikus toxicitást okoz, ezt követően általában metabolizálódik és eliminálódik. Következésképpen fennáll annak a lehetősége, hogy a T-2 toxinnal szennyezett állati termékek fogyasztása veszélyt jelenthet az emberre is. A T-2 toxin számos mérgező hatást vált ki az állatokban, mint például fogyás, a vörsejtek és a leukociták számának csökkenése, a plazma glükózsintjének csökkenése, valamint kóros elváltozások a májban és a gyomorban (Li és mtsai, 2011).

2.3.3. Zearalenon

A zearalenont (ZEN) számos fuzárium faj termeli. Ilyen például a *F. graminearum*, *F. culmorum*, vagy *F. cerealis*. A ZEN a legszélesebb körben elterjedt fuzárium mikotoxinok között van, ami kukoricában gyakran előfordul nagy mennyiségben. A zearalenon egy ösztrogén hatású vegyület, amely sertéseknél hiperösztrogenizmussal, míg szarvasmarháknál és baromfiknál meddőséggel jár (Logrieco és mtsai, 2002).

A toxintermelést elősegíti a betakarítás idején magas páratartalom és alacsony hőmérséklet. A zearalenon hőstabil, nem bomlik le a feldolgozás során. A zearalenon a bélsejtekben metabolizálódik, két fő metabolitja van, az egyik az alfa-zearalenol, a másik a béta-zearalenol. A sertésekben a fő metabolit az alfa-zearalenol, ennek a metabolitnak a toxicitása négyszer nagyobb, ami megmagyarázza azt, hogy a sertések miért érzékenyebbek a ZEN-re (Ropejko és Twaruzek, 2021).

2.3.4. Fumonizinek

Gelderblom és mtsai (1988) jelentették először, hogy a mikotoxinok egy újabb osztályát mutatták ki egy *Fuvarium verticillioides* (Sacc.) Nirenberg nevű kultúrából és hogy ezek a toxinok rákkeltő hatásúak. Mielőtt felfedezték volna a fumonizineket, már korábban kimutatták toxikus hatásukat az állatoknál. A legdrámaibb megnyilvánulása a ló leucoencephalomalacia (ELEM), amely a lovak, szamarak és nyulak halálos agyi betegsége (Marasas, 1996). A betegség halálos lefolyása lovak esetében néhány órától egy hétig tart, amit a Fumonizin B1-el hoztak összefüggésbe (Munkvold és Desjardins, 1997).

Miután a Fumonizinek előfordulása széles körű a kukoricában, ami sok országban alapvető élelmiszernek számít, ezért az IARC (International Agency for Research on Cancer) értékelte a fumonizinek rákkeltő hatásának kockázatát az emberekre nézve 1993-ban. Az értékelés eredménye képpen a *F. verticillioides* által termelt 2B csoportot rákkeltő anyagként jelölték az emberekre nézve.

A fumonizineket négy főbb csoportba osztották. A, B, C és P csoportokra. A B csoportba tartozó toxikológiailag fontos FB1, FB2, FB3, a természetben leggyakrabban előforduló fumonizinek, amelyek közül az FB1 dominál. Általában a fumonizin tartalom 70-80%-a köthető az FB1 toxinhoz (Marin és mtsai, 1995). Más csoporthoz tartozó toxinok előfordulását kevesebb mint 5%-ban állapították meg (Musser és mtsai, 1996).

Tizenöt fuzárium faj esetében állapították meg, hogy fumonizin termelésére képesek, ebből nyolc a *Liseola* szekcióba tartozik. A legfontosabb fumonizin termelő gombák a *Fusarium verticillioides* és a *Fusarium proliferatum*, mivel gyakori az előfordulásuk kukoricán világszerte, illetve ismert a mikotoxikus hatásuk (Rheeder és társai, 2002).

2.3.5. A mikotoxinok maximális jelenlétére vonatkozó szabályozások és határértékek az Európai Unióban

A korábban említett, mikotoxinok által fellépő komoly veszélyforrások (az emberre és az állatokra nézve) miatt a világ országainak többsége saját határértékeket állapított meg. Az EU tagállamai, köztük Magyarország is, az Európai Bizottság (EB) 2006/576/EC rendeletét kell kövesse, ami világviszonylatban az egyik legszigorúbb határértéket határozta meg. A rendelet megadja az állati takarmányozásra szánt termékekben a fontosabb mikotoxinok legnagyobb megengedhető határértékeit mg/kg-ban, 12%-os nedvességtartalmú takarmányra vonatkozóan. További rendeletek, melyek meghatározzák az állati és emberi fogyasztásra szánt termékek maximális megengedett toxinszennyezettségét: EC No 1881/2006, EC 2002/32/EC, EC No 1126/2007.

2.4. Csőpenészekkel szembeni ellenállósági vizsgálatok során alkalmazott mesterséges fertőzési módszerek

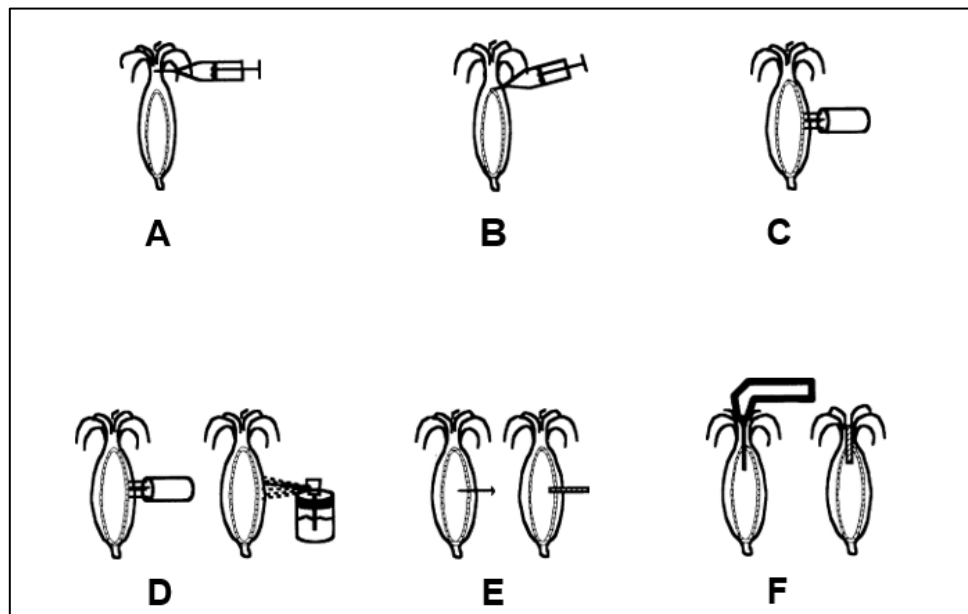
A kukorica hibridek csőpenésszel szembeni ellenállósága biztosíthatja a gazdák, illetve a fogyasztók számára, hogy a káros mikotoxinok ne kerüljenek be az élelmiszerláncba. A rezisztencia nemesítés megkezdése előtt hatékony technikákat kell kidolgozni a *Fusarium* fajok és az általuk termelt mikotoxinok kimutatására. Ennek segítségével a hibrideket rezisztens, illetve fogékony kategóriába sorolhatjuk. Természetes fertőzéssel összehasonlítva, az oltás növeli a betegség súlyosságát és csökkenti a variabilitást a kezelésein belül és a kezeléseik között (Clements és mtsai, 2003).

A mesterséges fertőzési módszerek alapja egészen az 1940-es évekre vezethető vissza. Young (1943) kísérletei során fertőző inokulummal átitatott fogvájókat használt a kukoricacsövek megfertőzésére, amit a mai napig az egyik leghatékonyabb fertőzési módszernek tartanak (Mesterházy és mtsai, 2020).

Gulya és mtsai (1980) már a fogvájós technikát hasonlították össze a bibefújásos technikával, ahol arra a következtetésre jutottak, hogy a fuzárium izolátumal átitatott fogpiszkáló erősebb csőpenész fertőzést idézett elő, ezáltal a rezisztens genotípusok könnyebben megkülönböztethetőek voltak, szemben a bibefújásos technikával. Mindkét oltási módszernél az 50%-os bibevirágzást követően tíz nappal később történt meg a fertőzés. Ezen kívül négy időpontban értékelték a fertőzés mértékét a csöveken. Az első értékelést két héttel a fertőzést követően kezdték meg ezután kéthetente vizsgálták újra a csöveket. Az utolsó értékelésre a fertőzést követő nyolcadik héten került sor. Megállapították, hogy az akkor mért adatok nagyobb fertőzést eredményeztek, mint a hatodik héten, ami a magok érettségével lehet összefüggésben. Koehler és mtsai (1934) szerint a legnagyobb csőfertőzöttséget 28% szemnedvesség körül tapasztalták.

Chungu és mtsai (1996) már hat különböző inokulációs technikát vizsgáltak konídium szuszpenzióval, hat különböző beltenyésztett vonalon. Minden beltenyésztett vonal esetében 10 növényt fertőztek 5×10^5 konídium / ml szuszpenzióval (7. kép).

- (A) Bibecsatornás injektálás (7 nappal a bibe virágzást követően injekciós tűvel szúrták 2 ml inokulummal)
- (B) Csővégi injektálás (7 nappal a bibe virágzást követően injekciós tűvel szúrták a cső végét 2 ml inokulummal)
- (C) Magbeoltás (15 nappal a bibe virágzást követően egy fanyélre erősített 4 szögből álló, 1,5 cm-es szondát használtak, amelyet belemártottak a szuszpenzióba, majd a csőbe szúrtak úgy, hogy csak 3-4 magot sértsenek meg vele a cső közepén)
- (D) Csőszűrés és permetezés (15 nappal a bibe virágzást követően a 4 szögből álló steril szondával csak megsértették a csövet, majd ezt követően juttatták be a 2 ml szuszpenziót porlasztókészülékkel)
- (E) Pamut pálcikás beoltás (15 nappal a bibe virágzást követően egy szög segítségével 2 cm-es lyukat készítettek a cső közepén, majd egy ugyanekkora pamut pálcikát áztattak be a spóraszuszpenzióval és helyeztek be a csőbe)
- (F) Csővégi oltás (15 nappal a bibe virágzást követően a csuhéleveleket felnyitották úgy, hogy a cső csúcsa láthatóvá váljon. Egy akkumulátoros fúró segítségével körülbelül egy cm mély lyukat vájtak a csutkába, majd ugyanekkora pamut pálcikát áztattak be a szuszpenzióval és helyeztek be. Ezután a csuhéleveleket összefogták egy gumival, amivel újra eltakarták a csövet)



7. kép: Chungu és mtsai (1996) által alkalmazott fertőzési technikák

Az alkalmazott technikák között szignifikáns különbségeket állapítottak meg. Az összes oltási technika közül a csővégi oltás okozta a legnagyobb erősségű fertőzést. A mesterséges csőfertőzési technikák közül a bibecsatornás injektálás, illetve a magbeoltásos technika bizonyult a leghatékonyabbnak a mag és a bibe ellenállóságának tekintetében.

Clements és mtsai (2003) azt feltételezték, hogy számos oltási módszer alkalmas a genotípusok érzékenységének vizsgálatára, de nem biztos, hogy hatékony a fumonizin tartalom vizsgálatára. Kutatásukban tizennégy kereskedelmi hibriddel állítottak be kísérletet, több oltási módszert kipróbálva. A kontrol parcellák mellett négy különböző oltási módszert teszteltek, bibevirágzást követően körülbelül hét nappal történt meg a fertőzés:

- 5 ml spóra szuszpenzió injektálása a kukorica R2 (Hólyag) stádiumában a csuhéleveleken keresztül a csőbe.
- bibék lefújása 5 ml spóra szuszpenzióval szintén R2 stádiumban, amit egy izoláló papírzacskóval lezártak.
- bibék lefújása 5 ml spóra szuszpenzióval szintén R2 stádiumban, amit egy izoláló papírzacskóval lezártak, majd egy héttel később megint lefújtak és újra zacskóval izolálták.
- Fogvájós módszer, melynek során hat fuzárium törzsszel kolonizált fogvájót a cső bibecsatornájába szúrtak.

Eredményeik alapján a négy fertőzési módszer közül a csuhéleveleken keresztül a csőbe injektálás bizonyult a legmegbízhatóbbnak. Ez az oltási technika hatékonyan különböztette meg a genotípusokat a csőpenésszel szembeni fogékonysággal. A két éves vizsgálat alatt, az első év során kialakított hibrid sorrend nem változott a második évben sem. Ez a technika alkalmas nagyszámú genotípus hatékony értékelésére csőpenész fogékonyság, illetve mikotoxin tartalom mérésére.

Általánosságban elmondható, hogy a mesterséges fertőzési módszerek közül azokat a technikákat alkalmazták előszeretettel, amelyek közvetlen a kukoricaszemekbe juttatták az inokulumot a csövek fejlődésének korai szakaszában (Clements és mtsai, 2003.).

A bibefújós oltási módszer elsődleges előnye, hogy legjobban reprodukálja a természetes fertőzési módot (Warren, 1978), ugyanakkor Koehler (1942) kimutatta, hogy a széllel terjedő konídiumok a csővégre jutva meghatározó tényezők a magfertőzés során, illetve a cső bármilyen sérülése esetén fokozott penészesedést eredményez. Ilyen például a rovarok okozta rágás, az amerikai kukoricabogár (*Diabrotica virgifera virgifera*) és a kukoricamolylepke (*Ostrinia nubilalis*)

mellett, a gyapottok-bagolylepke (*Helicoverpa armigera*) a legjelentősebb kártevők ebből a szempontból.

A fumonizin koncentrációja és a csőpenészesedés mértéke korrelálnak egymással, azonban számos esetben, a tünetmentes szemekben is találtak fumonizin mikotoxint (Nelson, 1991, Munkvold és Desjardins, 1997).

3. Anyag és módszer

3.1. Szántóföldi kísérlet kivitelezése

A kisparcellás kísérletet 2022-ben állítottam be a Corteva Agriscience Hungary Zrt. Szikáncson található nemesítői tenyészkertjében, ami a Dél-Alföldön, Csongrád-Csanád Vármegyében helyezkedik el. A fényképen látható (8.kép) sárgával kijelölt területen volt beállítva a kísérlet. A kísérletben három nemesítő ház összesen, piacon is elérhető, tíz hibridjét (4.táblázat) mesterségesen fertőztem meg a bibecsatornán keresztül *Fusarium verticillioides* inokulummal két különböző dózisban és négy ismétlésben. A kísérletben szereplő hibridek nevét egyedi azonosítóval láttam el, mivel a dolgozat célja nem a nemesítő házak genetikai anyagainak pozitív vagy negatív elbírálása.



8. kép: Szikáncsi kísérlet 2022. (Saját felvétel DJI Mavic 2 pro drónnal, 2022)

4.táblázat: A kísérletben szereplő hibridek.

Sorszám	Egyedi kód	Nemesítő ház	FAO
1	H1	KWS	390
2	H2	KWS	330
3	H3	Corteva Agriscience	340
4	H4	Corteva Agriscience	350
5	H5	Dekalb	370
6	H6	Dekalb	330
7	H7	Dekalb	400
8	H8	Corteva Agriscience	380
9	H9	Corteva Agriscience	340
10	H10	Corteva Agriscience	350

3.2. A kísérleti terület jellemzői

3.2.1. A kísérleti területen alkalmazott agrotechnika

A kísérleti hely iszapos vályog talaj, amely jó vízgazdálkodású, makroelemekkel jól ellátott, magas humusztartalmú, réti csernozjom talaj. A kísérlet beállítását megelőzően talajmintát vettünk, amelynek az eredményeit az (5. táblázat) foglalja össze. A vizsgálatot a Homokkert Kistérségi Integrációs Nonprofit Kft. végezte.

5. táblázat: Talajminta eredmények a területről.

Vizsgált paraméter	Mértékegység	Érték
K _A	K _A egység	45
pH (H ₂ O)	pH egység	7,9
Összes só	m/m % sz.a.	0,02
Humusz	m/m % sz.a.	2,8
CaCO ₃	m/m % sz.a.	3,7
N _{min}	mg/kg	17,0
t-érték	mgeé/100 g	31,1
Mechanikai összetétel		
>0,25 mm	m/m % sz.a.	0,7
0,25-0,05 mm	m/m % sz.a.	14,1
0,05-0,02 mm	m/m % sz.a.	24,8
0,02-0,01 mm	m/m % sz.a.	13,8
0,01-0,005 mm	m/m % sz.a.	8,8
0,005-0,002 mm	m/m % sz.a.	9,1
<0,002 mm	m/m % sz.a.	28,8

A kísérleti terület elővetemény búza volt, tarlóhántást és tarlóápolást követően, ősszel 25-30cm mélyen lett megszántva. Tavasszal egy simítózást követően 250 kg karbamid lett kijuttatva a területre, amelyet kombinátorral dolgoztak be, mint magágykészítő művelet. A vetésre 2022.05.03-án került sor, kisparcellás, 8 soros Baural egyedileg átalakított vetőgéppel (9.kép). A terület gyomirtására 05.19-én került sor, korai posztemergensen, Principal Plus Gold (92 g/kg nikoszulfuron + 23 g/kg rimszulfuron + 550 g/kg dikamba + 300 g/l pethoxamid + 187,5 g/l terbutilazin) gyomirtó szerrel. A 2022-es év az elmúlt 100 év legaszályosabb évei között volt, így a kísérlet sikeressége érdekében a szezon folyamán többször is öntöztünk, amit a 6-dik táblázatban foglaltam össze. Az öntözést lineár öntözőrendszer biztosította. Inszekticides kezelést végeztünk gyapottok bagolylepke (*Helicoverpa armigera*) és kukoricamoly (*Ostrinia nubilalis*) ellen Coragen 20 SC (200g/l klorantraniliprol) készítménnyel, hogy a fertőződést ne befolyásolja a kártevők által okozott sebzés. Előrejelzés alapján az első kezelést 06.27-én végeztük, míg a másodikat 07.12-én, mindkét esetben az öntözővízzel történt meg a rovarölőszer kijuttatása.



9. kép: Kisparcellás vetőgép (saját felvétel, 2019)

6.táblázat: Tenyészidőszak során lehullott csapadék és öntözés mennyisége

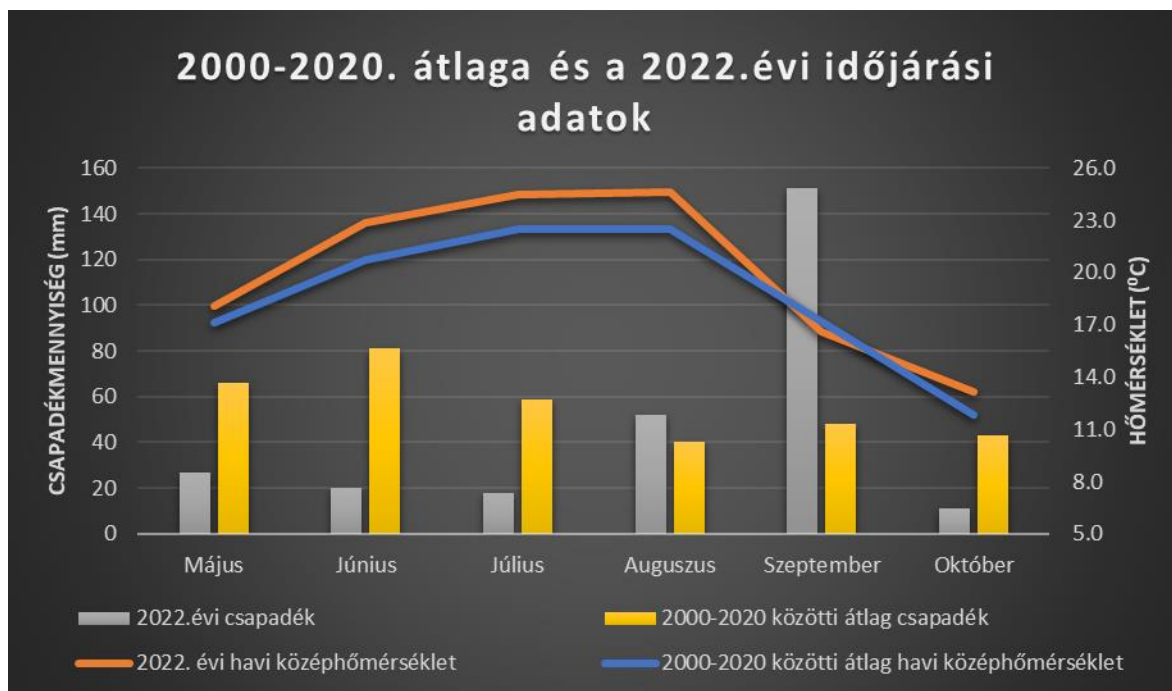
Hónap	Lehullott csapadék (mm)	Öntözés (mm)
Május	27	
Június	20	25
Július	18	85
Augusztus	52	60
Szeptember	151	
Október	11	
Összesen:	279	170

3.2.2. A kísérleti terület időjárása a tenyészidőszakban

Az Országos Meteorológia Szolgálat (OMSZ) elemzése szerint a harmadik legmelegebb év volt 1901 óta, illetve a tizenhetedik legszárazabb év. Szikáncson a hőségnapokat tekintve 48 esetben volt 30-34 °C között, illetve 17 alkalommal 35 °C felett a hőmérséklet (7.táblázat). Az 1. ábrán hasonlítottam össze a 2022. év tenyészidőszakát a 2000-2020 közötti évek átlagával, havi középhőmérséklet és havi csapadékmennyiség tekintetében. Jól látható, hogy a kukorica vegetatív szakaszában minimális csapadék hullott, virágázás idején is a száraz meleg idő volt jellemző, ami kedvez a *Fusarium verticillioides* terjedésének. Szeptemberben az átlagnál jóval több csapadék hullott, elérve a 150 mm-t, ami szintén kedvez a gombás betegségek továbbterjedésének. Az időjárési adatokat a Corteva Agriscience Hungary Zrt. által üzemeltett Davis meteorológiai mérőállomás biztosította a kísérleti területen. A 2000-2020 évek közötti időjárési adatok az OMSZ oldaláról származnak.

7. táblázat: Hőség és forró napok száma.

Hónap	Hőségnapok száma	Forró napok száma
Május	3	0
Június	17	2
Július	12	9
Augusztus	15	6
Szeptember	1	0
Összesen:	48	17



1. ábra: A 2022. év időjárása összehasonlítva a 2000-2020 közötti évek átlagával a tenyészidőszak során.

3.3. A kísérlet elrendezése

A tíz kukorica hibrid három kezeléssel, négy ismételtsben, két blokkban lett beállítva (8.táblázat). Az ismételéseken belül a hibridek randomizálva lettek elvetve. Egy parcella egy soros, 3,7 m hosszú volt. A parcellák 75 cm-es sortávolságra és 17 cm-es tőtávra voltak vetve egymástól, 78.000 növény/hektár csíraszámmal. A parcellák között 0,8 méter út volt az átjárhatóság, illetve a blokkok elválasztása miatt. Parcellánként 21-22 darab növény volt egy sorban. A két blokk a kétféle dózist jelölte, minden blokkban a kezelt parcellákon belül volt a harmadik, kezeletlen kontrol kezelés.

8. táblázat: Parcellák elrendezése.

Ismétlés	I.Blokk: Kezelés I.										II.Blokk: Kezelés II.									
	Hibridek H1-H10-ig										Hibridek H1-H10-ig									
IV	H9	H6	H1	H7	H3	H5	H10	H4	H2	H8	H9	H6	H1	H7	H3	H5	H10	H4	H2	H8
III	H3	H10	H8	H5	H7	H9	H4	H1	H6	H2	H3	H10	H8	H5	H7	H9	H4	H1	H6	H2
II	H4	H7	H9	H6	H10	H8	H2	H3	H1	H5	H4	H7	H9	H6	H10	H8	H2	H3	H1	H5
I	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10

3.4. A mesterséges fertőzés bemutatása

A kísérletben a Clements és mtsai (2003) által legmegbízhatóbbnak vélt fertőzési módszert választottuk, ami a bibecsatornán keresztüli oltópisztollyal történő szuszpenzió bejuttatás volt. A két kezelés a bejuttatott szuszpenzió mennyiségi különbségéből adódott. Az I. kezelés esetén 2,5 ml szuszpenziót, míg a II. kezelés esetén 5 ml-t injektáltam a csőkezdeményekbe.

A *Fusarium verticillioides* faj izolátumából származó szuszpenziót a Corteva Agriscience Hungary Zrt. biztosította, ami 10^6 db konídiumot tartalmaz milliliterként. Az inokulum fagyasztott állapotban érkezett meg a Corteva Agriscience Hungary Zrt. szegedi nemesítő telephelyére, felhasználásáig -30 és -20 °C között tároltuk. A fertőzést virágzástól függően végeztük, négy alkalommal, minden reggel egy fiolát (10. kép) kézmeleg vízben olvasztottunk fel. A felolvasztást követően a fiola tartalmát 10 liter desztillált vízzel hígítottuk, így kapva meg a végleges koncentrációt (11. kép), ami már alkalmas volt a fertőzésre.



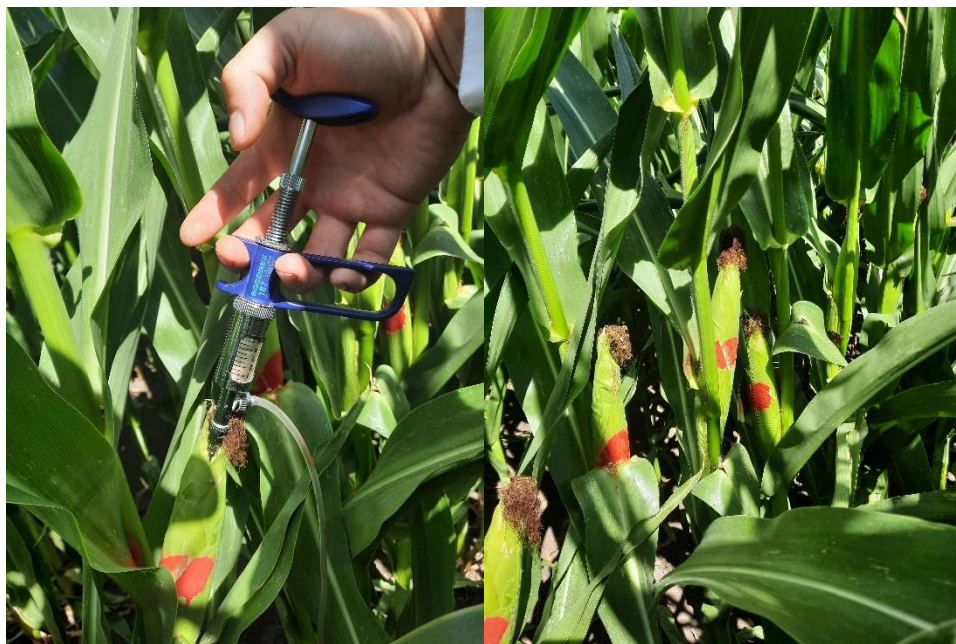
10. kép: Mélyfagyasztott inokulum
(saját felvétel, 2022)



11. kép: Bekevert szuszpenzió
(saját felvétel, 2022)

A mesterséges fertőzést a hibridek 50%-os bibe virágzását követő nyolcadik napon csináltuk meg, minden parcellán kilenc növényt választottunk ki a fertőzéshez. A szuszpenzió bejuttatásához Socorex, állatgyógyászatban használt tömegoltó pisztolyt használtunk (12. kép). A parcellán nem beoltott növények jelentették a kontrol növényeket, amit a kiértékelésnél, mint harmadik kezelés (kontrol) használtam fel. A parcella első és utolsó növénye az értékelés szempontjából nem került

fertőzésre és kontrolként sem számított bele a kiértékelésbe. A fertőzött növények későbbi beazonosítása érdekében piros színű festékkal jelöltem meg a csöveket (12. kép).



12. kép: A fertőzés kivitelezése és a megjelölt fertőzött csövek (saját felvétel, 2022)

3.5. A csőpenész fertőzöttség értékelése

A fertőzött csövek betakarítása kézzel történt meg. Parcellánként a kilenc fertőzött cső mellett kilenc nem fertőzött (kontrol) cső lett betakarítva, majd szárító szekrényben 14%-os szemnedvességre leszártva. A fertőzött és kontrol csövek vizuális értékelése 1-9-ig terjedő skálán történt, ahol a 9 jelenti az egészséges csövet és 1 a legfertőzöttebbet (13. kép).



13. kép: Csőbonításhoz használt 1-9-ig terjedő skála (Nagygyörgy Gáspár felvétele, 2017)

3.6. A beltartalmi vizsgálatok elvégzése

A Corteva Agriscience Hungary Zrt. szegedi nemesítő telephelyén Granolyser HL NIR-elemzőkészülék segítségével a lemorzsolt minták fehérje, keményítő értékét lehetett mérni (14. kép). A beltartalmi értékeken felül Marvin 5.0 Seed Analyzer nevű géppel történt a morzsolt minták ezermag tömegének mérése (15. kép).



14. kép: Granolyser HL beltartalom mérő (saját felvétel, 2022)



15. kép: Marvin 5.0 Ezermagtömeg mérő (saját felvétel, 2022)

3.7. A mikotoxin mérés kivitelezése

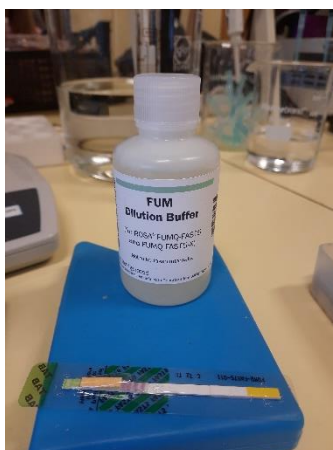
A magminták toxin mérését a Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem Agronómia tanszékén végeztük. A minták gyorsméréséhez Charm EZ-M készüléket használtuk (16. kép), amellyel a toxinok közül a Zearalenon és Fumonizin tartalmat vizsgáltuk (17, 18. kép).

Hibridenként és kezelésként a négy ismétlésből véletlenszerűen vett mintát egyesítettük. A ledarált mintából 10 g-ot bemértünk a centrifuga csőbe, majd hozzáadtunk 20 ml 70%-os metanolt. Ezt követően egy percen keresztül összeráztuk, majd egy percre hagytuk ülepedni. Egy Eppendorf csőbe 1 ml puffer oldatot pipettáztunk, amihez 100 µl-t adtunk a leülepedett minta tiszta részéből és öt másodpercig ráztuk. A tesztcsíkot behelyeztük a gépbe és a jelölő vonalig felnyitottuk. A gép felmelegedése után az Eppendorf-csőben lévő mintából 300 µl-t rápipettáztunk, visszahajtottuk a tesztcső tetejét és lecsuktuk a gépet. Öt perc visszaszámlálás után megkaptuk az

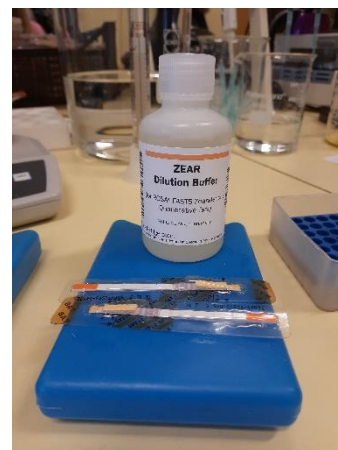
eredményt Fumonizin tartalom esetében PPM mértékegységben, Zearalenon esetében pedig PPB mértékegységben.



16. kép: Charm EZ-M mikotoxin gyorsmérő (Saját felvétel, 2022)



17. kép: Fumonizin Puffer oldat, tesztcsíkkal (Saját felvétel, 2022)



18. kép: Zearalenon Puffer oldat, tesztcsíkkal (Saját felvétel, 2022)

3.8. A kapott eredmények statisztikai feldolgozása

Az eredmények statisztikai értékelése variancia-analízissel (5%-os tévedési valószínűséggel) történt. Az eredményeket a Minitab nevű statisztikai szoftverrel dolgoztam fel. A statisztikai próbák során kapott eredmények értelmezéséhez Dr. Sváb János: Biometriai módszerek a kutatásban (1981) c. könyve szolgált alapul.

4. Eredmények

4.1. Csőfertőzöttség eredményei

A mesterséges fertőzést megelőzően felvételeztem a hibridek 50%-os bibe virágzását, amelynek eredményeit a 9.táblázat foglalja össze a négy ismétlés átlagában. A hibridek kiválasztásánál fontos szempont volt, hogy közel azonos éréscsoportból kerüljenek ki, mivel a kukorica a virágzást követő egy-két hétben a legfogékonyabb a természetes fertőződésre. A hibridek FAO 330-400 éréscsoport között voltak, így virágzásuk pár nap eltéréssel történt meg. A legkorábbi hibridek július 5-én, míg az éréscsoport végén lévők július 8-án virágoztak a négy ismétlés átlagában. Virágzást követő 8. napon minden kísérleti parcella fertőzése megtörtént.

9. Táblázat: Hibridek 50%-os virágzási ideje.

Hibridek	50%-os bibe virágzás dátuma
H1	Július 8.
H2	Július 7.
H3	Július 5.
H4	Július 6.
H5	Július 6.
H6	Július 6.
H7	Július 8.
H8	Július 7.
H9	Július 5.
H10	Július 6.

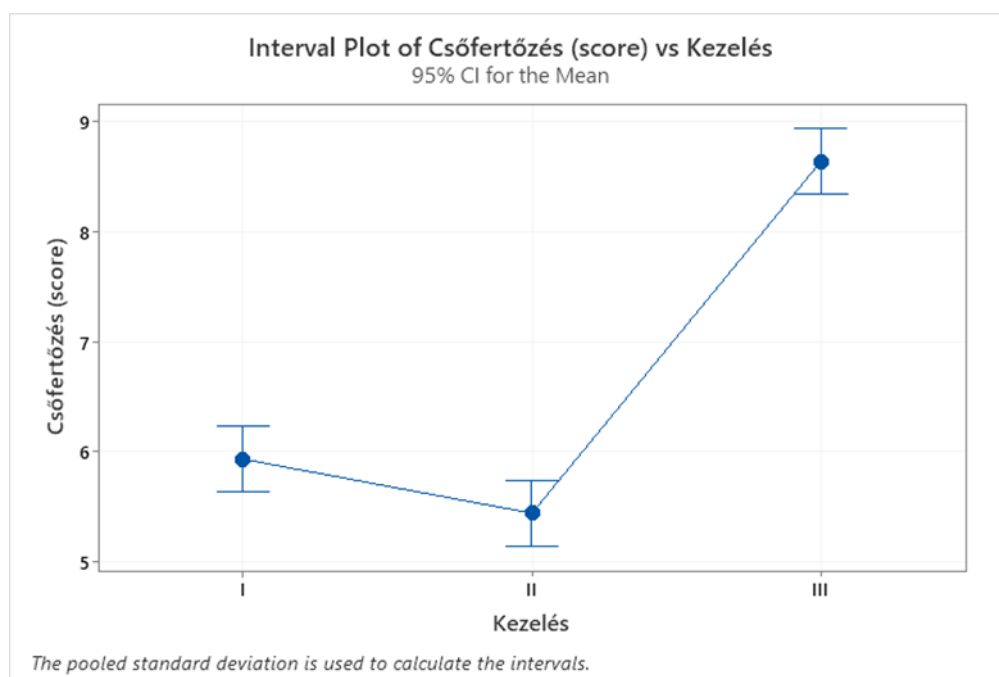
A csőfertőzöttségi adatok a 10.táblázatban találhatók. A természetes fertőzöttség a kontrol csövek esetében 8,3 és 8,8 között volt az egyes hibrideknél. Tehát a genotípusok a természetes fertőzöttség tekintetében minimális különbségeket mutattak, szignifikáns különbség nem állapítható meg. A genotípusok eltérően reagáltak a mesterséges fertőzésre. Az első kezelés tekintetében az értékek 4,5 és 7,1 közé estek. Dupla dózis esetén ezek az értékek 3,5-7,1 között mozogtak. A normál dózis átlaga a tíz hibrid esetében 5,9 lett, míg a dupla dózis esetén 5,4. A

mesterségesen fertőzött parcellák átlaga a két kezelés tekintetében 5,7, szemben a természetes fertőzöttséggel, ami 8,6 lett.

10. Táblázat: Csőfertőzöttségi adatok a kezelések átlagában.

	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	Átlag
Kezelés I. 2,5ml inokulum	6.6	5.8	7.1	4.5	5.1	7.1	5.1	5.6	6.4	6.2	5.9
Kezelés II. 5ml inokulum	6.5	4.9	7.0	3.5	4.3	7.1	5.0	5.0	5.9	5.3	5.4
Kontrol	8.7	8.7	8.8	8.7	8.3	8.5	8.6	8.8	8.6	8.6	8.6
Átlag:	7.3	6.5	7.6	5.6	5.9	7.6	6.2	6.5	6.9	6.7	6.7

A három különböző kezelésre adott reakciót a 2. ábra tartalmazza a tíz hibrid átlagában. Az ábrán látható, hogy a mesterséges fertőzés a kontrolhoz képest magas szignifikáns különbségeket eredményezett, mivel a P érték kisebb volt mint 0,05 (11. táblázat), azonban a mesterséges fertőzések eltérő dózisaik között szignifikáns különbséget nem tudtunk kimutatni, amihez a Tukey páros összehasonlítást vettük alapul (12. táblázat).



2. ábra: Kezelések közötti különbségek.

11. táblázat: Kezelések közötti varianciaanalízis.

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Kezelés	2	236,2	118,112	133,22	0,000
Error	117	103,7	0,887		
Total	119	340,0			

12. táblázat: Tukey páros összehasonlítás.

Kezelés	N	Átlag	Csoportosítás	
III	40	8,6329	A	
I	40	5,933		B
II	40	5,442		B

Magyarázat: Azok az átlagok, amelyek nem osztoznak egy betűn, szignifikánsan különböznek egymástól

A hibridek reagálása a mesterséges fertőzésre statisztikailag igazolható különbségeket okozott, mivel a P érték eredménye 0,035 lett (13. táblázat). A hibridek közötti szignifikáns különbséget 5%-os szinten a Tukey páros összehasonlítással állapítottuk meg. Ezek alapján a hibridek csoportosítása a 14. táblázatban található. Azok között a genotípusok között van szignifikáns különbség, ahol a csoportokat jelző nagy betűk nem azonosak. Megállapítható, hogy az eltérő genetikai háttérrel rendelkező genotípusok különbözőképpen reagálnak a mesterséges fertőzésre. A genotípusok reakciójának trendvonala a mesterséges fertőzés esetén hasonló, a fertőzés mértéke a dózisok eltéréséből adódik. Ugyan az eltérő dózisú kezelések között szignifikáns különbséget nem tudtunk kimutatni, négy hibrid esetében (H2, H4, H5, H10) nagyobb különbségeket tapasztaltunk a többi hibridhez képest (3. ábra). Szignifikáns különbség alakult ki a hibridek és kezelések kölcsönhatása között is a P-értékek alapján. (15. táblázat). A hibrideket mesterséges csőpenész fertőzöttségük alapján sorrendbe állítottam (4. ábra). Ezt követően a hibrideket érzékenységük alapján három csoportba soroltam: fogékony (4-5), mérsékelten fogékony (5-6) és mérsékelten ellenálló (>6) (16. táblázat). Összehasonlításképpen egymás mellé tettem a legellenállóbb (H6) és legfogékonyabb (H4) genotípusok csőfertőzési értékelésekor készült képeket. A két képen a felső sorban található a kilenc mesterségesen megfertőzött cső, alatta a kezeletlen kontrol csövek, amelynek száma szintén kilenc. A két genotípus fogékonysága a

csőpenészre, mesterséges fertőzési körülmények között szemmel is jól látható különbséget eredményezett (19, 20. kép).

13. táblázat: Hibridek közötti varianciaanalízis.

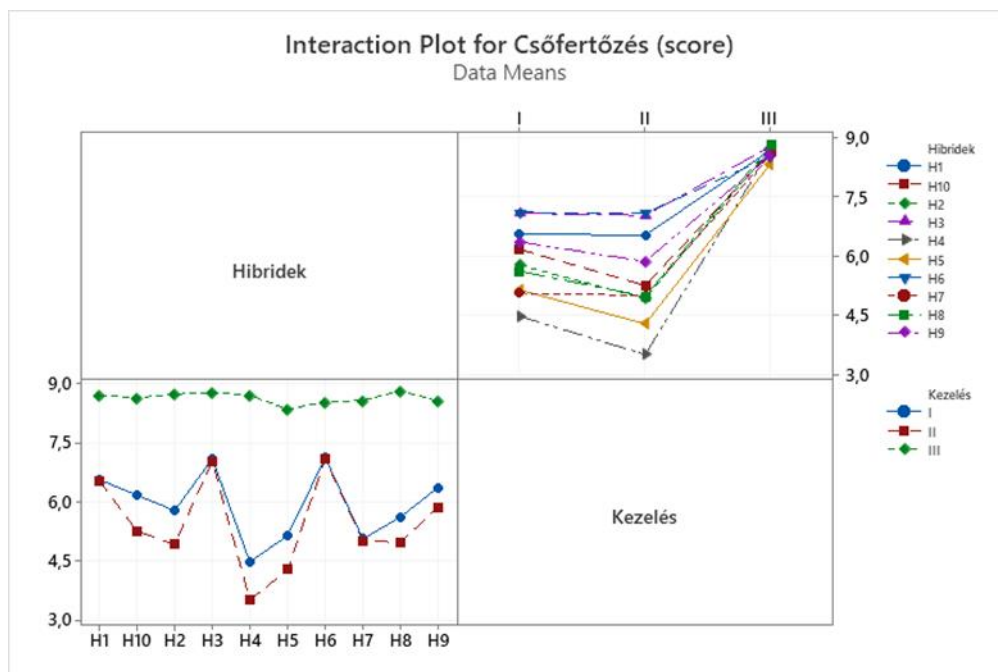
Source	DF	SS	MS	F	P
Hibridek	9	50,983	5,6647	2,11	0,035
Rep	3	1,436	0,4786	0,18	0,911
Error	107	287,536	2,6873		
Total	119	339,955			

14. táblázat: Tukey páros összehasonlítás a hibridek között.

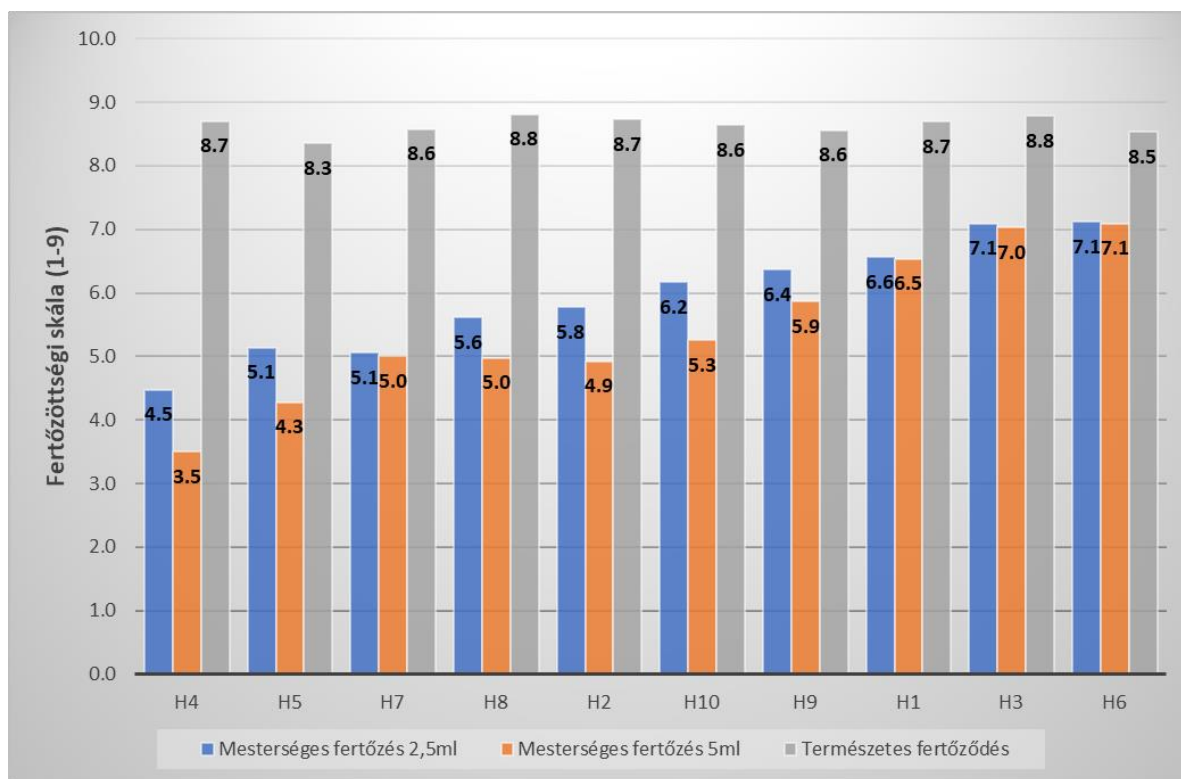
Hibridek	N	Átlag	Csoportosítás					
H3	12	7,62963	A					
H6	12	7,57407	A	B				
H1	12	7,25810	A	B	C			
H9	12	6,92593	A	B	C	D		
H10	12	6,68519		B	C	D	E	
H2	12	6,46991			C	D	E	F
H8	12	6,46296			C	D	E	F
H7	12	6,20817				D	E	F
H5	12	5,92130					E	F
H4	12	5,55556						F

15. táblázat: Hibridek és kezelések közötti interakció varianciaanalízise.

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Kezelések	2	236,22	118,112	241,83	0,000
Hibridek	9	50,98	5,665	11,60	0,000
Error	108	52,75	0,488		
Lack-of-Fit	18	27,37	1,521	5,39	0,000
Pure Error	90	25,38	0,282		
Total	119	339,96			



3. ábra: Hibridek reakciója a mesterséges fertőzésre.



4. ábra: A hibridek sorrendje a mesterséges fertőzés erősségének megfelelően.

16. táblázat: Hibridek *Fusarium verticillioides* szembeni ellenállósága.

Hibrid	Csoport
H4	Fogékony
H5	Fogékony
H7	Fogékony
H8	Mérsékelten fogékony
H2	Mérsékelten fogékony
H10	Mérsékelten fogékony
H9	Mérsékelten ellenálló
H1	Mérsékelten ellenálló
H3	Mérsékelten ellenálló
H6	Mérsékelten ellenálló



19. kép: H4 hibrid a mesterséges fertőzésre legfogékonyabb. (Saját felvétel, 2022)



20. kép: H6 hibrid a mesterséges fertőzésre legellenállóbb. (Saját felvétel, 2022)

4.2. Beltartalmi értékek eredményei

4.2.1. A kukorica minták fehérjetartalma

A fehérje mérés értékeit a 17. táblázatban foglaltam össze a négy ismétlés átlagában. A táblázatban szereplő adatok %-ban értendők. A hibridek genetikai különbségéből adódó eltérést nem vizsgáltuk, csak a hibridek, kezelések közötti fehérjetartalmára végeztünk varianciaanalízist. A tíz hibrid átlagában a két dózis különbsége minimális különbséget mutatott, aminek értéke 0.1% volt. Ezzel szemben a fertőzetlen csövek fehérje tartalma minden hibrid esetében a mesterséges fertőzési értékek alatt volt. A kontrol csövek fehérje tartalma a tíz hibrid átlagában 9.3% volt, ami az I. kezelés esetében 0.4%, a II. kezeléssel szemben pedig 0.5% különbséget eredményezett.

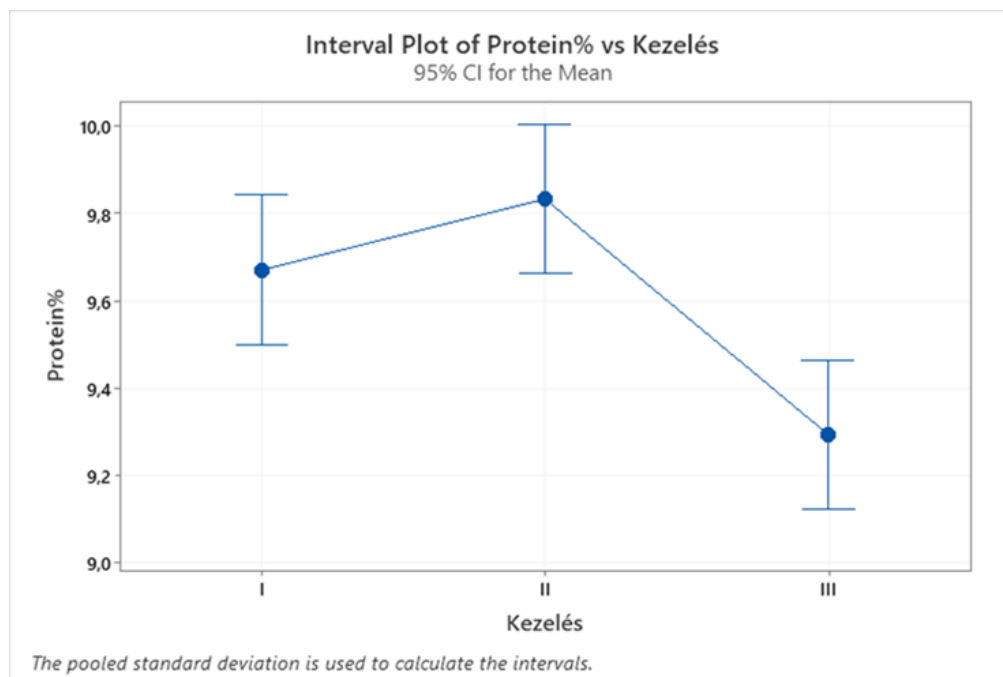
17. táblázat: Hibridek fehérjetartalma (%) a hibridek és kezelések átlagában.

	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	Átlag
Kezelés I. 2,5ml inokulum	9.5	9.7	9.9	9.5	9.9	9.1	10.2	9.7	9.4	9.9	9.7
Kezelés II. 5ml inokulum	9.5	9.8	9.6	10.1	10.0	9.1	10.3	10.1	9.7	10.1	9.8
Kontrol	9.0	9.6	9.4	9.2	9.6	8.8	9.4	9.2	9.2	9.5	9.3
Átlag:	9.3	9.7	9.6	9.6	9.8	9.0	10.0	9.7	9.4	9.8	9.6

A kezelések közötti varianciaanalízis 5%-os szinten szignifikáns különbséget mutatott, mivel a P érték 0.05 alatt volt (18. táblázat). Dupla dózis esetén a hibridek fehérjetartalma egy kicsivel magasabb lett (9,8%) a normál dózissal szemben (9,7%) (4. ábra), azonban közöttük szignifikáns különbséget nem tudtunk kimutatni. A szignifikáns különbség a két eltérő dózis és a kontrol kezelés értékei között mutatkozott meg (19. táblázat).

18. táblázat: Kezelések közötti varianciaanalízis.

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Kezelés	2	6,140	3,0701	10,30	0,000
Error	117	34,879	0,2981		
Total	119	41,020			

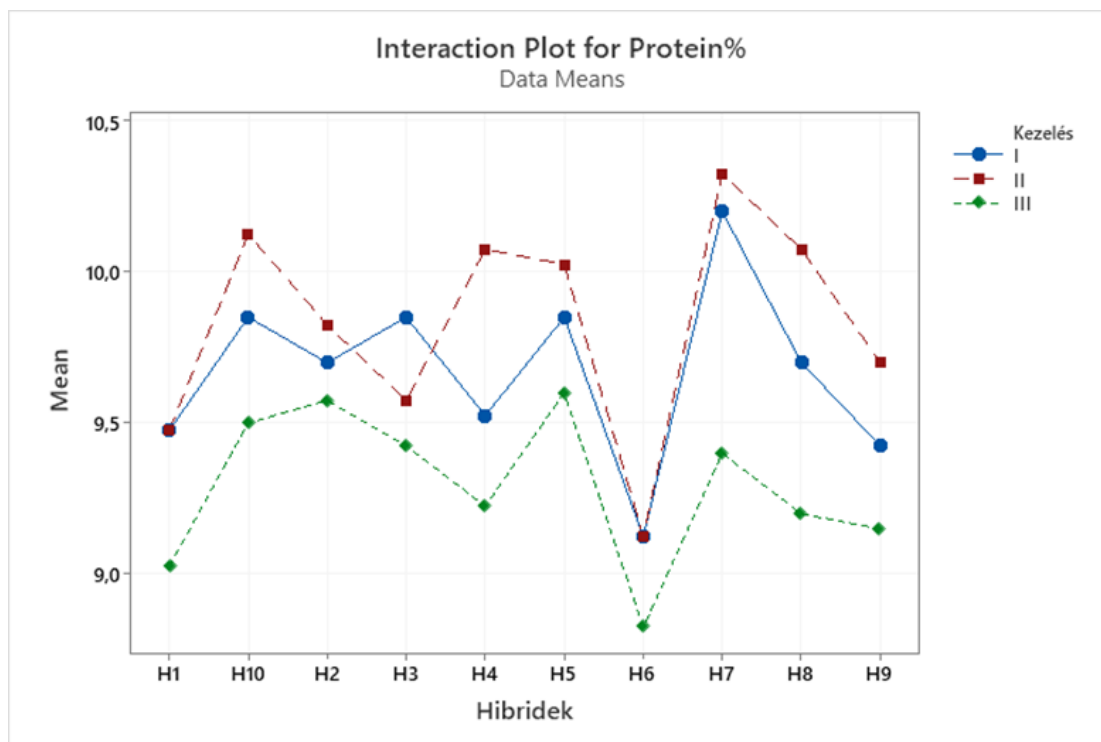


4. ábra: A tíz hibrid fehérjetartalmának átlaga a kezelések függvényében.

19. táblázat: Tukey páros összehasonlítás a kezelések között.

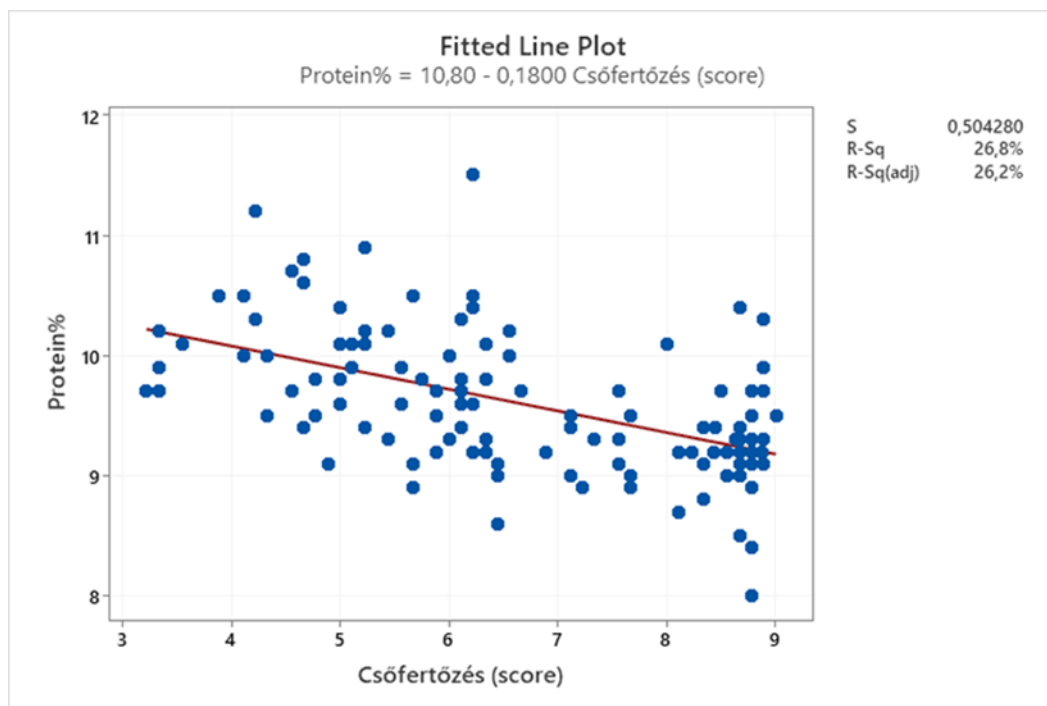
Kezelés	N	Átlag	Csoportosítás	
II	40	9,833	A	
I	40	9,6700	A	
III	40	9,2925		B

Az 5. ábrán a kezelések és a hibridek reakciója látható. A kezelésekre adott reakciója a hibrideknek fehérjetartalom szempontjából nagy hasonlóságokat mutatott, azonban néhol tapasztalható a genetikából eredő eltérés. Például a H3 hibrid esetében a dózis növelés eredményeként alacsonyabb fehérjetartalmat mértünk, míg a H4 hibrid esetén ennek ellenkezőjét tapasztaltuk.



5. ábra: Hibridek reakciója fehérjetartalomra kezelésenként.

Vizsgáltuk a hibridek fehérjetartalma és a csőfertőzési értékének kölcsönhatását. A 6. ábrán láthatjuk, hogy a regressziós vonalhoz képest hol helyezkednek el az adatpontok. Az adatpontok elég messze vannak ettől a vonaltól, amit az r^2 érték is bizonyít. Az r^2 érték 26,8% lett, ami alacsony kölcsönhatásról árulkodik, tehát nincs egyértelmű kapcsolat a csőfertőzésre adott értékek és a hibridek fehérjetartalmának változás között.



6. ábra: Regresszió analízis a hibridek fehérjetartalma és csőfertőzöttségi értékei között.

4.2.2. A kukorica minták keményítőtartalma

A keményítő tartalom eredményei a 20. táblázatban található. Az értékek %-ban értendők. A normál dózis átlaga a tíz hibrid tekintetében 74,2% lett. A dupla dózisu kezelésnél ez az érték 73,6 % volt. A kezeletlen növények esetében a kukoricaszemek keményítő tartalma a hibridek átlagában 75,1% volt. Az eredmények alapján elmondható, hogy a kezelések hatására a keményítő tartalom csökkent a kezeletlen kontrolhoz képest. A dózisok közötti különbség is kimutatható volt. A tíz hibrid átlagában 0,6% volt a keményítő tartalom csökkenése dupla dózis esetén.

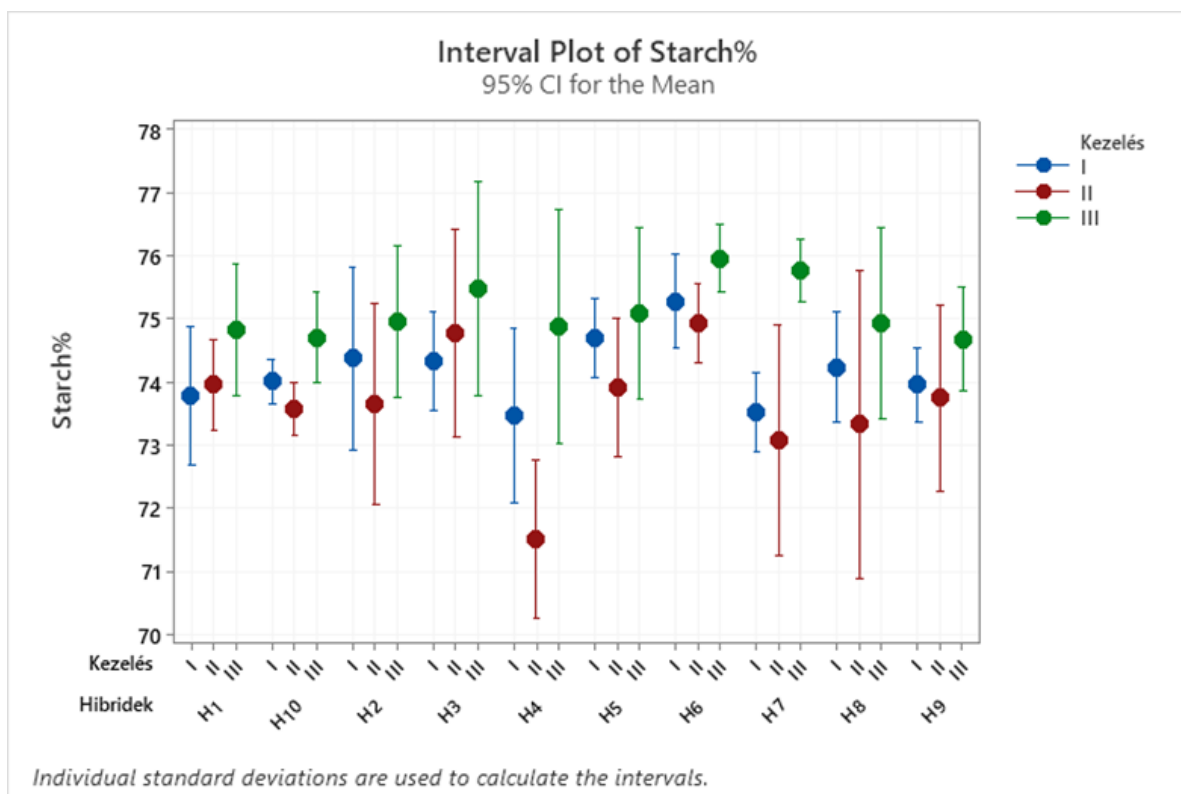
20. táblázat: A hibridek keményítő (%) tartalmának átlaga a hibridek és kezelések tekintetében.

	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	Átlag
Kezelés I. 2,5ml inokulum	73.8	74.4	74.3	73.5	74.7	75.3	73.5	74.2	74.0	74.0	74.2
Kezelés II. 5ml inokulum	74.0	73.7	74.8	71.5	73.9	74.9	73.1	73.3	73.8	73.6	73.6
Kontrol	74.8	75.0	75.5	74.9	75.1	76.0	75.8	74.9	74.7	74.7	75.1
Átlag:	74.2	74.3	74.9	73.3	74.6	75.4	74.1	74.2	74.1	74.1	74.3

A kezelések között a keményítőtartalom tekintetében 5%-os szinten szignifikáns különbséget mutattunk ki, mivel a P érték 0,000 volt (21. táblázat). A 7. ábrán a hibridek keményítő tartalmát láthatjuk a kezelések függvényében a kapott eredmények szórásával. Mind a tíz genotípus esetén a kezeletlen kontrolnál kaptuk a legmagasabb keményítő tartalmat. A H1 és H3 hibridek kivételével a dózis növelése következtében alacsonyabb keményítő értékeket kaptunk, különösen a H4, H5, H8 hibrideknél.

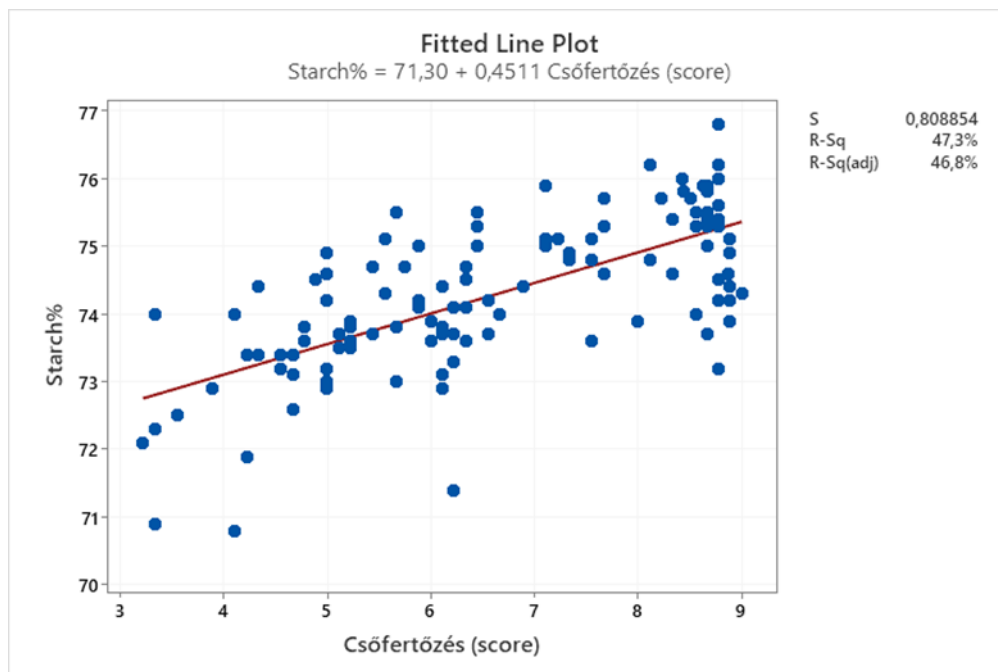
21. táblázat: Kezelések varianciaanalízise a kezelések tekintetében.

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Kezelés	2	44,80	22,4016	25,80	0,000
Error	117	101,58	0,8682		
Total	119	146,38			



7. ábra: Hibridek keményítőtartalma a kezelések függvényében.

Vizsgáltuk a hibridek keményítőtartalma és a csőfertőzési értékének kölcsönhatását. Az 8. ábrán láthatjuk, hogy a regressziós vonalhoz képest hol helyezkednek el az adatpontok. Az adatpontok már jóval közelebb vannak ehhez az egyeneshez, összehasonlítva a fehérjetartalomra kapott értékeket, amit az r^2 érték is bizonyít. Az r^2 érték 47,3% lett, ami pozitív kölcsönhatásról árulkodik. Tehát megállapítható, hogy a csőfertőzési értékek és a hibridek keményítőtartalma között pozitív korreláció van.



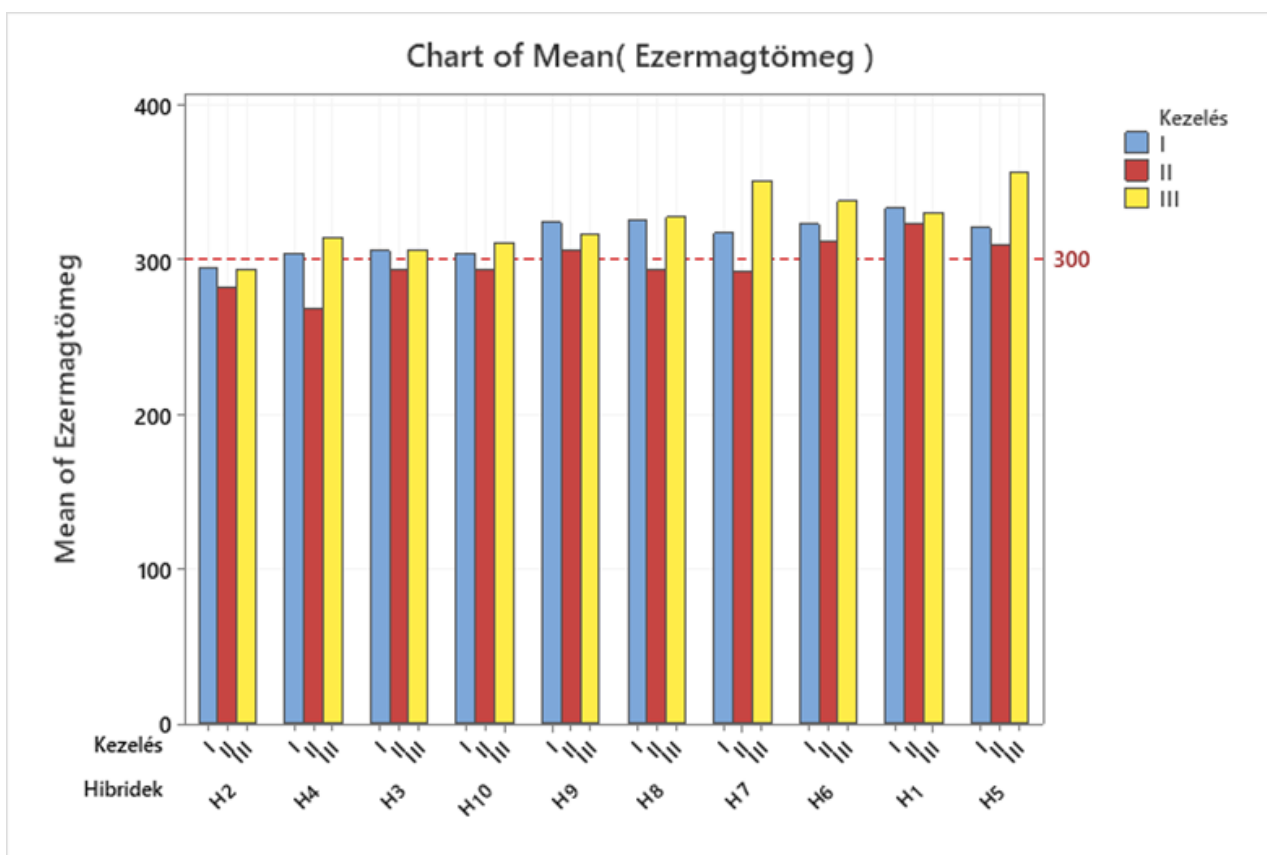
8. ábra: Regresszió analízis a hibridek fehérjetartalma és csőfertőzöttségi értékei között.

4.3. Ezermagtömeg alakulása

Az ezermagtömeg mérés eredményei a négy ismételtes átlagában a 22. táblázat foglalja össze. A táblázatban szereplő értékek grammban értendők. A tíz hibrid átlagában a legnagyobb értéket (324,2g) a kezeletlen kontrol parcellák esetében kaptuk. Ennél kisebb értéket kaptuk a 2,5 ml dózisú kezelésnél (315,0g), míg a dupla dózis esetén a legalacsonyabbat (297,3g). A legnagyobb különbséget a mesterséges fertőzések között a H4 hibridnél tapasztaltuk, ugyanis a normál és dupla dózis között 36,2 g volt a különbség. A H5 és H7 hibrid esetében mértük a legnagyobb különbségeket a kezeletlen kontrol és a kezelt parcellák között (9. ábra).

22. táblázat: Ezermagtömeg (g) eredmények a tíz hibrid átlagában.

	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	Átlag
Kezelés I. 2,5ml inokulum	333	294.6	305.5	304.1	320.3	322.6	317	325.8	323.7	303.9	315.0
Kezelés II. 5ml inokulum	323.6	281.9	293.3	267.9	309.5	311.9	292.5	293.1	305.8	293.4	297.3
Kontrol	329.7	293.1	305.9	314	356.6	337.7	350.6	327.3	316.2	310.6	324.2
Átlag:	328.7	289.9	301.6	295.4	328.8	324.1	320.0	315.4	315.2	302.6	312.2



9. ábra: A hibridek rangsora az ezermagtömeg (g) tekintetében, a három kezelés átlagában.

A hibridek és kezelések között is szignifikáns különbségeket mutattunk ki (23. táblázat), mivel a P érték mindkettő esetében 0,000 lett. A kezelések esetében mindhárom kezelés között van statisztikailag igazolható különbség, tehát a fertőzések hatására csökkent a különböző genotípusok ezermagtömege. Ennek bizonyítására a Tukey páros összehasonlítást használtuk (24. táblázat). A

hibridek közötti szignifikáns különbségeket szintén Tukey páros összehasonlítással állapítottuk meg (25. táblázat).

23. táblázat: Ezermagtömeg varianciaanalízise.

Source	DF	SS	MS	F	P
Hibridek	9	21087,5	2343,1	12,04	0,000
Kezelés	2	14932,7	7466,3	38,35	0,000
Rep	3	311,5	103,8	0,53	0,660
Error	105	20440,3	194,7		
Total	119	56771,8			

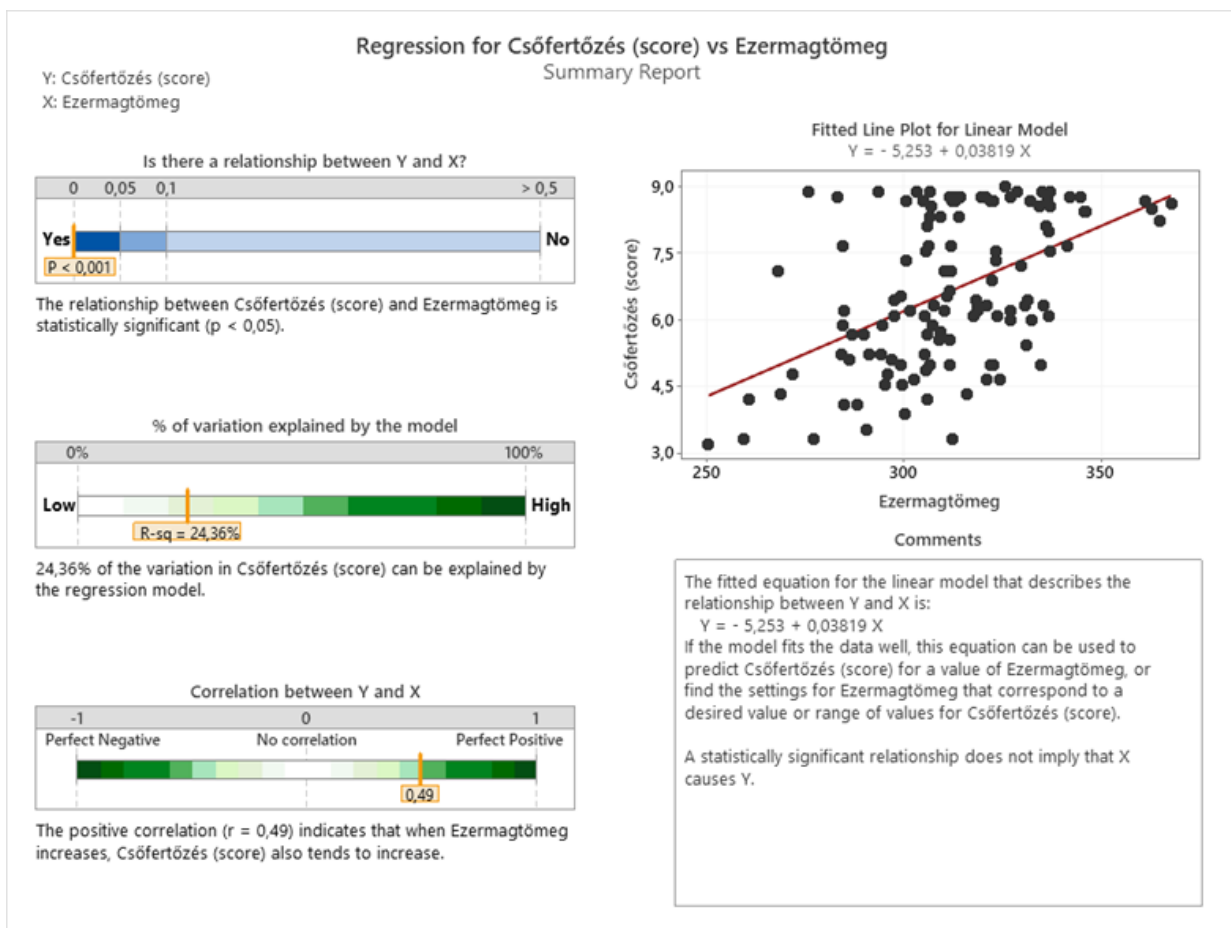
24. táblázat: Tukey páros összehasonlítás a kezelések függvényében.

Kezelés	N	Mean	Grouping		
III	40	324,163	A		
I	40	315,049		B	
II	40	297,297			C

25. táblázat: Tukey páros összehasonlítás a hibridek függvényében.

Hibridek	N	Mean	Grouping			
H5	12	328,795	A			
H1	12	328,734	A			
H6	12	324,070	A			
H7	12	320,029	A	B		
H8	12	315,404	A	B	C	
H9	12	315,238	A	B	C	
H10	12	302,625		B	C	D
H3	12	301,580			C	D
H4	12	295,355				D
H2	12	289,870				D

Vizsgáltuk az a hibridek ezermagtömegének és csőfertőzési értékének a kölcsönhatását, aminek eredményeit a 10. ábra foglalja össze. A regressziós analízist követően a csőfertőzési érték és az ezermagtömeg között szignifikáns különbségeket találtunk. A korrelációs érték 0,49 lett, ami alapján elmondható, hogy a csőfertőzési eredmények pozitív kölcsönhatásban vannak az ezermagtömeg alakulásával.



10. ábra: Hibridek ezermagtömegének és csőfertőzési értékének a kölcsönhatása.

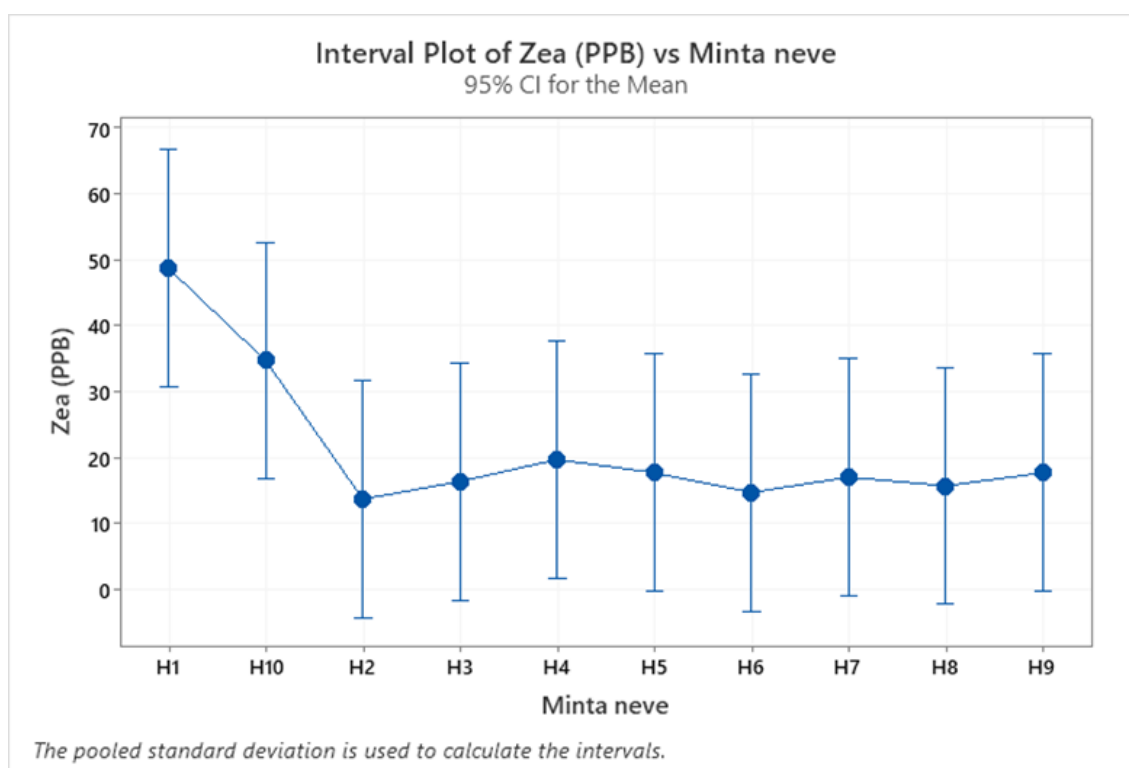
4.4. Toxinmérés eredményei

4.4.1. Zearalenon

A Zearalenon toxin mérés eredményeit a 26. táblázat tartalmazza. Az értékek PPB mértékegységben értendők. Mindhárom kezelés esetén mértünk toxin tartalmat. A kezelések átlaglában a H1 és H10 hibrid esetében mértük a legnagyobb Zearalenon tartalmat (11. ábra). Statisztikailag igazolható különbséget sem a hibrid (27. táblázat), sem a kezelések (28. táblázat) hatására nem tudtunk kimutatni.

26. táblázat: Zearalenon toxinmérés eredményei.

	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	Átlag
Kezelés I. 2,5ml inokulum	81	13	15	17	20	13	15	18	22	77	29.1
Kezelés II. 5ml inokulum	34	15	13	15	18	14	20	14	17	15	17.5
Kontrol	31	13	21	27	15	17	16	15	14	12	18.1
Átlag:	48.7	13.7	16.3	19.7	17.7	14.7	17.0	15.7	17.7	34.7	21.6



11. ábra: Hibridek Zearalenon tartalma (PPB) a kezelések átlagában.

27. táblázat: Hibridek varianciaanalízise.

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Hibridek	9	3399	377,7	1,69	0,156
Error	20	4462	223,1		
Total	29	7861			

28. táblázat: Kezelések varianciaanalízise.

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Kezelés	2	853,1	426,5	1,64	0,212
Error	27	7008,3	259,6		
Total	29	7861,4			

4.4.2. Fumonisin

A fumonisin mérés eredményeit a következő táblázatban foglaltam össze (29. táblázat). A táblázatban szereplő értékek mértékegysége PPM. Az általunk használt Charm EZ-M típusú gyorsmérő készülék a 6,0PPM értéket meghaladó mintákat nem tudta meghatározni, így a táblázatban >6,0 PPM-ként szerepel. A kezeletlen kontrol esetében csak a H1 hibrid esetén mértünk toxintartalmat (0,8 PPM). A mesterséges fertőzés hatására minden tétel <6,0 PPM felett volt, kivéve a H2 hibrid 2,5ml dózisú kezelésénél (3,9 PPM). Ezek alapján statisztikailag igazolható különbségeket nem tudtunk megállapítani.

29. táblázat: Fumonisin toxinmérés eredményei.

	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10
Kezelés I. 2,5ml inokulum	>6.0	3.9	>6.0	>6.0	>6.0	>6.0	>6.0	>6.0	>6.0	>6.0
Kezelés II. 5ml inokulum	>6.0	>6.0	>6.0	>6.0	>6.0	>6.0	>6.0	>6.0	>6.0	>6.0
Kontrol	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0

5. Következtetések és javaslatok

Dolgozatomban tíz különböző genetikai háttérrel rendelkező hibridkukorica ellenállóságát vizsgáltam *Fusarium verticillioides* gombafaj ellen, mesterséges fertőzéssel. A választott mesterséges módszer Clements és mtsai 2003 nyomán (bibevirágzást követő nyolcadik napon történő bibecsatornás injektlás tömegeltő pisztollyal) magasfokú csőpenész fertőzést eredményezett, a hibridek között szignifikáns különbségeket produkált a kezeletlen kontrolhoz képest. Jól megfigyelhető volt a különböző genetikai hátterű anyagok reagálása a fuzárium fertőzésre, ellenállóságuk alapján a genotípusok csoportokra oszthatóak. Három hibrid bizonyult fogékonyak a mesterséges fertőzés mellett. Azokban a régiókban, ahol sűrűbben előfordulhat a fuzárium fertőzés, ott ezeknek a hibrideknek a termesztése nem javasolt. Szintén három hibridet a mérsékelt fogékony csoportba sorolhatóak be és négy hibrid bizonyult ellenállónak a kezelések átlagában. Ez a négy hibrid jó genetikai alapot nyújthat az új vonalak létrehozásához, illetve a köztermesztésben magasabb fokú biztonságot nyújt a fuzárium ellen.

A megfelelő konídium számú izolátum esetén a dózis növelése csak néhány hibrid esetében okozott magasabb fertőzési szintet, annak érdekében, hogy a genotípusok között különbséget tegyünk fogékonyág szempontjából elegendő az alacsonyabb 2,5 ml dózis alkalmazása is. Ezt bizonyítja az is, hogy az eredmények értékelése során a két kezelés között 5%-os szinten szignifikáns különbséget nem tudtunk kimutatni.

A beltartalmi adatokat elemezve megállapítottuk, hogy a kezelések hatására a fehérjetartalom magasabb volt a kezeletlen kontrolhoz képes, míg a keményítőre nézve ez fordítottan alakult. A kontrol parcellák csövei magasabb keményítő értékeket mutattak, szemben a kezelésekkel.

A hibridek ezermagtömegét tekintve a várt eredményt kaptuk, mivel tudjuk, hogy a gomba tényerése során felemészti a csövön található szemeket (Koehler, 1942). Tehát a kezelések hatására szignifikánsan csökkent a szemek ezermagtömege.

A lemorzolt minták Zearalenon és Fumonisin mikotoxin tartalmának vizsgálta már nem hozott ilyen egyértelmű eredményeket. A minták mikotoxin szennyezettsége és a mesterséges fertőzés erőssége között nem találtuk összefüggést. A szakirodalomból is ismert, hogy nincs egyenes arány a fuzárium jelenléte és a mikotoxin szennyezettség között (Nelson, 1991, Munkvod

és Desjardins, 1997). A mikotoxinok felhalmozódása a kukoricában erősen függ a környezeti tényezőktől (Ooka és Kommedahl, 1977), ezért érdemes lenne a vizsgálatok további folytatása az évjáráthatás függvényében.

Összességében megállapítható, hogy a mesterséges fertőzési módszerek megfelelőek a különböző genetikai háttérrel rendelkező kukorica genotípusok csőpenésszel szembeni érzékenységének vizsgálatára. A bibecsatornán keresztüli injektálós módszer alkalmas nagy mintaszámú hibrid vagy szülővonalak tesztelésére, mivel a szántóföldi körülmények között gyorsan és hatékonyan el lehet végezni. A megfelelő mennyiségű szaporítóanyagot tartalmazó izolátum esetén a dózis növelésére nincs szükség. A dolgozatomban csak egy fuzárium fajjal szemben néztük meg a hibridek ellenállóságát, ezért a jövőben érdemes lenne több fajjal szemben is megvizsgálni miként hatnak a genotípusokra.

6. Összefoglalás

A kukorica a világon a három legnagyobb területen termesztett gabonanövényünk egyike. (Nagy, 2007) Magyarországon a vetésterülete minden évben egymillió hektár körül alakul, így jelentőségét tekintve hazai viszonylatban is elég nagy. (KSH) A megtermelt mennyiség nagy része állati takarmányként szolgál, de egyre nagyobb szerepe van a humánélelmezésben is, ezért nagyon fontos a jó minőségű alapanyag előállítása. (Nagy és Sárvári, 2005)

A kukoricát több kórokozó is károsítja, de közülük a fuzárium fajok a legfontosabbak. Amellett, hogy termésveszteséget okoznak, a minőség romlásában is fontos szerepet játszanak. Az általuk termelt másodlagos anyagcsere termékek, a mikotoxinok veszélyt jelentenek, mind állati, mind humán egészségügyi szempontból (Horváth, 1995), ezért a világ nagyrészen meghatározta a mikotoxin szennyezettség maximálisan megengedhető értékeit. Magyarországra az Európai Unió által meghatározott értékek vonatkoznak (2006/576/EC). Mivel ezek a toxinok hőre sem bomlanak le, ezért az integrált védekezés biztosítja az egyetlen hatékony megoldást (Bennett és Klich, 2003).

A helyes agrotechnikai eljárások egyik alappillére a megfelelő hibrid kiválasztása az adott termőhelyi körülményekre való tekintettel (Nagy, 2007). A hibridek fogékonysága a kórokozókkal szemben eltérőek lehetnek, amivel sikeresen védekezhetünk. A genotípusok toleranciájának vizsgálata a nemesítés egyik fontos elemét képezi. Mivel a kórokozók eltérő időjárási körülmények között szaporodnak fel, az évjáráthatás nagyban befolyásolja jelenlétüket, így nehéz a szelekciót természetes körülmények között elvégezni. Erre a problémára jelenthet megoldást a mesterséges fertőzési eljárások alkalmazása (Mesterházy és mtsai, 2020).

Dolgozatomban célul tűztem ki tíz kereskedelemben is megtalálható kukorica hibrid *Fusarium verticillioides* fajjal történő mesterséges csőfertőzését, ahol vizsgáltam a hibridek érzékenységét, beltartalmuk változást és mikotoxin tartalmukat a kezelések függvényében.

A dolgozatomban vizsgált mesterséges fertőzési módszer, a bibevirágzást követő nyolcadik napon történő bibecsatornás injektálás tömegoltó pisztollyal (Clements és mtsai, 2003), eredményeiből megállapítható, hogy a választott mesterséges csőfertőzési módszer sikeres volt, ugyanis a fertőzetlen és fertőzött parcellák között szignifikáns különbséget találtunk. A hibridek csőpenész ellenállósága között szintén statisztikailag is bizonyítható különbségeket fedeztünk fel, ami alapján a hibrideket fogékony, mérsékelten fogékony és mérsékelten ellenálló csoportba tudtuk

felosztani. A beltartalmat illetően a fehérje és keményítő értékeket vizsgáltuk, a hibrdek fehérjetartalma a mesterséges fertőzés hatására növekedett, míg a keményítő érték tekintetében csökkent a kezeletlen kontrolhoz képest. A genotípusok mikotoxin tartalma és csőpenész érzékenysége között nem tudtunk kölcsönhatást kimutatni, mivel azok jelenlétét erősen befolyásolják az időjárás körülmények, illetve a vizuális tünet hiánya esetén is történhet mikotoxin termelés (Nelson 1991, Munkvold és Desjardins 1997).

Össességében elmondható, hogy az általunk választott mesterséges módszer évjáráthatástól függetlenül is megfelelő képet mutat a hibrdek csőpenész ellenállóságának karakterizálásra. A kellően ellenálló hibrdek termesztése csökkenti annak a kockázatát, hogy a learatott termés fuzárium fertőzött legyen, ezáltal nagyobb eséllyel biztosítja, hogy a mikotoxin szennyezettség is határérték alatt maradjon.

7. Irodalomjegyzék

1. Amaike, S. & Keller, N.P. (2011): *Aspergillus Flavus*. *Annu. rev. Phytopathol.*, 49:107-133.
2. Bennett, J.W. & Klich, M. (2003): Mycotoxins. *Clinical Microbiology Reviews*, 16(3): 497-516
3. 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. *Plant Disease* 87(2): 147–153.
4. Chungu, C., Mather, D. E., Reid, L. M., & Hamilton, R. I. (1996): Comparison of techniques for inoculating maize silk, kernel, and cob tissues with *Fusarium graminearum*. *Plant Disease*, 80(1): 81-84.
5. Cotty, P. J. (1989): Virulence and cultural characteristics of two *Aspergillus flavus* strains pathogenic on cotton. *Phytopathology*, 79(7): 808-814.
6. EC Commission recommendation 2006/576/EC, 17 August 2006 on the presence of deoxynivalenol, zearalenone, ochratoxin A, T-2, and HT-2 and fumonisins in products intended for animal feeding. *Off. J. European Communities* 2006, L 229, 7-9.
7. EC Commission Regulation (EC) No 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. *Official Journal of the European Union*, 2006, 20.12. L 364/5
8. EC Directive 2002/32/EC of the European Parliament and of the Council of 7 May 2002 on undesirable substances in animal feed (*OJ L* 140, 30.5. 2002, p. 10)
9. EC (2007) Commission regulation (EC) No 1126/2007 of 28 September 2007, amending regulation (EC) No 1881/2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs as regards *Fusarium* toxins in maize and maize products. *Off. J. Eur. Union* 2007, L255:14–17
10. Gelderblom, W. C., Jaskiewicz, K., Marasas, W. F., Thiel, P. G., Horak, R. M., Vleggaar, R., & Kriek, N. (1988): Fumonisin--Novel Mycotoxins with Cancer-Promoting Activity Produced by *Fusarium moniliforme*. *Applied and Environmental Microbiology*, 54(7), 1806-1811.
11. Gulya, T.J., Martinson, C.A., & Loesch, P.J. (1980): Evaluation of inoculation techniques and rating dates for *Fusarium* ear rot of opaque-2 maize. *Phytopathology*, 70(11): 1116-1118.
12. Hedayati, M.T., Pasqualotto, A.C., Warn, P.A., Bowyer, P. & Denning, D.W. (2007): *Aspergillus flavus*: human pathogen, allergen and mycotoxin producer. *Microbiology* 153:1677–1692
13. Horváth J. (szerk.) (1995): A szántóföldi növények betegségei. *Mezőgazda Kiadó*, Budapest, 317 p.
14. IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, International Agency for Research on Cancer, & World Health Organization. (1993): Some naturally occurring substances: food items and constituents, heterocyclic aromatic amines and mycotoxins (Vol. 56). *World Health Organization*.
15. Klich, M.A. (2007): *Aspergillus flavus*: the major producer of aflatoxin. *Molecular Plant pathology*, 8(6): 713-722
16. Koehler, B., Dungan, G.H. & Burlison, W.L. (1934): Maturity of seed corn in relation to yielding ability and disease infection. *Agronomy journal* 26(4): 262-274.
17. Koehler, B. (1942): natural mode of entrance of fungi into corn ears and some symptoms that indicate infection. *J. Agric. Res.* 64: 421-442.
18. Koehler, B. (1957): Pericarp injuries in seed corn. Prevalence in dent corn and relation to seedling blights. *Univ. III. Agric. Exp. Sta. Bulletin* 617, 72. p.
19. Koehler, B. (1959): Corn ear rots in Illinois. *III. Agric. Exp. Stn. Bull.*, 639, 87. p.
20. Krijgheld, P., Bleichrodt, R., Veluw van, G.J., Müller, W.H., Dijksterhuis, J., & Wösten, H.A.B. (2013): Development in *Aspergillus*. *Studien in Mycology* 74: 1-29.
21. Li, Y., Wang, Z., Beier, R.C., Shen, J., Smet, D.D., Saeger, S.D. & Zhang, S. (2011): T-2 Toxin, a Trichothecene Mycotoxin: Review of Toxicity, Metabolism, and Analytical Methods. *J. Agric. Food Chem.* 59: 3441-3453.
22. Logrieco, A., Mule, G., Moretti, A., & Bottalico, A. (2002): Toxigenic *Fusarium* species and mycotoxins associated with maize ear rot in Europe. *Mycotoxins in Plant Disease*, 108: 597-609.
23. Marasas, W. F. O., Nelson, P. E., & Toussoun, T. A. (1984): Toxigenic *Fusarium* species. Identity and mycotoxicology. *Pennsylvania State University Press*, Pennsylvania, 328 pp.

24. Marasas, W. F. (1996): Fumonisin: history, world-wide occurrence and impact. *Advances in Experimental medicine and Biology, Fumonisin in food*, 392, 1-17. p.
25. Marin, S., Sanchis, V., Vinas, I., Canela, R., & Magan, N. (1995). Effect of water activity and temperature on growth and fumonisin B1 and B2 production by *Fusarium proliferatum* and *F. moniliforme* on maize grain. *Letters in Applied Microbiology*, 21(5), 298-301.
26. Mesterházy, Á., Toldiné Tóth, É., Szél, S., Varga, M., & Tóth, 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. *Agronomy*, 10(9): 1283, 1-29.
27. Munkvold, G. P., & Desjardins, A. E. (1997): Fumonisin in maize: can we reduce their occurrence? *Plant disease*, 81(6): 556-565
28. Musser, S.M., Gay, M.L. & Mazzola, E.P. (1996): Identification of a New Series of Fumonisin Containing 3-Hydroxypyridine. *Journal of Natural Products*, 59(10): 970-972.
29. Nagy J., Sárvári M. (2005): *Kukorica Növénytermesztés tan 1. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest* p. 301.327.
30. Nagy J. (2007): *Kukoricatermesztés. Akadémiai Kiadó, Budapest*, 393 p.
31. Nelson, P.E., Toussoun, T.A. and Marasa, W.F.O. (1983): *Fusarium Species: An Illustrated Manual for Identification*. Pennsylvania State University Press, University Park, 206 p.
32. Nelson, P. E., Plattner, R.D., Shackelford, D.D. & Desjardins. A.E. (1991): Production of Fumonisin by *Fusarium moniliforme* Strains from Various Substrates and Geographic Areas. *Applied and Environmental Microbiology* 57(8): 2410–12.
33. Nelson, P.E., Dignani, M.C. & Anaissie, E.J. (1994): Taxonomy, Biology and Clinical Aspects of *Fusarium* Species. *Clinical Microbiology Reviews*, 479-504. p.
34. Ooka, J.J. & Kommedahl, T. (1977): Wind and Rain Dispersal of *Fusarium moniliforme* in Corn Fields. *Phytopathology*, 67: 1023-1026.
35. Rheeder, J.P., Walter, F.O. Marasas, & Hester F. Vismer. (2002): Production of Fumonisin Analogs by *Fusarium* Species. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(5): 2101–2105.
36. Roger, A. & Coulombe, JR. (1993): Biological Action of Mycotoxins. *J. Dairy Sci.* 76: 880-891.
37. Ropejko, K., Twaruzek, M. (2021): Zearalenone and Its Metabolites—General Overview, Occurrence, and Toxicity. *Toxins* 2021, 13, 35.
38. Rotter, B.A., Thompson, B.K., and Lessard, M. (1995): Effects of deoxynivalenol-contaminated diet on selected blood parameters in growing swine. *Can. J. Anim. Sci.*, 75: 297–302.
39. Squire, R.A. (1981): Ranking animal carcinogens: a proposed regulatory approach. *Science* 214: 877–880.
40. Sutton, J.C., Baliko, W. & Liu, H.J. (1980): Fungal Colonization and Zearalenone Accumulation in Maize Ears Injured by Birds. *Canadian Journal of Plant*, 60(2): 453-461.
41. Sváb, J. (1981): *Biometria i módszerek a kutatásban. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest*, 557 pp.
42. Szabó, B., Varga, M., György, A., Mesterházy, Á., Tóth, B. (2016): Role of *Fusarium* Species in Mycotoxin Contamination of Maize. *Review on Agriculture and Rural Development* vol. 5 (1-2)
43. Varga, J., Kocsubé, S., Suri, K., Szigeti, G. Y., Szekeres, A., Varga, M., Tóth, B. & Bartók, T. (2010): Fumonisin contamination and fumonisin producing black *Aspergilli* in dried vine fruits of different origin. *International Journal of Food Microbiology*, 143(3): 143-149.
44. Vesonder, R.F., Ciegler, A., Rogers, R.F., Burbridge, K.A., Bothast, R.J., & Jensen, A.H. (1978): Survey of 1977 Crop Year Preharvest Corn for Vomitoxin. *Applied and Environmental Microbiology*, 885-888. p.
45. Warren, H. L. (1978): Comparison of normal and high-lysine maize inbreds for resistance to kernel rot caused by *Fusarium moniliforme*. *Phytopathology*, 68(9): 1331-1335.
46. Wicklow, D.T., Wilson, D.M., & Nelsen, T.C. (1993): Survival of *Aspergillus flavus* sclerotia and conidia buried in soil in Illinois or Georgia. *Phytopathology*, 83: 1141-1147.
47. Wu, F., & Guclu, H. (2012): Aflatoxin regulations in a network of global maize trade. *Plos One*, 7(9): 1-8.
48. Young, H. C. (1943): The toothpick method of inoculating corn for stalk and ear rots. *Phytopathology*, 33, 16.

Internetes források:

http 1: *F. graminearum* (kép1): <https://andersonscanada.com/2015/09/03/gibberella-ear-rot-in-corn/> (2023, április)

http 2: *F. graminearum* (kép2): <https://cropwatch.unl.edu/corn-stalk-rots-2018> (2023, április)

http 3: *F. verticillioides* (kép3,4):
https://www.pioneer.com/us/agronomy/fusarium_ear_rot_cropfocus.html#Symptoms_1 (2023, április)

http 4: *A. flavus* (kép5,6): <https://cropprotectionnetwork.org/encyclopedia/aspergillus-ear-rot-of-corn> (2023, április)

8. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném megköszönni Dr. Tarnawa Ákos egyetemi docensnek a diplomadolgozatom elkészítéséhez nyújtott segítségét, illetve az Agronómiai tanszék laborjában dolgozó munkatársaknak a mikotoxin mérésben nyújtott segítségüket.

Külön köszönetemet fejezem ki a Corteva Agriscience Hungary Zrt.-nek a kísérlet technikai háttérének biztosításáért, illetve Zala Anita kutatási vezetőnek és minden kollégámnak, aki valamilyen formában segítette a dolgozatom elkészítését.

9. Nyilatkozat



Szent István Campus, Gödöllő
Cím: 2100 Gödöllő, Péter Károly utca 1.
Tel.: +36-28/522-000
Honlap: <https://godollo.uni-mate.hu>

NYILATKOZAT

Alulírott KARDOS ROBERT, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, SZENT ISTVÁN Campus, NEVELÉSTERMÉSZTŐI MÉRŐKÖR szak nappali/levelező* tagozat végzős hallgatója nyilatkozom, hogy a dolgozat saját munkám, melynek elkészítése során a felhasznált irodalmat korrekt módon, a jogi és etikai szabályok betartásával kezeltem. Hozzájárulok ahhoz, hogy Záródolgozatom/Szakdolgozatom/Diplomadolgozatom egyoldalas összefoglalója felkerüljön az Egyetem honlapjára és hogy a digitális verzióban (pdf formátumban) leadott dolgozatom elérhető legyen a témát vezető Tanszéken/Intézetben, illetve az Egyetem központi nyilvántartásában, a jogi és etikai szabályok teljes körű betartása mellett. A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*

Kelt: Gödöllő, 2023 év 04 hó 28 nap

Hallgató

NYILATKOZAT

A dolgozat készítőjének konzulense nyilatkozom arról, hogy a Záródolgozatot/Szakdolgozatot/Diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A Záródolgozatot/Szakdolgozatot/Diplomadolgozatot záróvizsgán történő védelemre javaslom / nem javaslom*.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*

Kelt: Gödöllő, 2023 év május hó 2 nap

Belső konzulens

*Kérjük a megfelelőt aláhúzni!