

DIPLOMADOLGOZAT

Pálvölgyi Zsófia

2023



**Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Növényvédelmi Intézet
Növényorvosi mesterképzés szak**

**Kukorica genotípusok *Fusarium* fertőzöttségének vizsgálata,
valamint a fuzáriózis és a rovarkártétel közti összefüggés elemzése**

Belső konzulens:

**Dr. Körösi Katalin
Orsolya
Egyetemi docens**

Belső konzulens intézete:

Növényvédelmi Intézet

Készítette:

Pálvölgyi Zsófia

**Gödöllő
2023**

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	2
2. Szakirodalmi áttekintés.....	4
2.1. A kukorica jelentősége	4
2.2. A <i>Fusarium</i> nemzetség jellemzése és rendszerezése	8
2.3. A kukorica fuzáriózisa	10
2.4. Az <i>Aspergillus</i> nemzetség jellemzése és rendszerezése.....	14
2.5. Mikotoxinok.....	15
2.6. A kukorica integrált védelme	17
3. Anyag és módszer.....	22
3.1. A szabadföldi kísérlet helyszínének bemutatása	22
3.2. A szabadföldi vizsgálat bemutatása	23
3.3. A laboratóriumi vizsgálatok bemutatása	24
3.4. Az adatok statisztikai feldolgozása	25
4. Eredmények	26
4.1. A szántóföldi felvételezés eredményei.....	26
4.2. A laboratóriumi vizsgálatok eredményei	28
4.3. A szántóföldi rovarkártétel és a szántóföldi fuzárium fertőzöttség közti összefüggés ...	32
5. Következtetések, javaslatok.....	33
6. Összefoglalás	35
7. Köszönetnyilvánítás.....	36
8. Irodalomjegyzék	37

1. Bevezetés

A magyar mezőgazdaság számára a kukorica kulcsfontosságú növény. Amellett, hogy az állati takarmányozásban alapvető szerepe van, jelentős exportcikk is. Ennek köszönhető, hogy a termelők arra törekednek, hogy hektáronként a lehető legmagasabb terméshozamot ériék el. Az elmúlt 100 évben a kukorica hektáronkénti termésátlaga ötszörösére nőtt, amely részben az új hibridek termőképességének, részben pedig az agrotechnikai fejlesztéseknek köszönhető. Világszerte, és hazánkban is a kukorica legjelentősebb kórokozói közé tartoznak a különböző *Fusarium* fajok, amelyek a termésben nemcsak mennyiségi, hanem minőségi veszteséget is okoznak. Mindemellett számos tulajdonság közrejátszik jelentőségükben. A betegséget nem egy, hanem több kórokozó akár együttesen is okozhatja. Ezek a mikroszkopikus gombák fakultatív paraziták, gazdanövény hiányában szaprofitaként élnek a talajban. Ebből adódóan fertőzőképességüket hosszú ideig megőrzik, ráadásul mivel nekrotróf kórokozókról van szó, élő növényi szövetre sincs szükségük a túléléshez. Mindezek okán az egész vegetációban képesek fertőzni. A legjelentősebb a cső fertőződése, melynek tünete az úgynevezett „csőpenész”, amely bizonyos években járványszerűen terjed. Már a szántóföldön is nagy mennyiségben szintetizálhatnak mikotoxinokat, amelyek a magasabb rendű szervezetekre nézve kifejezetten veszélyesek. A problémát tovább súlyosbítja, hogy egy faj többféle mikotoxint, egy mikotoxint pedig több faj is képes termelni, ráadásul nemcsak a szántóföldön, hanem a raktári tárolás során is. A fuzáriózist okozó fajok gyengültségi paraziták, ami azt jelenti, hogy elsősorban a gyengén fejlett, diszpozíciós állapotban lévő növényeket fertőzik. Az utóbbi évekre jellemző egyre szélsőségesebbé váló időjárás, ideértve az egyre több hőségnapot, a kedvezőtlen csapadékeloszlást, és az egyre gyakoribb jégveréseket, jelentős abiotikus stresszt jelentenek a kukorica számára, ami közvetve kedvez a fuzárium fertőzésnek. A klímaváltozás okozta hőmérséklet növekedés ebből a szempontból több problémát is okoz. Egyrészt a megemelkedett hőmérséklet kedvezően hat az *Aspergillus flavus* hazai terjedésének, amely eddig csak a trópusi, szubtrópusi területen okozott gondot. Ez a kórokozó is csökkenti a termés mennyiségét, viszont a legnagyobb kárt aflatoxin termelésével okozza, amely az egyik legveszélyesebb mikotoxin. A megváltozott klimatikus viszonyok továbbá kedvezően hatnak a kukoricában károsító rovar kártevők felszaporodására és áttelelésére, melyek rágásukkal utat nyitnak a fuzárium fertőzésnek. A kukorica növényvédelmi technológiájában meghatározó betegség a fuzáriózis, az ellene való védekezés pedig nehéz, és összetett feladat. Ennek oka, hogy a közvetlen kémiai védekezés nem hatékony, ezért a legfontosabb védekezési mód a

megelőzés. A fuzáriózis elleni védekezés fontos eszköze a fajtaválasztás, hiszen a rendelkezésre álló fajták és hibridek különböző mértékben fogékonyak a betegségre. További lehetőség a kukorica rágó kártevői elleni védekezés, hiszen az egészséges, sérülésmentes növényi szöveten kisebb a csőpenész kialakulásának esélye. Diplomadolgozatom során 12 kukorica genotípus külső és belső fuzárium fertőzöttségét vizsgáltam szántóföldi és laboratóriumi körülmények között. Vizsgálataim kiterjedtek továbbá a fuzárium fertőzöttség és a rovarkártétel közti összefüggés elemzésére.

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1. A kukorica jelentősége

A fogyasztói elvárásoknak megfelelően a világ növénytermesztése gabonacentrikus. A 16 legfontosabb szántóföldön termesztett növény közül 8 gabonaféle, melyeket a Föld szántóterületeinek 45%-án termesztnek. A legnagyobb mennyiségben termesztett szántóföldi növény a kukorica, amit magyaráz az is, hogy a lakosság ételmezésében alapvető szerepe van. Ebből adódóan a folyamatosan növekvő lakosságnak egyre több gabonára van szüksége, ideértve a kukoricát is. A világ kukoricatermesztése dinamikusan növekszik, ugyanakkor ennek a növekedésnek a javarésze napjainkban már a termelés hatékonyságából, nem pedig a termőterület növekedéséből ered (Nagy 2010, Márton 2013).

Az Egyesült Nemzetek Szervezetének Élelmezésügyi és Mezőgazdasági Szervezetének (FAO) 2019-es adatai szerint a világ legnagyobb kukoricatermesztője az Egyesült Államok, 347,05 millió tonnás éves terméssel. Kína 260,78 millió tonnával a második, a harmadik helyen pedig Brazília áll 101,14 millió tonna betakarított kukoricával. A negyedik helyet Argentína foglalja el 56,86 millió tonnával. Az ötödik helyen pedig a szomszédos Ukrajna áll 35,88 millió tonna kukoricával, így Európában Ukrajna a legnagyobb kukoricatermesztő (Gadóc 2021).

Az Európai Unió legnagyobb kukorica termesztő országai 2016-os adatok szerint Franciaország (13-16 millió tonna), Románia (7-12 millió tonna), Olaszország (8-10 millió tonna). Magyarország évjáráttól függően a negyedik-hatodik helyen áll a rangsorban, így hazánk az Unió legjelentősebb kukorica termelő országai közé tartozik. A magyarországi mezőgazdasági területek 80%-án növénytermesztés folyik, és a kukorica termesztés aránya pedig a teljes terület 40%-a, ami nagyjából 1-1,1 millió hektárt jelent. A termés mennyisége igencsak ingadozó, az évjáráttól, éghajlati viszonyoktól függően 4-9,5 millió tonna közt mozog. Magyarországon az egyik legjelentősebb mezőgazdasági exportcikk a kukorica. Az exportorientáció az utóbbi években megnőtt, mely egyrészt az uniós csatlakozás okozta mezőgazdaságot érintő strukturális változásoknak köszönhető, másrészt pedig a csökkenő hazai keresletnek, amit pedig a növénytermesztés részesedésének növekedése okoz az állattenyésztés részesedésének rovására. A legfontosabb célországok Olaszország, Románia, Hollandia, Ausztria, illetve Németország. Románia tranzitországgként kilépési pontot jelent a fekete-tengeri piacokra a Dunának

köszönhetően. Az Európai Unió országain kívül megemlítendőek az orosz és az ukrán exportpiacok is (Fertő et al. 2021).

Világszerte a kukorica termő területek kétharmadán konvencionális hibrideket termesztnek. Az 1990-es évek közepétől azonban terjedni kezdtek a GM fajták (pl. herbicid toleráns, kukoricamoly rezisztens), melyek számos előnyös tulajdonságokkal rendelkeznek, mint például a magasabb terméshozam, a kártevők elleni stressz jelentős csökkenése, illetve a csökkenő költség a kevesebb növényvédelmi beavatkozás miatt. A szója után a kukorica a második legszélesebb körben termesztett GM növény a világon. A GM kukorica aránya a hagyományos fajtákhoz képest 32%. A legnagyobb gazdasági haszon a rovarrezisztens Bt kukorica termesztésével érhető el, mely javarészt az USA-ban és Braziliában terjedt el. A GM fajták termesztésének legfőbb indoka a termesztési költségek csökkentése, de közvetve ennek is köszönhető a régió termelési volumenének növekedése. Az utóbbi években számos kutatás valósult meg a GM kukoricákról, melyek azt mutatták, hogy a csökkenő termelési költségek mellett javul a szemtermés mennyisége és minősége, sokkal kisebb a mikotoxin szennyeződésnek való kitettség, illetve eddig semmilyen káros hatást nem tudtak kimutatni a nem-célszervezetekre (Erenstein et al. 2022).

A kukoricának élelmezési, takarmányozási, és ipari célú felhasználása is jelentős, ugyanakkor világszerte a legnagyobb szerepe az állatok takarmányozásában van. A takarmány célú kukorica felhasználásának mennyisége függ a többi takarmány áráról, illetve a gazdasági állatok takarmánykeverékeinek egyéb összetevőinek áráról. A kukorica azért nagyon értékes takarmány, mert nettó energiatartalma a legmagasabbak közé tartozik, fehérje- és rosttartalma viszont alacsony. Az állatok szívesen megeszik, és hatékonyan is emésztik meg. Fontos takarmány célú felhasználása az erjesztéssel előállított kukoricaszilázs, amely a tejelő szarvasmarhák első számú takarmánybázisa (Jabran et al. 2007). A világon megtermelt szemes kukoricának több mint a felét az egygyomrúak, valamint a kérődzők takarmányozására használják fel. Emellett fontos szerepet töltenek be takarmányozás téren az ipari célú felhasználás melléktermékei is, melyek fontos kiegészítő tápanyagforrásokat jelentenek a takarmányipar számára. A kukoricának nemcsak a szemtermése, hanem maga a növény is értékes takarmány, ezért felhasználható önmagában zöldtakarmányként is, de a legjelentősebb az erjesztve tartósítás, más néven a silókukorica. Ez különösen hűvösebb klimatikus viszonyok közt kedvező (pl. Anglia), ahol a szemes kukorica nem biztos, hogy beérik, viszont a silókukorica igen, így biztosítottá válik az állatállomány takarmánybázisa (Erenstein et al.

2022). Az alapvetően takarmány célú kukoricát felhasználják még bioetanol előállításra is, amely a bioüzemanyagok egyik összetevője. A bioetanol iránti erős kereslet a kukorica árának növekedését okozza, ami részben ösztönzőleg hat a kukorica vetésterületének növelésére, ugyanakkor különféle társadalmi, gazdasági, környezeti és műszaki problémák vetődnek fel a bioüzemanyag előállításával és felhasználásával kapcsolatban. Ilyen például az olajárak mérséklődése, illetve az „élelmiszer versus üzemanyag” jellegű probléma. Ugyanakkor a kukorica ipari célú felhasználása számos gazdaságilag értékes társterméket eredményez, amelyek állati takarmány-alapanyagként felhasználhatóak. Ilyen például a CGF és a DDGS (Ranum et al. 2014).

Összefoglalva, a kukorica egy sokoldalú és többcélú növény. Habár elsősorban takarmánynövényként tartjuk számon, de emellett mindenképpen fontos élelmiszernövény, illetve a nem élelmiszeripari célú felhasználásáról sem szabad megfeledkezni. A takarmány célú felhasználás magába foglalja nemcsak magát a szemtermést, hanem a kukoricaszilázst, és az ipari felhasználás során keletkezett melléktermékeket is. A takarmányfelhasználás nagy része az állati eredetű élelmiszereken keresztül közvetett emberi fogyasztási útvonalat tükrözi, amely globális szinten felülmúlja a kukorica közvetlen élelmiszer-fogyasztási módjait (Erenstein et al. 2022). A kukorica a termelés alapján ugyan fő gabonaféle, alapvető élelmiszerként viszont a harmadik helyen áll a búza és a rizs után. Ennek sokféle oka van, javarészt kulturális, illetve társadalmi preferenciákhoz kapcsolódik. Ugyanakkor a kukorica a világ lakosságának jelentős részének jelentős táplálékforrás. Többféle ipari folyamat, illetve élelmiszertechnológiai megoldás létezik, ami a kukoricatermékek széles választékát állítja elő a fogyasztók szokásainak és preferenciáinak megfelelően. Ezeknek a termékeknek a vitamin- és ásványianyag-tartalma eltérő, feldolgozásuk a nyers gabonától a fogyasztói végtermékig különböző utakon megy keresztül, ami a tápanyag-összetétel változásával jár. Az utóbbi években a kukorica bioüzemanyagként való felhasználása folyamatosan komoly aggodalmakat vált ki a fogyasztásra szánt kukorica piaci árának emelkedésével, a megművelhető területek növelésével, valamint a vízminőséggel és egyéb ökológiai károkkal kapcsolatban. Egyes jósló modellek azt vetítik előre, hogy a nagyüzemi kukorica-etanol termelés az élelmiszerexport csökkenéséhez, magasabb árakhoz és globális erdőirtásokhoz vezethet (Gwirtz et al. 2013).

A kukorica hazánkban szintén nemcsak mint takarmány, hanem élelmiszer- és ipari növényként is az egyik legfontosabb szántóföldi növény. Az 1. táblázat adatai alapján az utóbbi évtizedekben a vetésterület 1-1,2 millió hektár körül alakult, viszont 2018 óta több évben is

előfordult, hogy 1 millió hektár alá esett a vetésterület az olajnövények (repce, napraforgó) javára. Ugyanakkor ez nem látszik meg a betakarított termés mennyiségén, hiszen a termésátlagok az olykor szélsőséges időjárási viszonyok ellenére is növekednek. Az utóbbi években a termésátlag meghaladta a hektáronkénti 8 tonnát. A növekedés oka egyrészt a biológia terén keresendő (újabb fajták és hibridek megjelenése), másrészt pedig az agrotechnika fejlődése okán (Sárvári 2021).

1. táblázat

A kukorica 100 éves vetésterülete és termésátlaga Magyarországon (forrás: Sárvári, 2021)

Évek	Vetésterület ezer ha	Termés t/ha	Különbség t/ha	Összes termés millió tonna
1921–30	1036	1,49	–	1,45
1931–40	1167	1,87	0,38	2,18
1951–60	1244	2,16	0,29	2,69
1961–70	1252	2,93	0,77	3,67
1971–80	1353	4,52	1,59	6,12
1981–90	1085	5,86	1,34	6,36
1991–2000	1099	5,13	–0,73	5,64
2001–2010	1173	6,16	1,03	7,23
2011–2015	1191	5,89	–0,27	7,01
2016	1012	8,63	2,74	8,73
2017	989	6,82	–1,79	6,76
2018	939	8,49	1,64	7,39
2019	1027	8,05	–0,44	7,37
2020	973	8,62	0,55	8,38
Átlagban	1110	5,47	0,51	5,78

A kukorica világszerte a legnagyobb mennyiségben termelt növény, így érthető a gazdák törekvése arra, hogy a lehető legnagyobb termést takarítsák be. Ehhez azonban alapos agrotechnikai, növénykórtani ismeretek, sőt, számítástechnikai és adatbázis-kezelési jártasság is szükséges. Hazai és amerikai termésversenyek alapján tudjuk, hogy a kukorica maximális genetikai terméspotenciálja 40-50 t/ha. Ebből a gazdálkodók szántóföldi körülmények között hektáronkénti 35 tonnánál többet nem tudnak elérni. Természetesen erre sem üzemi szinten képesek, hanem kisebb, sajátos versenyparcellákon, ahol a növények számára megadnak minden szükséges tápanyagot és vizet. Üzemi szinten ez azért nem valósul meg, mert a sok ráfordítás miatt nem térül meg a magas terméshozam. Ezen felül a termőképességet nagyban meghatározzák a környezeti tényezők, melyek lehetnek abiotikusak (hőmérséklet, talaj, vízellátottság stb.), illetve biotikusak (gyomok, kártevők és gombás megbetegedések) (Sárvári 2021).

A termékbiztonság fontos kérdése, hogy a megtermelt termés minősége megfelelő-e, ugyanis a határérték feletti toxintartalmú tételeket a felvásárlók nem, vagy csak nagyon alacsony áron veszik át. Szegeden a világon egyedülálló nemesítői munka folyik a *Fusarium* és *Aspergillus* fertőzés szempontjából alacsony kockázattal természetű hibridek nemesítése terén. A klímaváltozás okozta egyre forróbb nyarak kedveznek az *Aspergillus flavus* hazai terjedésének, amely növelheti a takarmányok aflatoxin tartalmát. Sajnos a fentebb említett 2 gombafaj ellen nem ismert 100%-os rezisztencia, de a kutatások eredményei azt mutatják, hogy léteznek alacsony kockázattal természetű hibridek, melyekben még a járványos években is határérték alatti a toxintartalom (Nagy 2019).

2.2. A *Fusarium* nemzetség jellemzése és rendszerezése

A fuzáriumok olyan növény-, állat- és humánpatogén fonalas gombák, melyek különféle fuzáriózisok hordozói. A fonalas gombák közül e fajok okozzák az egyik legnagyobb gazdasági kárt ugyanúgy a mezőgazdaságban, mint a humán- és állategészségügyben, illetve az ipari tevékenységben. Ugyanakkor a legkritikusabb terület a mezőgazdaság, hiszen számos faj súlyos növénybetegség, és nem utolsósorban anyagi kár okozója. Megannyi káros másodlagos anyagcseretermékük (úgynevezett fuzariotoxinok) szennyezi a terményeket és az élelmiszereket, melyek a megfertőződött szervezetekben toxikózisokat okoznak (Szécsi és Szőke 2023). Leslie és Summerell (2013) szerint a *Fusarium* fajok a termesztett növények 80%-ánál minimum 1 betegség okozói. A napjainkban használt molekuláris filogenetikai elemzések szerint a *Fusarium* nemzetség több, mint 450 fajt foglal magába, melyek 23 monofiletikus fajcsoportba tartoznak. Ugyanakkor megemlítendő, hogy a természetben számos eddig még ismeretlen fuzárium fordul elő, melyek veszélyt jelenthetnek a jövő növénytermesztésére nézve, illetve közvetve az állatok és az ember egészségére is (Szécsi és Szőke, 2023).

A *Fusarium* nemzetség rendszertana sokáig vitatott téma volt a kutatók körében, és a történelem során számos változáson ment keresztül. Az 1800-as években a fuzáriumokat jellegzetes banán alakú konídiumjaik alapján jellemezték, és számos új fajt írtak le a gazdanövény alapján. Az 1930-as évektől azonban két egymástól teljesen különböző rendszertani felfogás terjedt el, mely nagyjából 50 évig tartott. Ebben az időszakban viszonylag kevés rendszertani munka jelent meg. Az 1960-as évektől azonban egyre több közlésre került, melyek közül több még ma is igazán jelentős a szakemberek számára. Ezekre a munkákra összességében az jellemző, hogy a

határozás morfológia alapján történik, különös tekintettel a mikro- és makrokonídiumokra. Napjainkban a fuzárium fajok azonosítására a morfológiai, biológiai és filogenetikai fajfogalmak kombinációját alkalmazzák. Számos fuzáriumfaj ivaros alakja ismeretlen, ez pedig a biológiai fajfogalom korlátja (Szécsi és Szőke, 2023).

A Magyarországon leggyakrabban előforduló betegséget okozó fajok a következők: *Gibberella zae/Fusarium graminearum*, *Gibberella moniliformis/Fusarium verticilloides*, *Fusarium proliferatum*, *Fusarium subglutinans* (Kálmán 2019). A *Gibberella* nemzetségbe tartoznak azok a fuzáriumos megbetegedést okozó fajok, melyek ivaros szaporodási ciklussal rendelkeznek. Rendszertanilag az Ascomycota törzs Hypocreales rendjébe tartoznak. A *Fusarium* fajokkal azonban más a helyzet: mivel náluk nem ismertek ivaros folyamatok, ezért fajsintű azonosításuk gyakran nehézségekbe ütközik. A kizárólag ivartalanul szaporodó fajokat a konídiumos gombák közé soroljuk. Ebben a rendszertani csoportban azonban nincs filogenetikai kapcsolat az ide tartozó fajok között. Magyarországon a leggyakrabban a *Fusarium graminearum* és a *Fusarium culmorum* okoz megbetegedést. E két faj ökológiai igénye hasonló, viszont a *F. graminearum* hatékonyabb reprodukciós stratégiával rendelkezik, így ez a faj dominánsabb (Szécsi et al. 2003).

A fuzárium-taxonómiában döntő fontosságúvá vált a filogenetikai fajmeghatározás. A Genealógiai Konkordancia Filogenetikai Fajfelismerés (GCPSR) az egyedi DNS szekvenciák alapján képes azonosítani, illetve elkülöníteni a morfológiailag megegyező fajokat. Ez a módszer lehetővé teszi a morfológiailag azonos fajok genetikai fajokra való bontását (O'Donnell et al. 2022). A fuzáriumok tanulmányozásához az első lépés az izolálás, illetve fontos kritérium még a szelektív táptalaj megléte. A fuzáriumok nemcsak a beteg növényi részekről (gyökér, szártó, kalász, cső stb.) izolálhatóak, hanem levegőből, talajból és vizekből is. Az izolálás során meg kell akadályozni az egyéb élesztő és fonalas gombák, sugárgombák, illetve baktériumok növekedését. Ehhez leggyakrabban a pentaklór-nitrobenzol (PCNB) fungicidet alkalmazzák, mely a legtöbb penészgomba fejlődését gátolja, a fuzáriumokra pedig nincs hatással. Viszont erre a célra nemcsak a PCNB alkalmas, sokan használják még a peptont tartalmazó Nash-Snyder-féle táptalajt, illetve annak különféle változatait is. A táptalajnak tartalmaznia kell még olyan szén- és nitrogénforrást is, melyek adott fuzárium faj fejlődését segítik. A szelektív azonosításhoz fontos még olyan fajspecifikus, másodlagos morfológiai bélyegek megléte, melyek lehetővé teszik a fuzárium fajok azonosítását. A fajsintű morfológiai azonosítás ugyanakkor rendkívül nehéz és időigényes feladat, ráadásul nem minden esetben jár

sikerrel. Az elsődleges morfológiai bélyegek közé tartoznak a mikro- és makrokonídiumok, klamidospórák, illetve polifialidok, a másodlagosak közé pedig a telep növekedési üteme, színe és szaga. Ezek azonban kivétel nélkül igen változékonyak, ráadásul a környezeti viszonyok is nagyban befolyásolják őket. A morfológiai határozás sikerességéhez kulcsfontosságú a tiszta, egy spórából származó tenyészet, továbbá a szigorúan betartott tenyésztési körülmények éppúgy, mint a speciális táptalajok használata, az állandó hőmérséklet biztosítása, és a változó fényviszonyok (nappal-éjszaka), valamint a 7-14 napos tenyésztési idő (Szécsi és Szőke, 2023).

Az elmúlt két évtized nagy vívmánya a molekuláris filogenetika fejlődése. A fajmeghatározáshoz a legalkalmasabb módszer a filogenetikai elemzéssel kombinált multilokusz szekvenciaelemzés. A DNS-szekvenciaelemzésen alapuló molekuláris analízisek használatával rendkívül megbízhatóvá vált nemcsak a fajok azonosítása, hanem taxonómiai osztályozása és filogenetikai vizsgálata is (Szécsi és Szőke, 2023). Mindezek az ismeretében több problémára is fény derült, egyrészt, hogy a mezőgazdasági szempontból igencsak jelentős *Fusarium* nemzetség több, mint 450 azonosított fajt tartalmaz, másrészt pedig a fajok nagyjából egyharmadát még nem is írták le hivatalosan. Egyértelművé vált továbbá az is, hogy a morfológiai határozás önmagában nem elegendő 1-1 faj azonosításához. A fuzáriumok fajszerű azonosítása azért különösen fontos, mert csak így lehet eredményes a betegség és a toxintermelés meghatározása, a továbbiakban pedig a védekezési módszerek kidolgozása (Munkvold et al. 2021). A fuzáriumok egyre intenzívebbé váló kutatása szükségessé tette egy világszerte elérhető internetes adatbázis létrehozását. Ez nem más, mint a 2004-ben megalakult FUSARIUM-ID adatbázis, amely az akkor ismert fuzárium fajok egy meghatározott gén szekvenciáját gyűjtötte össze. Ennek fő jellemzője, hogy kizárólag megbízható forrásból származó, igazolt szekvenciákat tartalmazott, biztosítva ezzel a további vizsgálatokhoz szükséges pontos fajmeghatározást. Aztán az idő elteltével újabb és újabb adatbázisok jelentek meg, melyekben már több gén szekvencia is elérhető (Szécsi és Szőke, 2023).

2.3. A kukorica fuzáriózisa

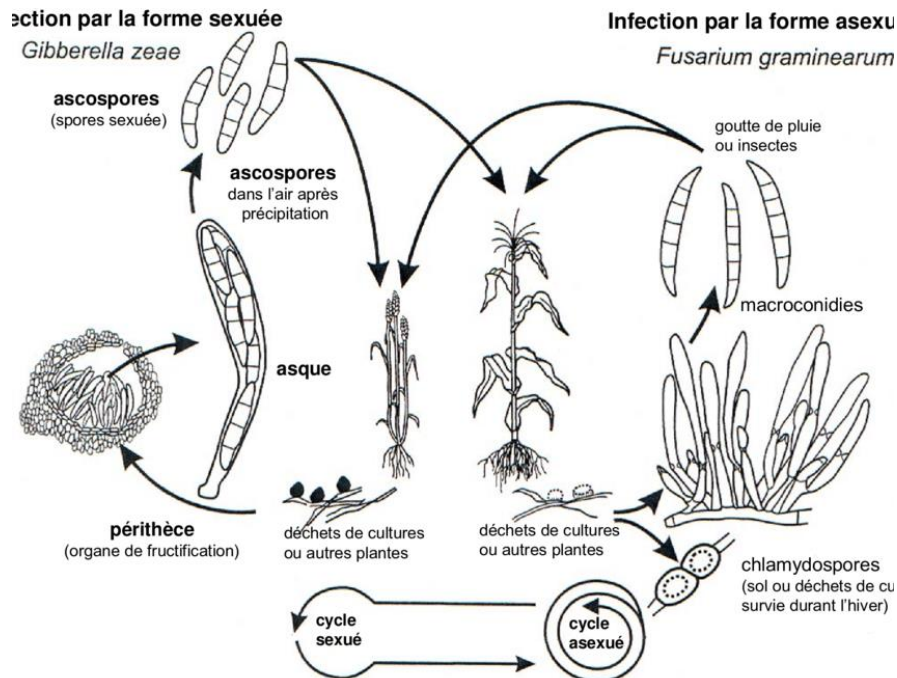
A kukorica ellenállósága a különböző kórokozókkal szemben igen jó, és az ellenük való védekezési lehetőségek is széleskörűek. Bizonyos kórokozók esetén azonban a kártétel nem a termés mennyiségének csökkenésében, hanem a minőség romlásában mutatkozik. Ilyen betegség a világszerte előforduló fuzáriózis, amelynél a legnagyobb gondot a termésben a

gombák által termelt mikotoxinok okozzák. A tüneteket gyakran nem egy, hanem több fajtól álló kórokozó-együttes okozza, melyek általában polifág szervezetek. Ez jelentősen megnehezíti a fuzáriózis elleni védekezést, hiszen ezek a fajok többek között például az őszi búzát is fertőzik, melynek hazai vetésterülete nagyjából megegyezik a kukoricáéval, így a vetésváltás gyakran nem megoldható (Simkó és Veres, 2021)

Ahhoz, hogy egy kórokozó képes legyen megbetegíteni egy növényt, három feltételnek kell egyszerre teljesülnie. Először is, szükség van a kórokozó részéről elegendő mennyiségű fertőzésre képes alakra (más néven inokolumra), másodsor pedig szükség van fogékony gazdanövényre. Mindezek mellett pedig nagyon fontos a fertőzést lehetővé tevő, illetve segítő környezeti feltételek megléte. A *Fusarium* fajok részéről Magyarországon minden évben bőségesen rendelkezésre áll fertőzési forrás. Ez annak köszönhető, hogy a szántóterületeink javarészen vagy kalászos gabonát, vagy pedig kukoricát termesztünk, azok szármaradványaiban pedig tömegesen tenyésznek különféle *Fusarium* fajok. A helyzetet pedig tovább súlyosbítja a forgatás nélküli talajművelési módszerek, illetve a „no-till” technológiák hazai terjedése, ami kimondottan kedvez a *Fusarium* fajok áttelelésének (Hertelendy 2021).

A kukorica fuzáriózisát több kórokozó okozhatja, ugyanakkor a *Fusarium graminearum* képes az ivaros szaporodásra. Az elsődleges fertőzési források a peritéciumból kiszabaduló, széllel terjedő askospórák, melynek a fertőzéshez csapadék vagy magas páratartalom szükséges. A peritéciumok éréséhez viszonylag magas hőmérséklet (29 °C), illetve nedves környezet kedvező, az askospórák szóródásának azonban alacsonyabb a hőmérsékleti optimuma (26 °C). A fuzárium fajok legjelentősebb áttelelő képlete a peritécium, amely a talajban lévő kukorica szármaradványokon akár 16 hónapig is megőrizheti életképességét (Pereyra et al. 2004). Ezen kívül áttelelhetnek még a konídiumok, klamidospórák, és a micélium is. Az askospóra vagy a makrokonídium fertőzhet a gazdanövény légzőnyílásain, vagy pedig aktív penetrációval. Ezután egy ideig biotróf jelleggel fejlődik a micélium a gazdanövény belsejében, majd az inokuláció utáni harmadik-negyedik napon válik a kórokozó nekrotroffá. A gombafonalak által termelt cellulázok, xilanázok, és pektinázok, valamint különböző mikotoxinok felszabadulása miatt a hifák növekedése mentén a környező sejtek fala sérül, a növényen nekrotikus foltok lesznek láthatóak (Lehoczki-Krsjak 2013). A fertőzött növényi részeken hamar megjelennek a makrokonídiumok, melyek a másodlagos fertőzés okozói. A *Fusarium verticillioides*, a *F. subglutinans* és a *F. proliferatum* heterotallikus fajok. Annak ellenére, hogy az ivaros szaporodás fontos szerepet tölt be a genetikai rekombinációban, ezen kórokozóknál ez kevésbé

jelentős, mint a *Gibberella zeae* esetében. Ezek a fajok nagy számban termelnek mikro- és makrokonídiumokat, és ezek az ivartalan spórák okozzák a csőpenészt, illetve a tünetmentes magfertőzést (Munkvold 2003). Az 1. ábra a *Gibberella zeae/Fusarium graminearum* életciklusát mutatja be.



1. ábra
A *Fusarium* fajok életciklusa (Bily, 2003)

A *Fusarium* fajok gyengültségi paraziták, ami azt jelenti, hogy elsősorban a gyengén fejlődött, abiotikus stressznek kitett növényeket fertőzik. A fertőzéshez elegendő csupán egy-két óra vízborítás. Ebből adódóan tehát nincs szükség csapadékra, bőven elegendő az is, ha a viszonylag nagy napi hőingás szélséggel párosul főként a mélyebb fekvésű területeken, mert akkor a harmatképződés is elég vizet biztosít a fertőzéshez (Hertelendy 2021). A csíranövény fertőzés következtében a növény barnul, majd elpusztul. Fertőzhetik még a szarát, melynek fő tünete a szárkorhadás, viszont a legjelentősebb kárt a cső fertőzése, az úgynevezett „csőpenész” okozza, amely a 2. ábrán látható. Enyhe tünet esetén csak fehér csíkoltság látszik a szemeken, erős fertőzésnél viszont már micéliumtömeg is kifejlődik. A beteg szemek színe megváltozik, kifakulnak, ráncosodnak a vízveszteségtől és kisebbek lesznek. A fertőzés a bibeszálaknál történik, így a csőpenész is a kukoricacső végétől kezdődik, és a szár felé halad. A fokozott vízveszteség miatt a cső beteg része nem tud rendesen kifejlődni, az egészséges része viszont igen, így befűződés alakulhat ki, ami a cső eltöréséhez is vezethet (Kálmán 2019).



2. ábra

Fuzárium fertőzés tünete a csövön (Pálvölgyi, 2023)

A fertőzéshez valamilyen sebzésre van szükség, mely lehet abiotikus (pl. jégverés), illetve biotikus (rovarkártétel). A biotikus tényezők elleni védekezés nem lehetséges, esetleg enyhíteni tudjuk a károkat, de ennek lehetőségei igen korlátozottak (Keszthelyi et al. 2006). Egyetlen lehetőségünk tehát az ízeltlábúak elleni védekezés. Az elmúlt években jelentős változás tapasztalható a hazai kártevőhelyzetben, mely egyrészt az őshonos fajok egyre agresszívebbé válásában, másrészt pedig új fajok térnyerésében nyilvánul meg. Mindezek közül azon fajok szerepe kulcsfontosságú a toxintermelő gombák megtelepedése szempontjából, melyek rágásukkal jelentős sebeket ejtenek a kukoricán, illetve azon táplálkozva nem engedik azokat begyógyulni. Az első ilyen faj a kukoricamolylepke (*Ostrinia nubilalis*), amelynek hernyója nemcsak a szár belsejét, de a csövet is megrágja. Az egyre melegebb időjárás következtében országszerte 2 nemzedéke fejlődik, melynek következménye a nyári, nyugalmi állapot közbeiktatása nélküli károsítás (Keszthelyi et al. 2008). A másik jelentős faj a gyapottok-bagolylepke (*Helicoverpa armigera*), ami egy polifág faj. Régebben csupán alkalmanként jelent meg hazánkban, napjainkban azonban minden évben megjelenik, bizonyos években tömegesen felszaporodik. Mindez szintén a klímaváltozásnak köszönhető. A lárva kizárólag a növény virágzatán és

termésén táplálkozik, elsősorban a cső csúcsi részén. A rágása nyomán a gombák megtelepedése szinte mindig bekövetkezik (Horváth 2017).

2.4. Az *Aspergillus* nemzetség jellemzése és rendszerezése

Az *Aspergillus* nemzetség a fonalas gombák igen változatos csoportja, melyek gazdaságilag kifejezetten jelentősek. A nemzetség tagjai az aszkuszos gombákon belül az Eurotiomycetes osztályba, és az Eurotiales rendbe tartoznak. Az ide tartozó fajok világszerte előfordulnak, felhasználásuk pedig kifejezetten sokrétű. Amellett, hogy kórokozóként is jelentős csoport, különféle biotechnológiai eljárásokban metabolitokat termelnek velük, fontos szerepük van az élelmiszer-fermentációban. Növénypatogénként legfőképpen mikotoxintermelésük (ochratoxinok, fumonizinek) miatt jelentősek. Régebben ezeket a fajokat is morfológiai bélyegek alapján határozták meg, azonban napjainkban ezekben is a molekuláris genetikai vizsgálatok a hangsúlyosak (Szigeti 2018). Az egyik leggyakrabban előforduló aflatoxin termelő faj az *Aspergillus flavus*, amely súlyos mezőgazdasági károsító. Az aflatoxinok a legveszélyesebb mikotoxinok közé tartoznak, ráadásul közel 20 *Aspergillus* faj képes a termelésére. Az aflatoxin termelő gombák számára leginkább a trópusi, szubtrópusi klíma a kedvező, így a közép-európai régióban eddig nem jelentett kockázatot a mezőgazdasági termékek aflatoxin szennyezettsége. Az éghajlatváltozás következtében azonban ezeken a területeken is egyre kedvezőbbé váltak a klimatikus viszonyok az *Aspergillus* fajok számára, így számítanunk kell az élelmiszerek megnövekedett aflatoxin szennyezettségére. Az *Aspergillus* fajok szaporodása igen változatos, a leggyakoribb módja ugyanakkor az ivartalan szaporodási mód, amely során nagy mennyiségű konídiumot képeznek. Ezek a konídiumok a levegővel terjednek, és felső légúti fertőzéseket, allergiás és asztmás megbetegedéseket is okozhatnak. Az *Aspergillus*ok mintegy harmada esetében ismeretes az ivaros szaporodás, amely kazmotéciumban fejlődő aszkospórák által valósul meg (Baranyi 2016).

Az éghajlatváltozás nemcsak a mezőgazdasági termelésre, hanem a növénykórokozó gombák és a mezőgazdasági termékek mikotoxin szennyezettségére is hatással van. A közelmúltban több olyan európai országban felfigyeltek a megnövekedett aflatoxin szennyezettségre, ahol addig nem volt jellemző. Ide tartozik például Észak-Olaszország, Szerbia, Szlovénia, Horvátország és Románia. Dobolyi és munkatársai (2013) hazai kukoricatáblákról gyűjtöttek mintákat a kukoricaszemek mikrobiota vizsgálatának céljából. A kukoricatáblák 63,5%-án

azonosították az *Aspergillus flavus* jelenlétét, és ezen izolátumok 18,8%-a volt képes igen nagy mennyiségű mikotoxin termelésére. A vizsgálatok kimutatták, hogy az aflatoxin-termelő *Aspergillus* fajok jelen vannak hazánkban, és a klímaváltozás okozta felmelegedéssel számíthatunk a mezőgazdasági termékek megnövekedett aflatoxin-szennyezettségére.

Egy adott termékben egyszerre több mikotoxin is jelen lehet, amely többféle penészgomba társfertőzésének köszönhető. Az elmúlt 30 évben az *Aspergillus flavus* és a *Fusarium verticilloides* virulenciája a kukoricában világszerte növekszik. Ezzel együtt a 2 gomba által termelt mikotoxinok szennyezettsége 32%-kal nőtt Európában, ami komoly veszélyt jelent az élelmiszerbiztonságra nézve (Chen et al. 2023).

2.5. Mikotoxinok

A mikotoxinok a gombák által termelt másodlagos anyagcseretermékek, melyek toxikus hatással vannak az élő szervezetekre. Ezek tulajdonképpen természetes szennyező anyagok az élelmiszer alapanyagokban, melyeket ma még lehetetlen teljesen kiiktatni az élelmiszerláncból. A mikotoxinok folyamatos monitorozása, és a határértékek időszakos felülvizsgálata népegészségügyi szempontból kiemelkedő jelentőségű, hiszen hatásuk lehet multitoxikus, ráadásul egyes mikotoxinok interakciója igen bonyolult (Kovács 2018). A jelentőségüket még inkább szemlélteti, hogy az Európai Unióban működő gyorsvészjelző rendszer (Rapid Alert System for Food and Feed, RASFF) jelentései szerint a legnagyobb problémát a patogén mikroorganizmusok, a peszticid maradékok, és a mikotoxinok okozzák. A gabonafélékben többféle toxin előfordulhat, mint például a deoxinivalenol, zearalenon, és a fumonizin, melyeket a *Fusarium* fajok termelnek. A gabonákban leggyakrabban előforduló *Aspergillus* fajok által termelt toxinok pedig az ochratoxin, és az aflatoxin. Az egyes toxinokra vonatkoztatott maximális határértékeket a 1881/2006/EK rendelet határozza meg. Külön határértéket szab meg az emberi fogyasztásra, és a csecsemőknek szánt élelmiszerekre, illetve előbbinél külön határértékek vonatkoznak a különböző feldolgozottsági szintű termékekre. A 2. táblázat adataiból látható, hogy az *Aspergillus* fajok mikotoxinjainak határértéke a legalacsonyabb, a *Fusarium* fajok toxinjai közül pedig a deoxinivalenol és a fumonizinek a legveszélyesebbek (Petrányi et al. 2016).

2. táblázat

Emberi fogyasztásra szánt élelmiszerek mikotoxin határértékei (forrás: Petrányi et al. 2016)

	Határérték (µg/kg)	
	Emberi fogyasztásra szánt termék	Csecsemőknek szánt termék
Aflatoxin	2-8	0,025-0,1
Aflatoxin M1 (nyers tej)	0,05	0,025-0,1
Ochratoxin-A	2-10	0,5
Deoxinivalenol	500-1750	200
Zearalenon	50-200	20
Fumonizin B1+B2	400-2000	200
Patulin	25-50	10

A mikotoxinok veszélyességének több oka van. Kis molekulatömegűek, antigén hatással nem rendelkeznek. Nem érzékenyek a hőmérsékletre, így a hőkezelés nem ártalmas rájuk nézve, ráadásul a gyomornedv sósavtartalmának is ellenállnak. A szervezetben belül (vese, máj) akár kumulálódhatnak, a szervezet specifikus védekező mechanizmusát direkt vagy indirekt módon gátolják, valamint metabolitjaikkal bekerülhetnek az állati eredetű élelmiszerekbe (pl. tej, tojás). A mikotoxinok ugyan mikro mennyiségben vannak jelen a táplálékláncban, viszont jelenlétükre mindenhol számítani kell, ahol a penészgombák meg tudnak telepedni. Mozgásuk a táplálékláncban horizontálisan és vertikálisan is megvalósul (Kovács, 2010).

A mikotoxinok magasabb rendű szervezetekben kiváltott tünetei és betegségei igen sokfélék, ami kémiai szerkezetüknek tudható be. A *Fusarium* fajokra jellemző trichotecénvázis mikotoxinok toxicitásának alapja a 12,13 epoxid gyűrű jelenléte. Megkülönböztetünk A típusú (T-2, HT-2, neoszolaniol), és B típusú (deoxinivalenol, nivalenol, fuzarenon-x) toxinokat. A zearalenon kémiai szerkezete nagyon hasonló az ösztrogénéhoz, ennek köszönhető ösztrogénszerű hatása. Ennek a hatásnak a mértéke eltérő a különböző szervezetekben, a sertés és az ember esetében a zearalenon metabolitjának ösztrogénszerű hatása négyszer erősebb a többi szervezethez képest (Bíró et al. 2012)

A fumonizineket az 1980-as években fedezték fel, azóta pedig több, mint 15 típusát izolálták, melyek közül az FB1 a legelterjedtebb. Előfordulásukat tekintve világszerte megtalálhatók leginkább kukoricában, kukorica alapú élelmiszerekben és takarmányokban. A fumonizinnel szennyezett takarmányok fogyasztása lovaknál megnöveli az agylágyulás kialakulását,

sértésnél tüdőödémát okozhat, kísérleti állatoknál pedig neurotoxikus, hepatotoxikus, és karcinogén hatásról számoltak be. Humán vonatkozását tekintve a májrák, nyelőcsőrák és az idegszöveti rendellenességek kialakulása is összefüggésbe hozható a megnövekedett fumonizin-expozícióval. A Nemzetközi Rákkutató Ügynökség (IARC) az FB1-et lehetséges rákkeltő hatásúnak ismeri el (2B csoport). A fumonizinek neurotoxicitásának egyik lehetséges mechanizmusa a kalcium-homeosztázis zavara (Domijan, 2013).

A deoxinivalenol világszerte szennyező ágensként van jelen javarészt búzában, kukoricában és árpyában, jelentősége magas elterjedtségének köszönhető. Az állattenyésztésben vomitoxinként ismert, sertéseknél takarmányvisszautasítást, hányást okozhat nemcsak maga a toxin, hanem metabolitjai is. A baromfi csak nagy dózisban érzékeny rá, a legkevésbé érzékenyek pedig a kérődzők (Rajli 2019).

A zearalenon többféle káros hatásért felelős a legtöbb emlős fajnál és az embernél is, de mind közül a legjelentősebb a szaporodásbiológiában okozott zavar. Közvetlen káros hatással van a petefészkek tüszőire azáltal, hogy gátolja a csírasejtek proliferációját, megváltoztatja a petesejt érését, és a gonadotropin termelődését. Ugyanakkor a zearalenon csak nagy dózisban, vagy hosszan tartó expozíció esetén fejt ki káros hatását (Zhang et al. 2018).

Abdel-Wahhab és munkatársai (2005) is igazolták az aflatoxinok májkárosító, hepatokarcinogén, mutagén, és teratogén hatását. Krónikus aflatoxikózis kis mennyiségű, tartós aflatoxin fogyasztás esetén történik, ami minden esetben májkárosodással jár. További következményként májcirrózis, májrák, immunszuppresszió, és egyéb lassú patológias folyamatok következhetnek be. Az IARC a bizonyítottan rákkeltő anyagok közé sorolta (1. csoport) (Baranyi 2016).

2.6. A kukorica integrált védelme

A 2009/128/EK európai irányelv előírja az emberi egészséget és a környezetet érintő kockázatok csökkentését, valamint az integrált növényvédelem (IPM) alapelveinek kötelező betartását. A mindeknek való megfelelés érdekében az európai gazdálkodóknak módosítaniuk kell növénytermesztési gyakorlatukat. Az IPM stratégiák közé tartozik többek közt a vetésforgó módosítása, ellenálló fajták kiválasztása, fejlett döntéstámogató rendszerek alkalmazása, gyomirtó szerek sávos kijuttatása, mechanikus gyomirtás, csökkentett dózisok, biológiai

növényvédő szerek, és nem vegyi alternatívák alkalmazása. Az IPM-rendszerek gazdasági megvalósíthatóságának és környezeti hatásának értékelése elengedhetetlen ahhoz, hogy a gazdálkodók alkalmazzák is azokat. A PURE (Pesticide Use and Risk Reduction in European Farming Systems with Integrated Pest Management, 2011-15) elnevezésű EU-projekt olyan gyakorlati IPM-megoldásokat tesztelt, amelyek csökkentik a peszticidektől való függőséget a főbb európai növénytermesztési rendszerekben, ideértve nemcsak az Észak-Európára jellemző őszi búzán alapuló szántóföldi növénytermesztési rendszereket, hanem a Közép-Dél-Európára jellemző szemes kukorica alapú rendszereket is. A kísérlet során három évben hasonlították össze az IPM rendszerű búza- és kukorica vetésforgókat a hagyományos növényvédelmi rendszerrel szemben. A vizsgálatok Észak-Európa (6 régió), illetve Közép-Dél-Európa (3 régió) tipikus régióiban zajlottak. Összességében megállapították, hogy az IPM-stratégiák kisebb környezeti hatást fejtenek ki, elsősorban a jelentősen csökkent peszticid használat miatt. Gazdasági fenntarthatóságuk sok mindentől függ, elsősorban a lehetséges termésnövekedéstől, de mindenképp megemlíthető még ezen kívül az IPM-eszközök és módszerek költségeinek változása, valamint a hagyományostól eltérő növényfajták termesztése. A terméseredmények többször kissé alacsonyabbak voltak a hagyományos rendszerekhez képest, viszont az is egyértelműen kiderült, hogy az IPM rendszerek csökkentik a környezeti kockázatokat (Dachbrodt-Saaydeh et al. 2015).

A *Fusarium* fajok komoly veszélyt jelentenek nemcsak a mezőgazdaságban, hanem az élelmiszeriparban is a mikotoxin termelésük által. Az ellenük való védekezést ugyanakkor a szántóföldön kell elkezdni, ami kifejezetten nehéz feladat. A fuzáriumok elleni integrált védekezés, és a nem kémiai módszerek fejlesztése és kutatása alapvető fontosságú, nemcsak a peszticidcsökkentés miatt, hanem mert kifejezetten hamar rezisztenssé válnak a különböző fungicid hatóanyagokkal szemben. Doshi és Sera (2023) kidolgoztak egy fizikai védekezési módszert, a hideg plazma technikát, amely ígéretes eredményeket mutatott a *Fusarium graminearum* és a *Fusarium culmorum* elleni védekezésben. A fizikai plazma az anyag negyedik állapota. Ez egy részben vagy teljesen ionizált semleges anyag, amely elektronokból, ionokból, semleges részecskékből, alap- vagy gerjesztett állapotú molekulákból, gyökfajtákból és elektromágneses sugárzásból (UV-fotonok és látható fény) áll. Mivel a módszer nem tartalmazza a termikus plazmát, a továbbiakban csak nem termikus plazmaként (NTP) említik. Az NTP módszer alkalmazása a mezőgazdaságban igencsak új keletű dolog, kétségtelenül az egyik leginnovatívabb fizikai megoldás nemcsak a növény kórokozók elleni védekezésben, hanem a mikotoxinok megkötésében is. A kísérleti tapasztalatok azt mutatják, hogy a

plazmakezelés körülményei, mint például a használt gáz, a feszültség, a teljesítmény és a kezelési idő a legfontosabb feltételek, amelyek meghatározzák a módszer sikerességét. Bár számos lehetséges magyarázat létezik a gombák inaktivációjának, és a mikotoxinok lebomlásának mechanizmusára, ez még mindig olyan kevésbé ismert terület, amely alapos kutatást igényel. Mindemellett az NTP és egyéb biológiai védekezési módszerek kombinálása a jövőben fontos szerepet játszhat az integrált növényvédelemben. Nincsenek kizárva olyan szinergiák megléte sem, amelyek akár helyettesíthetik a hagyományos kémiai megoldásokat, biztosítva ezzel a fenntartható mezőgazdaságot a jövőben.

Napjainkban világszerte nagy kihívást jelent a termelési színvonal megőrzése és fejlesztése oly módon, hogy azok a biodiverzitásban károkat ne okozzanak. Ehhez társul az a probléma, hogy az éghajlatváltozás hatására folyamatosan számolni kell új, invazív károsítók megjelenésével olyan területeken, ahol számukra addig kedvezőtlenek voltak a körülmények. A precíziós növénytermesztés során fontos szerepet kap az integrált növényvédelem (IPM) szabályainak alkalmazása (Illés et al. 2020). A növényvédőszer felhasználás racionalizálásának kiváló eszköze lehet a precíziós gazdálkodás, azonban ehhez feltétlenül szükséges a megfelelő technikai háttér (kijuttatás, érzékelés) melynek nagy a beruházás igénye, viszont hosszú távon mindenképpen megtérül (Takácsné et al. 2013).

A kukorica fuzáriózisa elleni integrált védekezés fő pontjai a következők:

1. A kórokozók pontos ismerete

A növényi kórokozók pontos kimutatása és ismerete kulcsfontosságú a sikeres betegségkezeléshez, amelyet általában betegség tünetek vagy laboratóriumi azonosítás alapján hajtanak végre. Ezek a módszerek azonban időigényesek, ráadásul széleskörű taxonómiai ismereteket követelnek meg. A közeli rokon fajok gyakran nem különíthetők el morfológiai szempontok alapján. A PCR diagnosztikai vizsgálatok kiküszöbölik a hagyományos határozási módszerek hátrányait, és képesek elkülöníteni a kórokozókat. Ezen túlmenően a tünetmentes növények kórokozói is diagnosztizálhatóak PCR-alapú módszerekkel (Kuzdralinski et al. 2017).

2. Megelőzés és visszaszorítás

A legfenntarthatóbb, és legköltséghatékonyabb megoldás a fuzáriózis megelőzésére a genetikailag ellenálló fajták termesztése, amennyiben rendelkezésre állnak. A rezisztencia-mechanizmus öt típusra osztható, ideértve a kezdeti fertőzéssel szembeni rezisztenciát, a fertőzés gazdanövényen belüli terjedését, a mikotoxinok felhalmozódását, a mag fertőződését és a terméseszköket. Az fuzáriózissal szembeni rezisztencia egy tipikus kvantitatív tulajdonság, amelyet több gén határoz meg. A rezisztencia nemesítés számára különösen fontos feladat a rezisztencia gének pontos feltérképezése és tényleges hatásainak ismerete.

A helyes gazdálkodási gyakorlatok, ideértve többek közt a vetésforgót, a megfelelő talajművelést, és az optimális tápanyagutánpótlást, segítik kialakítani és megőrizni a növények jó kondícióját, növelve a fuzáriózissal szembeni ellenállóságot. Ha a vetésforgót úgy alakítjuk ki, hogy a gabonanövények után olyan növény következik, mely nem gazdanövénye a csőpenészt okozó kórokozónak, jelentősen csökkenteni tudjuk a fertőzési nyomást, illetve a mikotoxin szennyezettséget. A növényi maradványok talajfelszínről való eltávolításával szintén sokat tehetünk a fertőzés megelőzésének érdekében. A fertőzés kialakulásának esélye a rovarkártévek visszaszorításával is csökkenthető. Az alpművelés módjának megválasztása kulcsfontosságú, hiszen a szármadványok beforgatásával nemcsak a kórokozó szaporítóképletei, de a kártévek telelő alakjai is gyéríthetők. (Horváth 2017).

3. Biológiai védekezés lehetőségei

Palazzini és mtsi (2007) számos gombáról és baktériumról kimutatták, hogy antagonista hatásúak a *Fusarium* fajokkal szemben. Ide tartoznak például a *Streptomyces* spp., a *Bacillus* spp., illetve a *Pseudomonas* fajok. Darissa és mtsi (2012) egy olyan mikovírust írtak le, amely csökkenti a *Fusarium graminearum* patogenitását. Látható tehát, hogy elméletben számos lehetőség adódik a biológiai védekezésre. A gyakorlatban azonban nem ilyen egyszerű a megvalósítás, hiszen nem egyszerű feladat olyan készítményeket fejleszteni, melyek nemcsak hosszan eltarthatóak, hanem egyben hatékonyak is (Chen 2022).

4. Kémiai védekezés

Az ellenálló fajták hiánya miatt a fuzáriózis ellen napjainkban leggyakrabban kémiai úton védekeznek a gazdálkodók. A legtöbb esetben szteroid bioszintézis gátló fungicideket alkalmaznak, azon belül is a triazolokat, mint például a tebukonazol, és a metkonazol. Ezek a szisztémikus hatóanyagok a gombák ergoszterol bioszintézisét gátolják. A kémiai védekezés ugyanakkor több problémába ütközik. Ilyen probléma egyrészt a kijuttatás kedvezőtlen időjárás esetén, másrészt pedig az, hogy az utóbbi időben a fuzáriumok csökkent érzékenységet mutatnak a DMI fungicidekkel szemben (Chen et al. 2022). További probléma, hogy a kártevők folyamatos sebzései állandóan utat nyitnak a kórokozóknak, ez pedig jelentősen csökkenti 1-1 gombaölőszeres kezelés hatékonyságát. Jobb megoldás ezért az, ha közvetlenül a sebzést okozó kártevők ellen védekezünk (Horváth 2017).

3. Anyag és módszer

A dolgozatban szereplő kísérleteim 2 fő részre oszthatóak. Egyik részében szabadföldi vizsgálatokat végeztem kukorica kultúrában fiziológiai érettség fenofázisban, másik részében pedig az akkor begyűjtött kukorica mintákat elemeztem laboratóriumi körülmények között.

3.1. A szabadföldi kísérlet helyszínének bemutatása

A szabadföldi kísérletet a Baranya vármegye délkeleti részén elhelyezkedő Bóly település határában végeztem a 2022-es termesztési időszakban. Ez a terület a Nyárad-Harkányi síkon található, amely az Alföld nagytájhoz tartozó szántók borította agrártáj. A területre változatos morfológia jellemző, javarésze alacsony ármentes síkság, amely É-D-i és ÉNy-i csapású völgyekkel szabdalt.

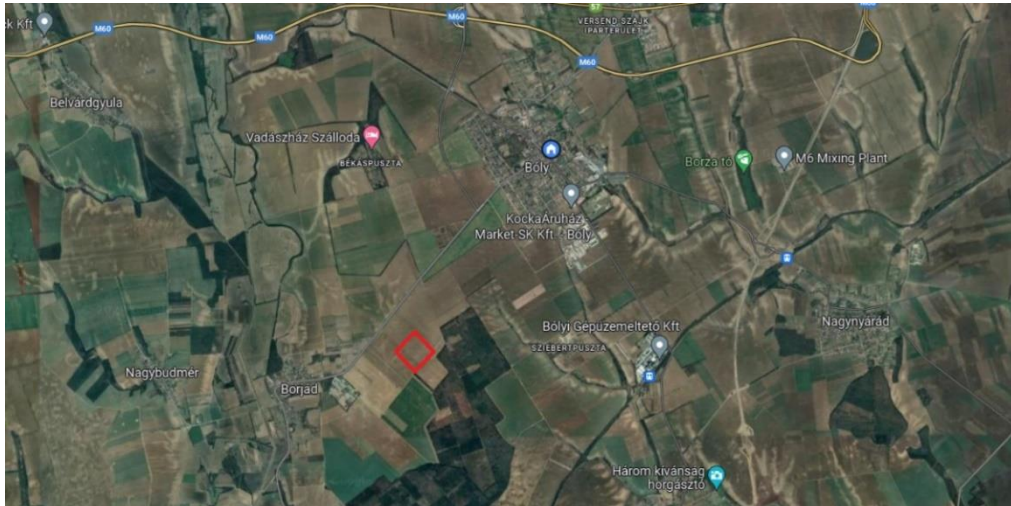
Az éghajlati viszonyokat tekintve a területre a meleg, mérsékelt száraz éghajlat jellemző. Az évi napfénytartam körülbelül 2080 óra körül van, melynek eloszlása nagyjából nyáron 870 óra, télen pedig 210 óra. Az évi középhőmérséklet 10,6-10,8°C között alakul. Az éves csapadékmennyiség 600-620 mm közt van.

A talajviszonyokat tekintve Baranya vármegye javarészt barnaföldek borítják. Bóly környékére igen jó termékenységű mészlepedékes csernozjom talajok jellemzőek. Részben ennek is köszönhető, hogy területük kb. 80%-át szántóként hasznosítják, a fennmaradó részből pedig körülbelül 10%-ot Bóly település foglal el, a másik 10% pedig erdőként hasznosul (Kovács és Szabó 2017).

A kísérlet helyszínét és a termesztéshez szükséges szántóföldi műveleteket a Bóly Zrt biztosította. A cég 16.000 hektáron végez szántóföldi növénytermesztést Baranya vármegye keleti régiójában. A legnagyobb területen kukoricát, őszi búzát, őszi árpát és napraforgót termesztnek nemcsak takarmányozási, hanem étkezési és vetőmag előállítási célra is. Ezenfelül kisebb mértékben ugyan, de helyet kap még a vetésszerkezetben többek közt a szója, a borsó, a tritikálé, a rozs és a csemegekukorica is.

3.2. A szabadföldi vizsgálat bemutatása

A kísérleti parcella a borjádi erdő szomszédságában került kijelölésre, amely a 3. ábrán látható, a piros vonallal jelzett területen.



3. ábra

A kísérleti parcella elhelyezkedése (forrás: Google Maps)

A közeli erdő miatt fokozott figyelmet kellett fordítani a vadkár megelőzésére, így a kísérleti parcella villanypásztorral körbe volt kerítve. A parcella előveteménye kukorica volt. A kísérletben összesen 12 fajta került elvetésre 4 ismétlésben. A fajták nevei titkosítottak, így a továbbiakban kódolva szerepelnek. 1-1 fajtából 6 sor volt vetve, minden fajta első sora szalaggal került jelölésre. Az első ismétlés volt a kontroll csoport, amely sem fungicides, sem inszekticides kezelést nem kapott. A második csak inszekticides kezelésben, a harmadik csak fungicides kezelésben, a negyedik pedig mindkét kezelésben részesült. A kísérleti parcella egy másik vizsgálat céljából létesült, az én vizsgálataim csak a kontroll csoportra terjedtek ki. A 4. ábrán látható a kísérleti parcella.



4. ábra
A kísérleti parcella (Pálvölgyi, 2022)

A szántóföldi felvételezés során a csöveken látható rovar kártételt, és a szemek fuzárium fertőzöttségét vizsgáltam. Mind a 12 fajtánál 3 mintateret határoztam meg, ahol 10 egymást követő csövet vizsgáltam. A rovarkártételnél csak azt jegyeztem fel, hogy van-e vagy nincs, illetve csak a rágó kártevők kártételét vettem figyelembe, hiszen az kedvez a fuzárium fertőzésnek. Az így kapott eredményekből számoltam ki, hogy a minták hány százalékán volt rovarkártétel, és ezt az értéket vettem figyelembe a továbbiakban. A fuzárium fertőzöttség vizsgálatánál pedig az egy csövön lévő beteg szemeket számoltam meg, melyeket szintén átszámoltam, hogy a csó hány százaléka fertőzött. Ezenkívül a laboratóriumi munkához is gyűjtöttem mintát, minden fajtából szedtem 5-6 db csövet, melyeket lemorzsoltam, majd mintazacskókba töltöttem, és felhasználásig száraz, hűvös helyen tároltam őket.

3.3. A laboratóriumi vizsgálatok bemutatása

A laboratóriumi vizsgálatokat a Növényvédelmi Intézet Integrált Növényvédelmi Tanszék kórtani laboratóriumában végeztem. A munkát a fuzárium szelektív táptalaj elkészítésével kezdtem, melynek összetevői a következők voltak: víz, pepton, kálium-foszfát dihidrát, magnézium-szulfát, agar. Mindezeket összekevertem, autoklávban sterilizáltam, ezután pedig a

steril box alatt hozzáadtam PCNB-t és kloramfenikolt, majd még folyékony állapotában steril, 9 cm átmérőjű műanyag petricsészékbe öntöttem. A munkát akkor folytattam, mikor a táptalaj teljesen megszilárdult. Mind a 12 fajta kukorica szemterméséből előkészítettem 100 szemet, melyek felületét először fertőtlenítettem. 10%-os hipó oldatban áztattam őket 10 percig, majd folyó vízzel alaposan leöblítettem őket. A steril boxban felírtam a petricsészékre a minták számait, illetve előkészítettem a szemek lerakásához szükséges eszközöket. Steril boxban táptalajra helyeztem a szemeket. Egy petricsészébe 10 szemet tettem, mindegyik fajta esetében 10 ismétlésben. Az ehhez használt csipeszt először alkoholba mártottam, majd leégettem. Ezután tálcákra tettem a petricsészéket, majd szobahőmérsékleten inkubáltam őket. Innentől kezdve a 3. és a 7. napon ellenőriztem a mintákat, és feljegyeztem, hogy hány szemből nőtt ki a kórokozóra jellemző micélium.

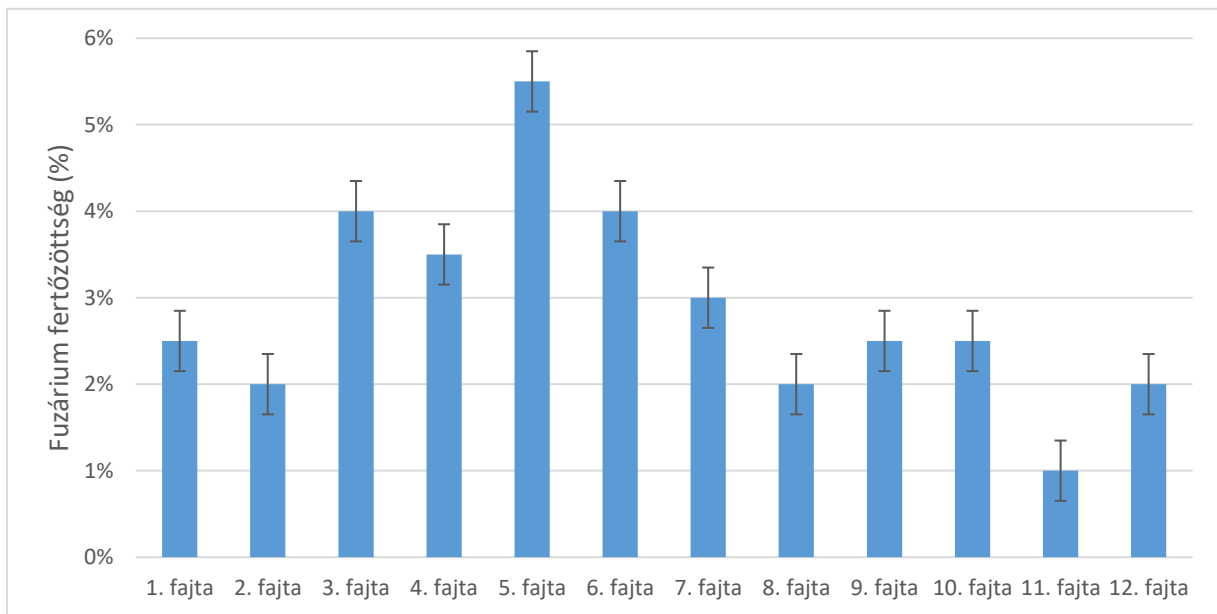
3.4. Az adatok statisztikai feldolgozása

A kísérlet során kapott adatok alapján készült ábrákat a Microsoft Excel programmal készítettem. Az adatsorok közti korrelációt szintén ugyanezzel a programmal számoltam ki. Ha a korreláció értéke 1, akkor a két változó kapcsolata egyenes arányosság. Ha 0, akkor nincs összefüggés, ha pedig -1, akkor a két változó közt fordított arányosság van. Több megközelítés létezik a korrelációértékből a változók közti kapcsolatra vonatkozó következtetésre. Sinkovits és Prohászka (2023) szerint a 0,25 és 0,5 közti korrelációs koefficiens gyenge kapcsolatot jelent. Az eredményeket ennek megfelelően értékeltem a dolgozatban.

4. Eredmények

4.1. A szántóföldi felvételezés eredményei

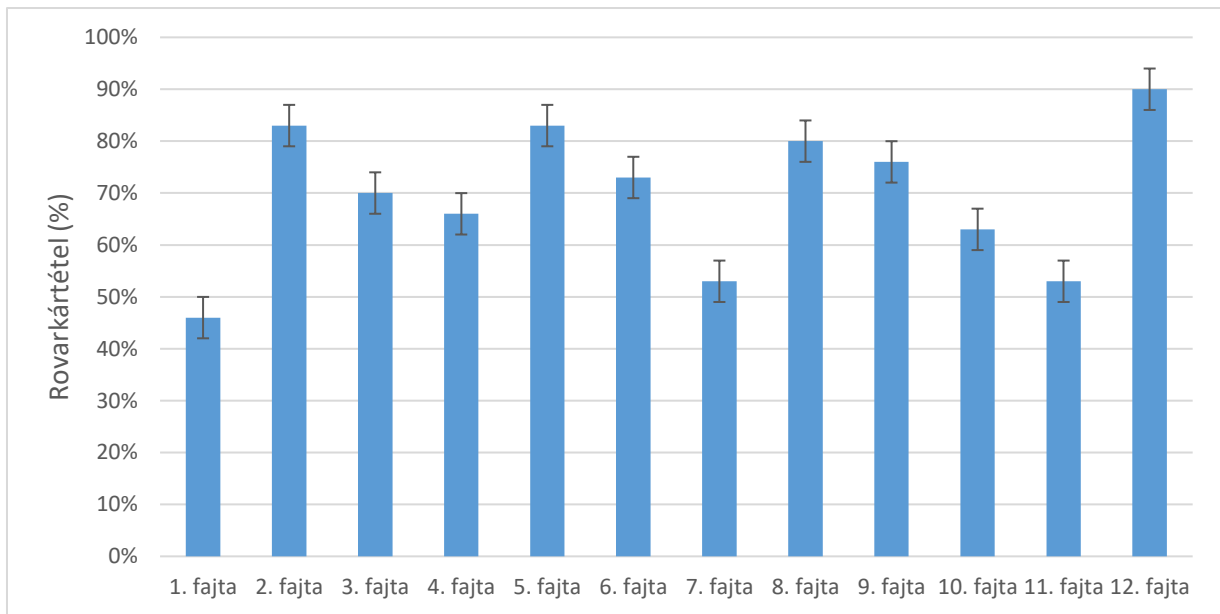
A szántóföldön végzett fuzárium felvételezés eredményeit az 5. ábra mutatja be. Minden fajtánál az anyag és módszerben bemutatott mintavételezés során kapott értékek átlagait számoltam ki, és az így kapott eredményeket tüntettem fel az ábrán (5. ábra), melyen jól látható, hogy az 5. fajta fertőzöttsége volt a legmagasabb, ahol átlagosan a csövek 5,5%-án jelent meg micélium. A 3. és a 6. fajta fertőzöttsége már alacsonyabb volt, mindkettő esetében 4%. A legkevésbé a 11. fajta volt fertőzött, itt a csövek mindössze 1%-án volt látható a fuzárium fertőzés. A többi fajtánál a csövek fertőzöttségi aránya 2-3 % között alakul, egyedül a 4. fajtáé több, ott ez az érték 3,5%.



5. ábra

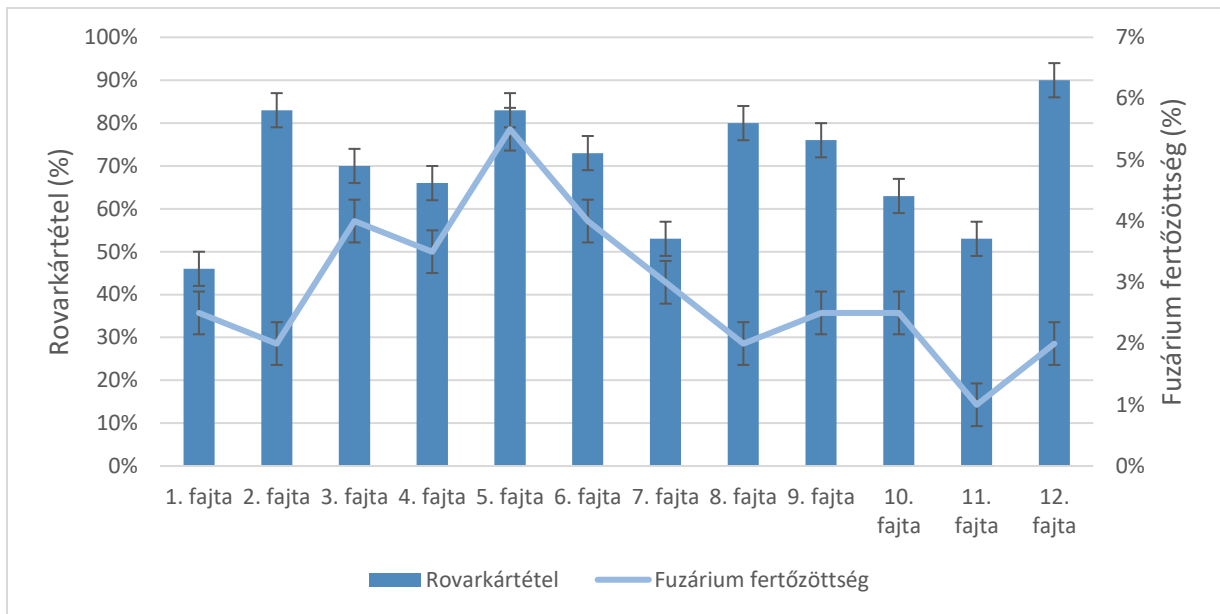
A csövek átlagos fuzárium fertőzöttsége százalékban megadva, valamint a szórás fajtánként

A 6. ábra a szántóföldön végzett rovarkártétel felvételezés eredményeit mutatja be. A legtöbb rovarkártétel a 12. fajtánál volt, ahol a vizsgált csövek 90%-án tapasztaltam kártételt. A 2. és az 5. fajtánál a rovarkártétel 80% felett volt. A 3., 4., 6., 8., 9. és 10. fajtáknál a kártétel mértéke 60 és 80% között alakult. A 7. és a 11. fajtánál a rovarkártétel egyaránt 53% volt. A legalacsonyabb érték az 1. fajtára jellemző, 43%.



6. ábra
Rovarkártétel százalékos eloszlása átlagosan, valamint a szórás fajtánként

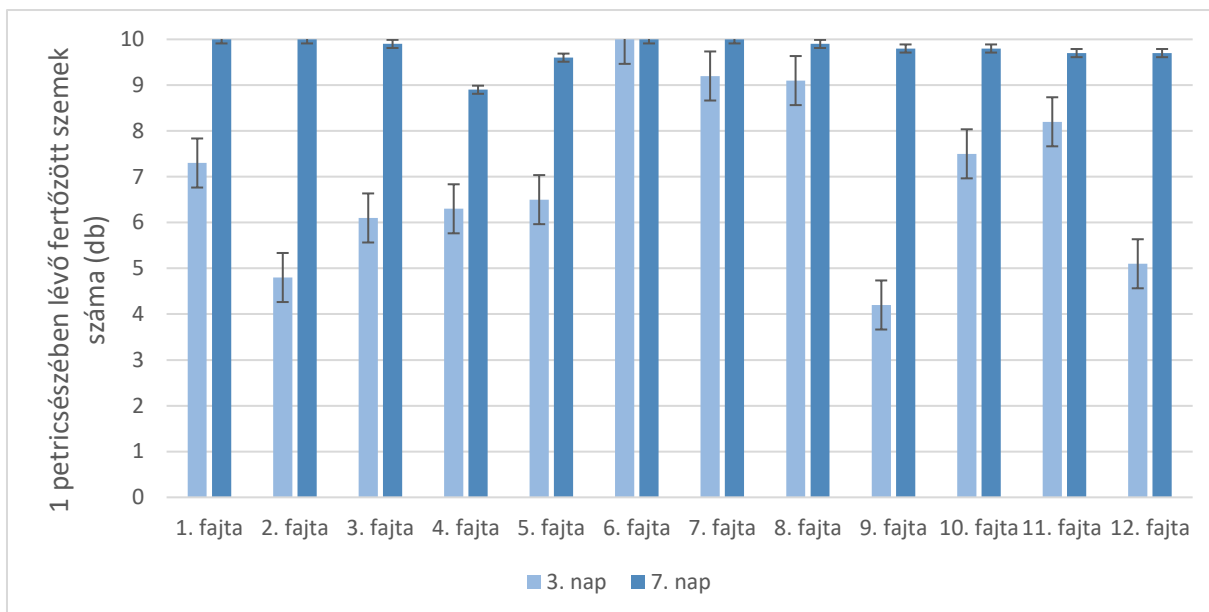
A 7. ábra együttesen mutatja be a rovarkártételt és a fuzárium fertőzöttséget. Az ábra jól szemlélteti, hogy a legtöbb esetben a fuzárium fertőzöttséget mutató vonal arányosan követi a rovarkártétel oszlopait. Azonban vannak kivételek, mint például a 2. fajta, ahol a vizsgált minták 83%-án volt rovarkártétel, ugyanakkor a csövek mindössze 2%-án jelent meg a kórokozó micéliuma. Szintén nagy a különbség a 8. és a 9. fajta esetében is, ahol a 70-80% közötti rovarkártétel mellett a csövek fertőzöttsége mindössze 2-2,5%. A 12. fajtánál volt a legmagasabb a rovarkártétel, ugyanakkor a csövek fertőzöttsége nem kiemelkedően magas, mindössze 2%, ami az egyik legalacsonyabb érték. Az 5. fajtánál a csövek 5,5%-án jelent meg a micélium, ami a fuzárium fertőzöttség tekintetében a legmagasabb érték. Mindez jelentős rovarkártétellel párosul, a vizsgált csövek 83%-án volt látható rágásnyom.



7. ábra
A rovarkártétel és a fuzárium fertőzöttség átlagának és szórásának együttes alakulása.

4.2. A laboratóriumi vizsgálatok eredményei

A 8. ábra a vizsgált minták belső fuzárium fertőzöttségét mutatja be, amelyen a fajták belső fertőzöttségének átlagai szerepelnek, amit a 3. és a 7. napon jegyeztem fel. Az ábrán (8. ábra) jól látható, hogy a legtöbb fajta esetében már a 3. napon a szemek több, mint a feléből megjelent a kórokozóra jellemző micélium. Egyedül a 2., és a 3. fajtánál fordult elő, hogy átlagosan 5-nél kevesebb szemből nőtt ki micélium. Ugyanakkor 6., 7., és a 8. fajtánál már a 3. napon közel az összes fertőzött szemből kinőtt a micélium. A 10. ábrán a 8. fajta látható a 7. napon. A 7. napra a 4. fajta kivételével az összes fajtánál a petricsészékben átlagosan több, mint 9 szemből nőtt ki micélium. Az 1., 2., 6., és 7. fajtánál kivétel nélkül, az összes szem fertőzött volt. A legalacsonyabb belső fertőzöttséget a 4. fajta esetén tapasztaltuk, melyet a 9. ábra mutat be. Ott 1 petricsészében átlagosan 8,9 db fertőzött szem volt a 7. napon.



8. ábra
A fertőzött szemek átlaga és szórása a 3. és a 7. napon, fajtánként



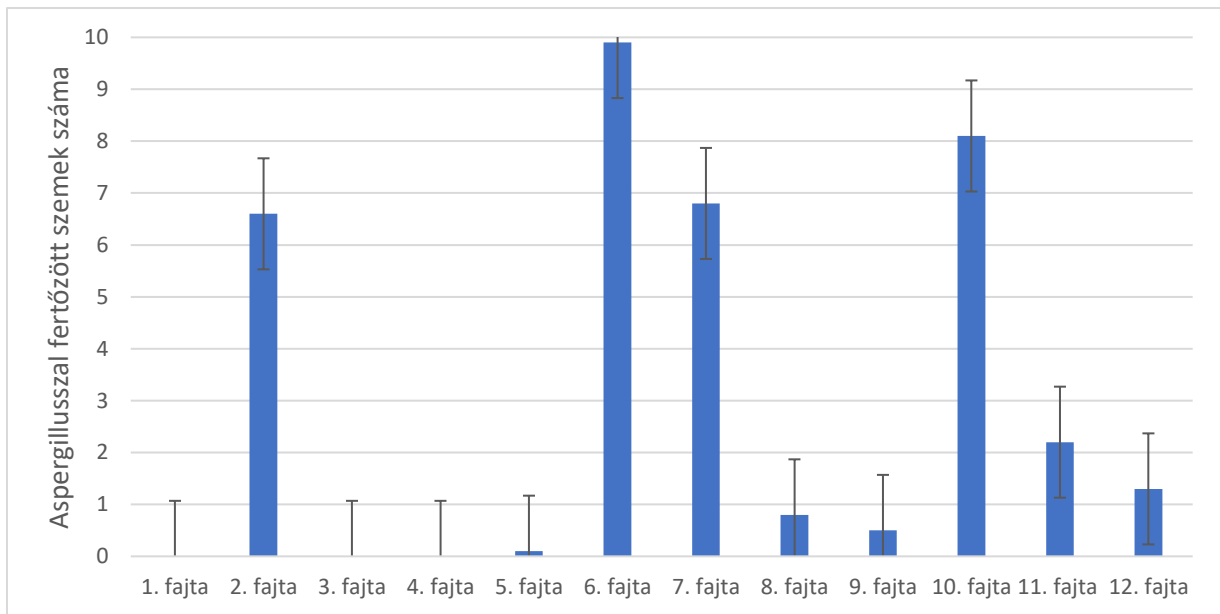
9. ábra
A 4. fajta belső fuzárium fertőzöttsége a 7. napon fuzárium szelektív, Nash and Snyder féle táptalajon (Pálvölgyi, 2022)



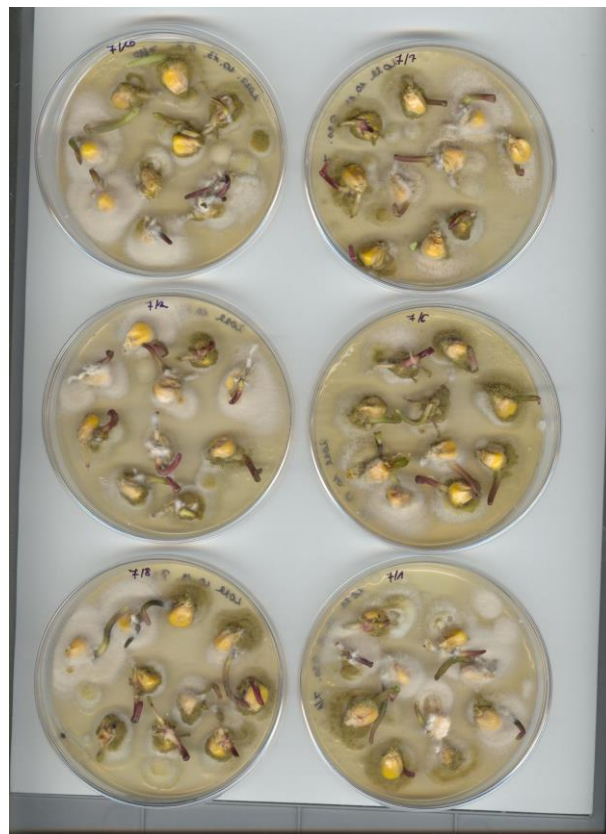
10. ábra

A 8. fajta belső fuzárium fertőzöttsége a 7. napon, fuzárium szelektív, Nash and Snyder féle táptalajon (Pálvölgyi, 2022)

9 fajta esetén a 7. napra a fuzárium mellett *Aspergillus*ra jellemző micélium is megjelent, melyet a 11. ábra mutat be, ahol ebben az esetben is a 10 ismétlés átlagolt értékei szerepelnek. Jól látható, hogy a 6. fajta rendelkezett a legmagasabb belső fertőzöttséggel. Ennél a fajtánál átlagosan 9,9 szemből nőtt ki micélium és a konídiumok, amelyektől el lehetett különíteni a fuzáriumtól. Jelentős volt még a fertőzés a 2., 7., és a 10. fajtánál is. A 12. ábrán a 7. fajta látható a 7. napon, ahol átlagosan 6,8 szem volt fertőzött. A többi fajtánál nem volt jelentős *Aspergillus* fertőzés, ugyanis átlagosan mindössze 1-2 szemből nőtt ki a micélium.



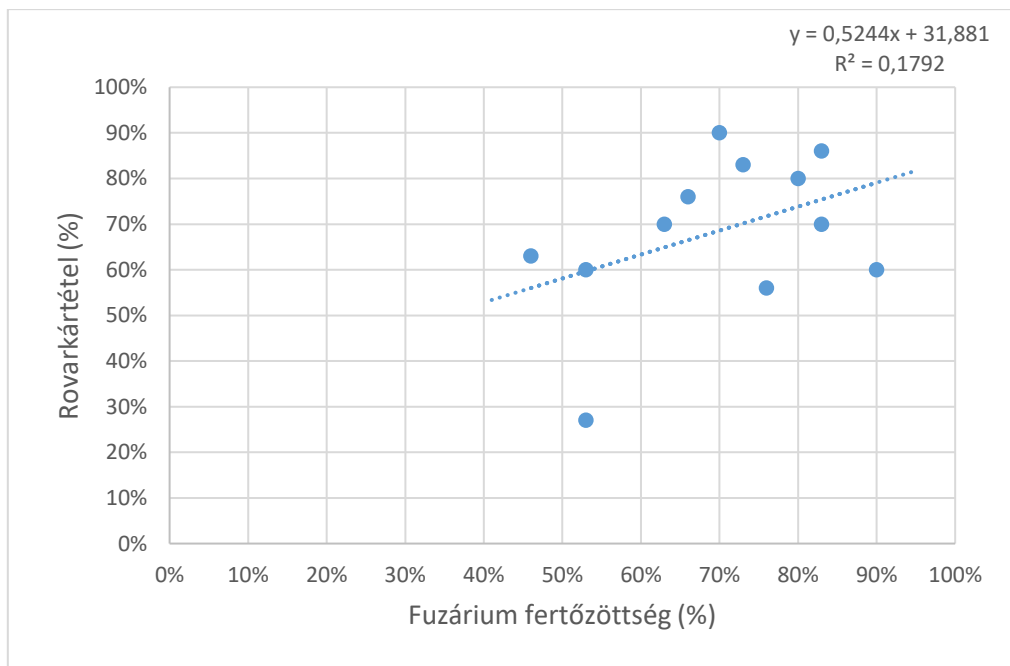
11. ábra
Aspergillus belső fertőzöttséget mutató szemek számának átlaga és szórása a 7. napon, fajtánként



12. ábra
Aspergillus fertőzöttség a 7. fajtánál a 7. napon (Pálvölgyi, 2022)

4.3. A szántóföldi rovarkártétel és a szántóföldi fuzárium fertőzöttség közti összefüggés

A szántóföldön vizsgált rovarkártétel, és a fuzárium fertőzöttség közti összefüggést a 13. ábra mutatja be. Az összehasonlíthatóság érdekében a fuzárium fertőzöttségénél azt vettem figyelembe, hogy a szántóföldön vizsgált csövek hány százalékán volt látható fuzáriumra jellemző micélium, 13. ábrán látható diagramon is ezek az értékek szerepelnek. A pontokra illeszthető egyenes meredekségéből arra következtethetünk, hogy a csöveken lévő rovarkártétel és a fuzárium fertőzöttség összefügg, köztük egyenes arányosság áll fenn. Ezt bizonyítja a korrelációs együttható is, melynek értéke 0,423. A 13. ábrán az R^2 értéke is szerepel, amely 0,1792. Ez azt jelenti, hogy a fuzárium fertőzöttség a rovarkártétel varianciájának 18%-át magyarázza, a variancia további 88%-át más tényezők eredményezik.



13. ábra
A rovarkártétel és a fuzárium fertőzöttség közti összefüggés

5. Következtetések, javaslatok

Diplomadolgozatom elkészítése során 12 kukorica genotípus külső és belső *Fusarium* fertőzöttségét vizsgáltam szántóföldi és laboratóriumi körülmények között. A szántóföldi munka során a genotípusokon tapasztalt rovarkártételt is felvételeztem, így vizsgálataim kiterjedtek a külső *Fusarium* fertőzés és a rovarkártétel közti összefüggés elemzésére. A szakirodalommal összevetve a vizsgálat eredményei alapján az alábbi következtetések vonhatók le:

- Hertelendy (2021) megállapításai szerint a fuzáriózis megjelenésére minden évben számítanunk kell. Ennek oka, hogy a hazai vetésszerkezet lehetővé teszi, hogy minden évben bőven rendelkezésre álljon fertőzési forrás. A szántóföldi vizsgálatok eredményei is ezt mutatják, hiszen a parcella előveteménye kukorica volt, és vizsgált fajták mindegyikén jelen volt csőpenész.
- Nagy (2019) szerint nincs 100%-osan ellenálló fajta a fuzáriózissal szemben, ugyanakkor nemesítői munkával különböző fogékonyságú fajták és hibridek érhetők el. Kísérletem során is ezt tapasztaltam, hiszen a fajták különböző mértékben fertőződtek a fuzárium nemzetség kórokozói által. Ugyanezt bizonyítja az, hogy több fajtánál (2., 8., 9., 11., 12.) a viszonylag magas százaléku rovarkártétel ellenére a fuzárium fertőzöttség nem volt kiemelkedően magas.
- Horváth (2017) szerint a kukorica termésén károsító hernyók rágása nyomán szinte mindig kialakul fuzárium fertőzés. Vizsgálataim eredményei is megerősítik ezt az állítást, hiszen pozitív összefüggést tapasztaltam a rovarrágás és a fuzárium fertőzés között. Ezzel szemben a korrelációanalízis eredménye szerint ez az összefüggés gyengének minősül.
- Munkvold (2003) megállapítása szerint a *Fusarium* fajok gyakran okoznak tünetmentes magfertőzést. A laboratóriumban vizsgált belső fuzárium fertőzöttség vizsgálata igazolta ezt az állítást, hiszen a 4. fajta kivételével az összes fajtánál a szemek több, mint 90%-ából kinőtt a *Fusarium* fajokra jellemző micélium.
- Dobolyi és munkatársai (2013) Magyarországon gyűjtött kukoricaminták elemzése során a minták 63,5%-án tapasztalták az *Aspergillus flavus* jelenlétét. Laboratóriumi munkám során ehhez hasonlóan magas arányban volt jelen a kórokozó, a 12 fajtából 9 fajta volt fertőzött.

A jövőben célszerű lenne úgy is elvégezni a vizsgálatokat, hogy a fajták inszekticides, fungicides, illetve mindkét kezelésben részesülnek. A laboratóriumi vizsgálatokat jól kiegészítené a *Fusarium* és *Aspergillus* fajok pontos meghatározása PCR-eljárással, továbbá a kukorica mintákban jelenlévő mikotoxinok koncentrációjának meghatározása.

6. Összefoglalás

A kukorica termesztése fontos nemzetgazdasági tényező, hiszen a hazai mezőgazdaságban ez az egyik legnagyobb mennyiségben termesztett és exportált gabonanövény. Ráadásul az utóbbi években a kukorica tételekből származó jövedelem jelentősen megnőtt, ezért nemcsak a kereslet, hanem a gazdálkodók igénye is az, hogy a lehető legnagyobb termést takarítsák be. A kukorica növényvédelmében meghatározó betegség a fuzáriózis, amely jelentősen csökkenti a bevételt nemcsak termés csökkentő hatásával, hanem mikotoxin termelésével is. A mikotoxinok nemcsak az állati, hanem a humán szervezetre is veszélyt jelentenek. Az fuzáriózis elleni védekezés kifejezetten nehéz feladat, hiszen itt a megelőző védekezés a hangsúlyos. A betegség kialakulásának esélye több módon csökkenthető, ide tartozik például a fajtaválasztás, hiszen a különböző hibridek eltérő fogékonyságúak a betegséggel szemben. A rágó kártevők károsítása szintén közrejátszik a fertőzés kialakulásában, tehát az ellenük való védekezés szintén egy megelőző védekezési mód. További probléma, hogy az éghajlatváltozás okozta hőmérséklet növekedés kedvez a trópusi, szubtrópusi klímát kedvelő kórokozók kontinentális éghajlaton való terjedésének. Ilyen kórokozók az *Aspergillus* fajok, melyek egyre gyakrabban fordulnak elő hazánkban, az általuk termelt aflatoxinok pedig a legveszélyesebb csoportba tartoznak.

Munkám során 12 kukorica genotípus *Fusarium* fajokkal való fertőzöttségét vizsgáltam szántóföldi és laboratóriumi körülmények között. A szántóföldön a külső fertőzöttség mellett a rovarkártételt, valamint a kettő közti összefüggést elemeztem. A laboratóriumi munkám során a 12 genotípus *Fusarium* és *Aspergillus* nemzetségbe tartozó fajok által okozott belső fertőzöttségét vizsgáltam.

A szántóföldi vizsgálatok eredményei rámutattak, hogy a fajták fuzáriózissal szembeni érzékenysége között nagy a különbség, továbbá, hogy a viszonylag nagymértékű rovarkártétel nem minden esetben párosul magas fuzárium fertőzöttséggel. A rovarkártétel és a fuzárium fertőzöttség közti összefüggés vizsgálata azt mutatta, hogy közöttük egyenes arányosság áll fenn, a korrelációanalízis viszont gyenge kapcsolatot mutatott közöttük. A laboratóriumi vizsgálatok kimutatták, hogy a kukoricaszemek látens fertőzése jelentős lehet, hiszen a legtöbb vizsgált fajta belső fertőzöttsége 90% feletti volt. Ugyanez a vizsgálat igazolta az *Aspergillus flavus* hazai jelenlétét, hiszen összesen 9 fajtából kimutatható volt a kórokozó jelenléte. Összességében tehát elmondható, hogy a fuzáriózis valóban jelentős betegsége a kukoricának, hiszen kártétele kisebb-nagyobb mértékben, de minden évben és minden fajtán jelentkezik.

7. Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani diplomadolgozatom elkészítésében nyújtott segítségéért konzulensemnek, Dr. Körösi Katalin Orsolyának. Útmutatásával, szakmai tanácsaival és segítőkész támogatásával végig nagy segítséget nyújtott munkám során.

Köszönettel tartozom továbbá Fejős Andrea Máriának, amiért lehetővé tette a munkát az általa beállított kísérletben, illetve a szántóföldi felvételezésben nyújtott segítségéért.

Végül pedig szeretnék köszönetet mondani családomnak az általuk nyújtott támogatásért és türelmükért.

8. Irodalomjegyzék

- Abdel-Wahhab, M. A.- Said, A.- Huefner, A. (2005): NMR and radical scavenging activities of Patuletin from *Urtica urens* against aflatoxin B1. *Pharm Biol* 43, 515-525.
- Baranyi N. (2016): *Mezőgazdasági és klinikai szempontból jelentős aflatoxin-termelő Aspergillus izolátumok jellemzése és genetikai variabilitásának vizsgálata.* (Doktori értekezés) Szeged: Biológiai Doktori Iskola.
DOI: 10.14232/phd.2884
- Biró Gy.,-Tamás J.-Borbély J.-Mézés L.-Hunyadi G.(2012): Mikotoxin-termelő *Fusarium* fajok okozta káros környezeti hatások csökkentésének lehetőségei. *Acta Agraria Debreceniensis*, 50, 159-164.
- Chen, A.- Tofazzal, I.- Zhong-hua, M. (2022): An integrated pest management program for managing fusarium head blight disease in cereals. *Journal of Integrative Agriculture* 21(12) pp. 3434-3444.
- Chen, X-Abdallah, M.-Landschoot, S.-Audenaert, K.-De Saeger, S.-Chen, X.-Rajkovic-A.(2023): *Aspergillus flavus* and *Fusarium verticilloides* and their main mycotoxins: Global distribution and scenarios of interactions in maize. *Toxins* 2023, 15(9) 557.
DOI: 10.3390/toxins15090577
- Dachbrodt-Saaydeh, S.- Vasileiadis, V.- Dijk, W.- Lefebvre, M.- Bénézit, M.- Colnenne, C.- Furlan, L.- Holb I.- Kierzek, R.- Leprince, F.- Newton, A.- Toqué, C.- Sattin, M.- Kudsk, P. (2015): Economic and environmental evaluation of IPM strategies in winter wheat and maize cropping systems (PURE 2011-15) Conference: XVIII. International Plant Protection Congress. Berlin, 2015 augusztus
- Darissa, O.- Adam, G.- Schaefer W. (2012): A dsRNA mycovirus causes hypovirulence of *Fusarium graminearum* to wheat and maize *European Journal of Plant Pathology* 134 pp. 181-189.
- Dobolyi Cs.-Sebők F.-Varga J.-Kocsubé S.-Szigeti G.-Baranyi N.-Szécsi Á.-Tóth B.-Varga M.-Kriszt B.-Szoboszlay S.-Krifaton C.-Kukolya J.(2013): Occurrence of aflatoxin producing *Aspergillus flavus* isolates in maize kernel in Hungary. *Acta Alimentaria*, 42(3), 451-459.
- Domijan M.(2013): Recent data on the mechanism of fumonizin B1 neurotoxicity, *Krmiva : Časopis o hranidbi životinja, proizvodnji i tehnologiji krme*, 55(1), 25-33.
- Doshi, P.- Sera, B. (2023): Role of Non-Thermal Plasma in Fusarium Inactivation and Mycotoxin Decontamination. *Plants* 2023 12, 627
DOI: 10.3390/plants12030627
- Erenstein, O.- Jaleta, M.- Sonder, K.- Mottaleb, K.- Prasanna, B. M. (2022): Global maize production, consumption, and trade: trends and R&D implications. *Food Security* 14:1295–1319
DOI: 10.1007/s12571-022-01288-7
- Fertő, I.- Szerb, A. B.: A külkereskedelmi költségek és az élelmiszerválság hatása a magyar kukoricaexportra. *Gazdaság*, 65(3), 197-208.
- Gadóc Gy. (2021): *Az Egyesült Államok a világ legnagyobb kukoricatermelője* Agroforum. Letöltés dátuma: 2023 február 15. Forrás: <https://agroforum.hu/agrarhirek/novenytermesztes/az-egyesult-allamok-a-vilag-legnagyobb-kukoricatermeloje/>
- Gwirtz, J. A.- Garcia-Casal, M. N. (2013): Processing maize flour and corn meal food products. *Annals of the New York Academy Science*. 1312(2014) 66-75.
DOI: 10.1111/nyas.12299
- Hertelendy P. (2021): Fuzáriózis- védekezési lehetőségek. *Agroinform* 32(5), 26-30.
- Horváth D. (2017): A magyarországi kukorica állományok mikotoxin terheltségét kiváltó kártevők és megfékezésük lehetőségei, *Agrártudományi Közlemények* 2017/72, 59-64.

Illés Á.- Bojtor, Cs.- Ragán, P.- Nagy, J.: Precíziós növénytermesztés növényvédelmi aspektusai. Prega Science 2020 Scientific Conference on Precision Agriculture & Agro-Informatics, Budapest, 2020 január

Jabran, K.- Farooq, M. (2007): Maize: cereal with a variety of uses
DOI: 10.13140/2.1.3899.4725

Kálmán A.(2019): *Így támad és védhető ki a fuzárium* Mezőhír Letöltés dátuma: 2023. február 15 Forrás: <https://mezohir.hu/2019/09/24/igy-tamad-es-igy-vedheto-ki-a-fuzarium/>

Keszthelyi S.- Nowinszky L.- Puskás, J. (2006): Spreading examination of European corn borer (*Ostrinia nubilalis* Hbn.) flight types in the background of Péczely's climate districts. *Cereal Res. Commun.* 34(4) 1283-1290.

Keszthelyi S.- Kerepesi I.- Pál-Fám F.- Pozsgai J. (2008): Jégvert és golyvástüszög (*Ustilago maydis* (DC.) Corda) fertőzött kukorica csírázás és beltartalom vizsgálata. *Növényvédelem* 44(9) 435-439.

Kovács F. (2010): Agrártermelés – Tápláléklánc – Mikotoxinok. [In: Kovács M. (szerk.) Aktualitások a mikotoxin kutatásban.] MTA Állattenyésztési és Állathigiéniai Kutatócsoport. Kaposvár. 7–12.

Kovács M.(2018): Mikotoxinok hatása az életminőségünkre. *Acta Agraria Kaposváriensis*, 22(2), 33-45.

Kovács Zs.- Szabó K. (2017): Bóly szénhidrogén koncesszióra javasolt terület komplex érzékenységi és terhelhetőségi vizsgálati jelentése

Kuzdralinski, A.- Kot, A.- Szczerba, H.- Nowak, M.- Muszynska, M. (2017): A review of conventional PCR assays for the detection of selected phytopathogens of wheat. *Journal of Molecular Microbiology and Biotechnology*, 27(2017) pp. 175-189.

Lehoczki-Krsjak Sz. (2013): *Tebukonazol és protiokonazol hatóanyagok mennyiségének, transzlokációjának, bomlásának és kalászfuzáriózis elleni hatékonyságának vizsgálata búzában különböző kijuttatási módszereknél.* Doktori (Ph. D.) értekezés, Szegedi Tudományegyetem, Szeged, 145 p.
DOI: 10.14232/phd.1748

Leslie, J. F.- Summerell, B. A. (2013): An Overview of *Fusarium*. In: Brown, D. W., Proctor, R. H. (eds.). *Fusarium: Genomics, Molecular and Cellular Biology.* Caister Academic Press. p. 1-9.

Márton L. (2013): *Hagyományos- és hidegtűrő kukorica hibridek gyomnövényekkel való versengésének vizsgálata.* Doktori (Ph. D.) értekezés, Pannon Egyetem, Keszthely, 149 p.
https://konyvtar.uni-pannon.hu/doktori/2013/Marton_Lenard_dissertation.pdf

Munkvold, G.P.- Proctor, R.H.- Moretti, A. (2021): Mycotoxin production in *Fusarium* according to contemporary species concepts. *Annual Review of Phytopathology* 59: 373-402 p.

Munkvold, G. (2003): Epidemiology of *Fusarium* Diseases and their Mycotoxins in Maize Ears. *European Journal of Plant Pathology* 109(7) 705-713 p.
DOI: 10.1023/A:1026078324268

Nagy J. (2010): A kukoricatermesztés jelene és jövője. *Növénytermelés* 59 (3) 85-111. p.

Nagy V. (2019): *Terméspotenciál – termésstabilitás – termésbiztonság nemesítő szemmel* Agroforum. Letöltés dátuma: 2023 február 18. Forrás: <https://agroforum.hu/lapszam-cikk/termespotencial-termesstabilitas-termesbiztonsag-nemesito-szemmel/>

O'Donell, K.- Whitaker, B. K.- Laraba, I.- Proctor R.H.- Brown, D. W.- Broders, K.- Kim, H. S.- McCormick S. P.- Busman, M.- Aoki, T.- Torres-Cruz, T.J.- Geiser, D. M. (2022): DNA Sequence-Based identification of *Fusarium*: A Work in Progress. *Plant Disease* 106:1597-1609.

Palazzini, J. M.- Ramirez, M. L.- Torres, A. M.- Chulze, S. N. (2007): Potential biocontrol agents for *Fusarium* head blight and deoxynivalenol production in wheat *Crop Protection* 26, pp. 1702-1710

Pereyra, S.A.- Dill-Macky, R.- Sims, A.L. (2004): Survival and inoculum production of *Gibberella zeae* in wheat residues. In: Canadian Journal of Plant Pathology, 88 (7) 724–730. p.

Petrányi A.-Boros N.-Bodnár I. (2016): Élelmiszerek mikotoxin szennyezettségének értékelése. *International Journal of Mathematical Engineering and Management Sciences*, 1(2) 90-96.

Rajli V. (2019): *A T-2 mikotoxin sejtkárosító hatásának kimutatása in vitro és in vivo kísérletekben.* (Doktori értekezés) Kaposvár: Mikotoxinok az Élelmiszerláncban Kutatócsoport.
DOI: 10.17166/KE2019.009

Ranum, P. – Pena-Rosas, J.P. – Garcia-Casal, M. N. (2014): Global maize production, utilization, and consumption
DOI: 10.1111/nyas.12396

Sárvári M. (2021): *Még nem az 50 t/ha kukorica a cél... De a termés értékét Ön is növelheti: a betakarítás technológiája* AgrárUnió. Letöltés dátuma: 2023 február 12.
Forrás: <https://www.agrarunio.hu/hirek/novenytermesztes/7558-meg-nem-az-50-t-ha-kukorica-a-cel-de-a-termes-erteket-on-is-novelheti-a-betakaritas-technologiaja>

Simkó A.- Veres Sz. (2021): *A kukorica fuzáriózisa és a nitrogénellátás összefüggései* MezőHír Letöltés dátuma: 2023 szeptember 19. Forrás: <https://mezohir.hu/2021/08/06/kukorica-fuzariumos-kiserletek-mezogazdasag/>

Szécsi Á.- Érsek T.- Varga J. (2003): A gombák filogenetikai rendszere. 71–137. p. In: Jakucs E., Vajna L. (Szerk.): Mikológia. Budapest: Agroinform Kiadó, 477 p.

Szécsi Á.- Szőke Cs. (2023): Fuzariológia: A *Fusarium*-nemzetség biológiája (1). *Növényvédelem* 84(N. S. 59): 6. 248-256 p.

Szigeti Gy. (2018): *Az Aspergillus nemzetség átfogó filogenetikai analízise; potenciális mikotoxin-termelő és opportunista patogén fekete Aspergillus törzsek jellemzése.* (Doktori értekezés) Szeged: Biológiai doktori iskola.
DOI: 10.14232/phd.9958

Takácsné György K.- Lencsés E.- Takács I. (2013): Economic benefits of precision weed control and why its uptake is so slow. *Studies in Agricultural Economics*. 1. 40-46.

Zhang G.-Feng Y.-Song J.-Zhou X. (2018): Zearalenone: A Mycotoxin With Different Toxic Effect in Domestic and Laboratory Animals' Granulosa Cells, *Frontiers in Genetics*, 9:667

NYILATKOZAT

a diplomadolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Pálvölgyi Zsófia
A Hallgató Neptun kódja: AOS1EI
A dolgozat címe: Kukorica genotípusok *Fusarium* fertőzöttségének vizsgálata, valamint a fuzáriózis és a rovarkártétel közti összefüggés elemzése
A megjelenés éve: 2023
A konzulens intézetének neve: Növényvédelmi Intézet
A konzulens tanszékének a neve: Integrált Növényvédelmi Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott diplomadolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

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

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

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

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

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

Kelt: Gödöllő, 2023. november 6.


Hallgató aláírása


NYILATKOZAT

Pálvölgyi Zsófia (A0S1E1) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A diplomadolgozatot a záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom¹.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*2}

Kelt: Gödöllő, 2023. november 4.



belső konzulens

¹ A megfelelő aláhúzendó.

² A megfelelő aláhúzendó.