

DIPLOMADOLGOZAT

Püski Livia
Mezőgazdasági biotechnológus MSc

Gödöllő
2024



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Mezőgazdasági biotechnológus Szak

**Generatív növényi részek Fusarium gombával való fertőzésének
vizsgálata kukorica hibrideken**

Belső konzulens:	Dr. Fóti Szilvia egyetemi docens
Készítette:	Püski Livia EXVARR levelező tagozat
Intézet/Tanszék:	Növénytermesztési- tudományok Intézet, Növényélettan és Növényökológia Tanszék

Gödöllő
2024

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés, célkitűzések	3
2. Szakirodalmi áttekintés	5
2.1. A kukoricanövény (<i>Zea mays</i>) gazdasági jelentősége.....	5
2.2. A kukorica származása	6
2.3. A kukorica botanikai leírása, morfológiai jellemzőinek bemutatása	7
2.4. A kukorica rendszerezése, alfajainak, típusainak bemutatása	10
2.5. A <i>Fusarium</i> gombák, mint kiemelt jelentőségű növénypatogének	11
2.6. A kukoricanövény (<i>Zea mays</i>) <i>Fusarium</i> fertőzőes betegségei	13
2.6.1. <i>Gibberella</i> csőrothadás	14
2.6.2. A kukorica levelének és csuhélevelének <i>Fusarium</i> okozta betegségei	16
2.6.3. A kukoricanövény <i>Fusarium</i> gomba okozta szár-és gyökérrothadása	17
2.6.4. A <i>Fusarium graminearum</i> és <i>Fusarium verticillioides</i> , mint a kukorica leggyakoribb patogénjei	19
2.7. A mikotoxin kontamináció hatása a kukoricából előállított élelmiszerek és takarmányok biztonságosságára	20
2.8. A <i>Fusarium</i> fertőzés fotoszintetikus pigmentekre kifejtett hatása	21
3. Anyag és módszer	22
3.1. A munkahely bemutatása	22
3.2. A nemesítésben alkalmazott fuzárium fogékonysági kísérletek fontossága	22
3.3. A fuzárium fogékonysági kísérletekben részt vevő fontosabb hibridek jellemzése....	23
3.3.1. LNH01.....	23
3.3.2. LNH02	23
3.3.3. LNH03.....	23
3.3.4. LNH04.....	24
3.3.5. LNH05.....	24
3.4. A fuzárium fogékonyság vizsgálatára alkalmazott kísérlet beállítása	24
3.4.1. Csávázás	25
3.4.2. Gépi/kézi magszámolás.....	25
3.4.3. Térképrakás: a vetés előtti utolsó lépés	25
3.4.4. Vetőgép, vetés	26

3.4.5. Oltás	27
3.5. A hibridek fertőzöttségének összehasonlítása	28
3.6. Vegetatív részek vizsgálata labor körülmények között	29
3.6.1. SPAD mérések	29
3.6.2. Fotoszintetikus pigment-tartalom mérése	30
4. Eredmények és kiértékelésük	31
4.1. A mesterséges fertőződés eredményei a generatív részeken	31
4.1.1. LNH01 hibrid csőminták kiértékelése	31
4.1.2. LNH02-es hibrid csőminták kiértékelése	33
4.1.3. LNH03-as hibrid csőminták kiértékelése	35
4.1.4. LNH04-es hibrid csőminták kiértékelése	37
4.1.5. LNH05-ös hibrid csőminták kiértékelése	39
4.2. Szántóföldi felvételezések eredményei	41
4.3. Vegetatív részek laborban végzett vizsgálatának eredményei	42
4.3.1. SPAD mérések eredményei	42
4.3.2. Fotoszintetikus pigmenttartalom spektrofotométeres vizsgálatának eredményei	44
4.4. A kísérleti eredmények kiértékelése	45
4.4.1. Generatív részek vizsgálata	45
4.4.2. Vegetatív részek vizsgálata	46
5. Összefoglalás	48
6. Irodalomjegyzék	50
7. Köszönetnyilvánítás	54

1. Bevezetés, célkitűzések

A kukorica a világon a legsokoldalúbban felhasználható növény, ezért is lehet az, hogy a legnagyobb mennyiségben termesztett szántóföldi kultúrák közé tartozik világszerte. Kulcsfontosságú szerepe van az élelmezésben, a takarmányozásban, az élelmiszeriparban, illetve a bioüzemanyag gyártásban is. A kukoricanövény több formában is hasznosítható a biogáz nyersanyagaként, lehet akár friss, vagy silózott is, emellett pedig a csutka, vagy akár a száraz kukoricaszár is alkalmas erre a célra. A termesztett kukoricát legnagyobb mennyiségben haszonállatok takarmányozására használják fel. Magas keményítőtartalma miatt a szarvasmarhák táplálása során jól hasznosuló takarmánynövénynek bizonyul, illetve a szárnyasok esetében nemcsak energiaforrásként szolgál, hanem linolsav- és xantofill -tartalma miatt javíthatja a tojások minőségét. Humán élelmezés szempontjából előszeretettel fogyasztott növényünk, leginkább liszt, vagy dara formájában népszerű, de emellett puffasztott, vagy konzervált termékként is elterjedt manapság.

Kukoricanövény esetében a csőpenészesedés kórokozói többek között a legfontosabb és leggyakoribb növénybetegségek kiváltói közé tartoznak. Megemlítenék itt néhányat a gyakran előforduló betegségek közül. Ide tartozik például a *Kukorica csíkos mozaik vírus (MDMV)* okozta levélcsíkosodás, a *Kukorica golyvásüszög (Ustilago maydis)*, de gyakori még a *Cukornád mozaik vírus (SCMV)* is, ami szintén a levelek csíkosodását okozza. A fuzáriumos betegség általános velejárója a hozam mennyiségének jellemzően inkább negatív irányba történő változása, emellett pedig a termésminőség csökkenése okozhat még nagy károkat. Veszélyt jelenthet még a toxintartalom is, ami emberre és állatra nézve is komoly kockázatokat hordoz magában. Az aflatoxin köztudottan rákkeltő hatással bír, éppen emiatt több élelmiszeripari termék fogyasztását is rizikóssá teheti - ilyenek például a különféle gabonapelyhek, a kukorica alapú lisztből készült száraz termékek, de ide sorolható még akár az alkoholtartalma miatt már egyébként is egészséget károsító hatású sör is. A fertőzés nagymértékű megjelenése leronthatja mind az állattenyésztési, mind a növénytermesztési ágazat versenyképességét.

Ha a toxinnal szennyezett terményt akár részben alkalmassá szeretnénk tenni takarmányozási célra, az jelentősen megnövelné a költségeket. Különféle gyógyszerek és toxinkötők alkalmazása ugyan megoldást jelenthet, de ezek nagy mértékben terhelik az állatok emésztőrendszerét, illetve az immunrendszerüket is negatívan befolyásolhatják. További

negatív hozadék lehet még a szaporodási ráta csökkenése, illetve a szennyezett takarmányt elfogyasztó egyedek elhullása.

A fuzárium fajok közül a kukoricán leggyakrabban a *F. graminearum* fordul elő, ennél ritkábban megjelenő rokon fajok a *F. culmorum*, vagy a *F. pseudograminearum*. E fajok mind toxinokat termelnek, melyek közül a legveszélyesebbnek a deoxinivalenol (DON), a zearalenon (ZEN) és ezek származékai bizonyulnak.

Az ezen gombafajok által termelt toxinok másodlagos anyagcsere-termékek, amelyek erős biológiai hatással rendelkeznek és a legveszélyesebb méreganyagok közé tartoznak. Biológiai hatásuk igen sokféle lehet: mutagén, immunotoxikus, karcinogén, tetranogén, májat károsító, veséket károsító, neurotoxikus.

A kukorica csöveken megjelenő *Fusarium spp.* több módon is terjedhet, ilyenek lehetnek a madarak okozta csípések, a rovarok általi rágás, ám abiotikus tényezők is állhatnak a terjedés hátterében, viszont ezek az előbbieknél ritkábban fordulnak elő. A leggyakrabban sebzést okozó kártevők közé tartozik például a *Helicoverpa armigera*, vagy az *Ostrinia nubilalis*. Ezek közül is a *Helicoverpa* terjed agresszívebben, illetve minden esetben a növény generatív részeit károsítja, amely általában a cső bibeszálak felőli részére terjed ki. A rágás következtében szabadon álló sérülés keletkezik a csövön, ez biztosítja a fuzárium konídiumok könnyebb bejutását. A növény további sorsa függhet a bejutott kórokozóra való érzékenységtől, az adott év időjárási körülményeitől, de meghatározó lehet még a fertőzött egyed aktuális kondíciója is.

A fuzárium okozta csőpenészesedés az egyik legsúlyosabb tünettípus, amely ellen sajnálatos módon hatékony rezisztencia nemesítés még nem létezik. Erre a típusú betegségre jellemző az, hogy a cső végétől indulva húzódik a csőalap irányába, aminek következtében a csutka bebarnul, vagy akár szétmállik, a szemek töppedtek lesznek, elszíneződnek, majd micéliumszövedékek jelennek meg a csövön, melyek általában fehéres-lilás színűek.

Az általam végzett kísérletekkel azt vizsgáltam meg, hogy a kukorica csövön keresztüli fertőződése milyen hatással lehet a növény elsősorban generatív, másodsorban vegetatív részeire. Kutatási szempontból kiemelkedő prioritásúnak tartom ezt a témát, hiszen a vetőmag nemesítése során többek között az egyik legfontosabb szempont a minél nagyobb mennyiségű hozam produkálása, illetve silózáskor a növény zöldtömege játszik meghatározó szerepet.

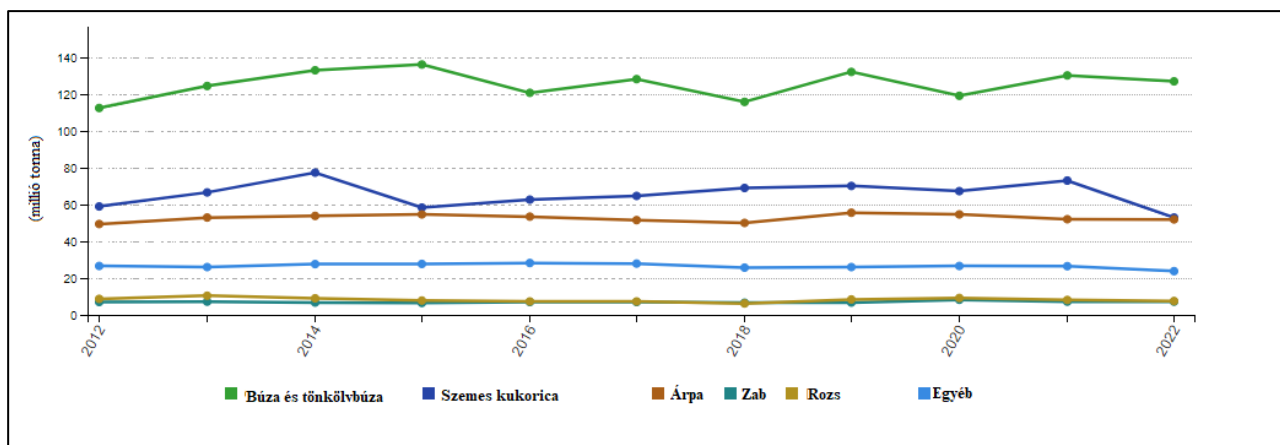
2. Szakirodalmi áttekintés

2.1. A kukoricanövény (*Zea mays*) gazdasági jelentősége

A kukorica (*Zea mays*), mely a világ harmadik legfontosabb gabonanövénye, rendkívül fontos mind az emberi ételmezés, mind az állati takarmányozás láncolatában. A fejlődő országokban emberek millió fogyasztják a kukoricát, mely kiváló fehérjeforrásként fontos alapját képezi a táplálkozásnak és a kalóriaszükséglet fedezésének. A kukorica mind az emberek, mind az állatok számára kitűnő fehérjeforrást jelent. A kukoricanövényt világszere körülbelül 130 millió hektáron termesztik, amely körülbelül 574 millió tonna termést eredményez. Ennek köszönhetően a kukorica kiemelt szerepet tölt be a világ mezőgazdaságában és kereskedelmében élelmiszeripari, takarmányozási és ipari nyersanyagként is (Mukhtar Iderawumi, 2018).

A kukoricanövényt kezdetben a trópusi vidékeken termesztették, ahol esővízzel oldották meg az öntözést. Mára azonban jelentősen megnőtt a kereslet iránta, mert a benne található szénhidrátok kiválóan hasznosítható biomasszát képeznek, így alkalmassá válik etanol üzemanyag előállítására, levelei és szára takarmányozás céljára hasznosíthatóak, a kukoricaszemek pedig a sütőipar és élelmiszer- valamint takarmánytermékek nyersanyagaként szolgálnak.

Jelentős a mezőgazdasági hatása az Európai Unió országaiban is (1. ábra). 2015-ben a kukorica termesztése körülbelül 15 millió hektáron zajlott az EU területén, mely termény főként élelmiszeripari, takarmányozási, bioenergetikai és egyéb ipari célokra felhasználható nyersanyagot biztosított. A kukorica termésének betakarítása céljából körülbelül 8,9 millió hektáron zajlott a termesztése, melynek előállításában Románia (29%), Franciaország (17%) és Magyarország (13%) voltak a főbb vezető országok. A szilázs előállítása céljából történő termesztés körülbelül 6,1 millió hektáron történt, beleértve a körülbelül 1,2 millió hektáron biogáz előállításának céljából történő kukorica termesztést. Ebben a fő termelők Németország (34%) és Franciaország (24%) voltak (Oldenburg et al., 2017).



1. ábra A kukorica a második legnagyobb mennyiségben termesztett gazdasági növény az Európai Unióban (Eurostat, 2023).

A kukorica 80%-os szénhidrát, 10%-os fehérje, 3,5%-os rost és 2%-os ásványianyagtartalommal rendelkezik összetételét tekintve. Emellett jelentős mennyiségben tartalmaz vasat és B-vitamint is ám igen csekély mennyiségben kalciumot, folátot és vasat. Azon országokban, ahol az anémia és a vashiányos állapotok mérsékelt vagy súlyos közegészségügyi problémát jelentenek, gyakori a kukoricaliszt és a kukoricadara vassal és egyéb vitaminokkal, ásványi anyagokkal való feldúsítása a mikrotápanyagok megfelelő mennyiségű bevitelének biztosításához és a vashiány megelőzéséhez (Ranum et al., 2014). Emellett a benne jelen lévő nem-hem vas felszívódását az étkezés során bevitt ételek egyes komponensei gátolhatják, melyek megtalálhatóak zöldségekben, kávéban (polifenolok), teában (oxalátok), tejben (kalcium) és tojásban (foszfor) (El-Sappah et al., 2022). Élelmezési szempontból igazán értékes a számos felhasználási módja teszi (Oladejo & Adetunji, 2012).

2.2. A kukorica származása

A kukorica rendszertanilag a pázsitfűfélék (*Poaceae*) családjának tagja, melyen belül a *Zea* nemzetség egyetlen faja, a *Zea mays* L. vad típusa ismert. A botanikusok többsége a kukorica őseit a gammafűvet (*Tripsacum dactyloides* L.) és a teosintet (*Euchlaena mexicana* Schrad) tartja. Fejlődésének korai, kezdeti szakaszában feltételezhetően nem váltivarú volt és virágzata is inkább a kalászos gabonafélékére hasonlított. A fejlődés későbbi időszakában a pelyvás kukorica átmeneti őse (*Zea mays* v. *tunicata*) volt az első, melyen a kukoricacső minden

szemét pelyva fedte. Származását tekintve a tudósok egybehangzóan elismerik, hogy a kukorica Amerikából származik, azonban a géncentrum elhelyezkedése megosztja a szakemberek véleményét. Egyesek Dél-Brazília és Paraguay területét vélik az őshazának, mások Közép-Amerika és Mexikó területén vélik az ősi géncentrum elhelyezkedését. Annyi bizonyos, hogy a legkorábbi kukorica-ősmaradványt Mexikóban találták, melynek korát 7000 évre becsülik. Azt azonban nem tudták eldönteni, hogy ezek már a domesztikált növényről származó csőmaradványok vagy egy még vadon termő növényei. A vad, ősi növényt nem ismerjük teljes egészében, ugyanis az idő során sosem találták meg. A kukorica rendkívüli plasztikusságának köszönhetően már Kolumbusz előtt észak felé a Szent Lőrinc folyóig, délen pedig Dél-Chiléig is elterjedhetett. Emellett Közép-Amerikában és az Egyenlítő mentén akár a 3600 méteres tengerszint feletti magasságon uralkodó körülményekhez is kiválóan alkalmazkodva terjedt tovább (Ranum et al., 2014).

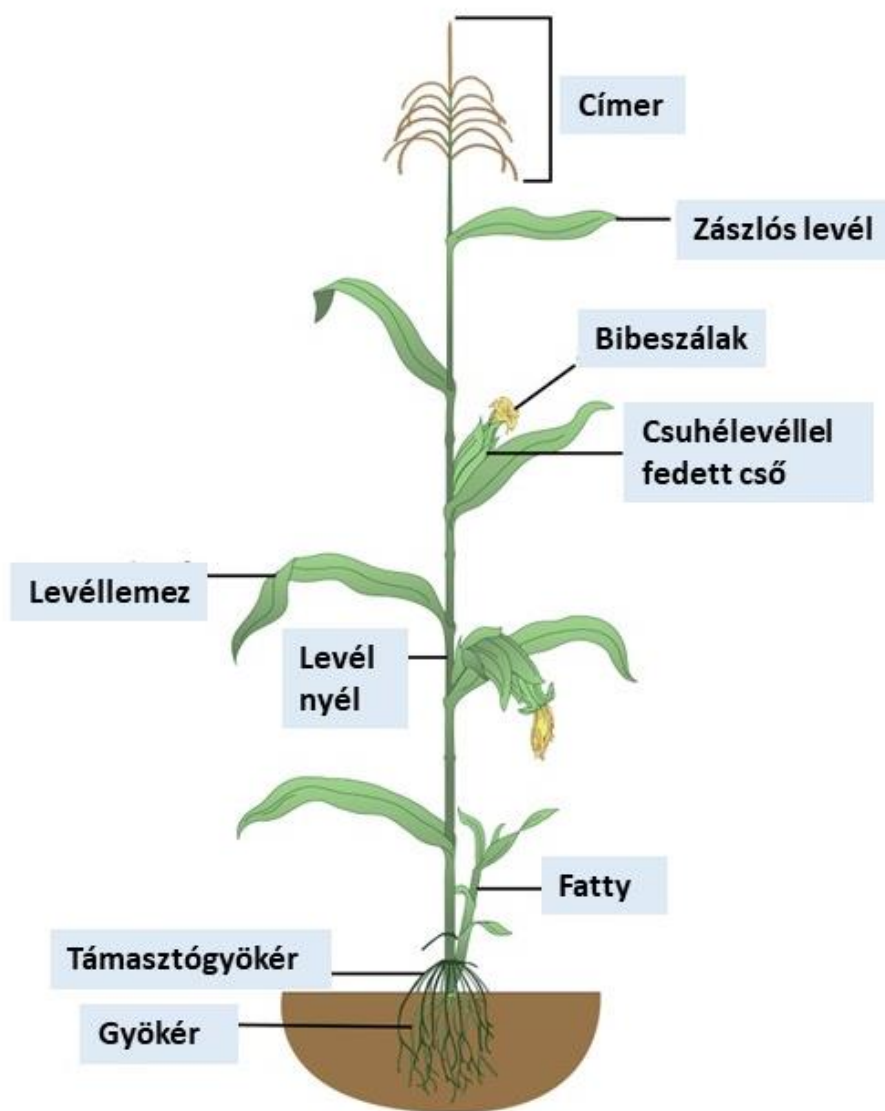
A kukoricát Európába Kolumbusz hozta be 1493-ban, amikor is megérkezett vele Spanyolországba. Ekkor Európában a kukorica kártevői, kórokozói nem voltak jelen, így termőképességét minden negatív hatástól mentesen kifejthette. Hamar nyilvánvalóvá vált, hogy a kukorica rendkívül értékes nemzeti kincs és rövid időn belül az európai kultúra részévé vált, ugyanis termőképességével minden addig ismert és termesztett gabonafélét messze megelőzte (Tenaillon & Charcosset, 2011).

A *Zea* nemzetségbe négy, gazdasági szempontból jelentős *Zea mays* L. faj tartozik. A *Zea mays* kromoszómaszámát tekintve $2n=20$. Általánosan elfogadott azon megállapítás, mely szerint a kukorica filogenetikáját az amerikai *Zea* és *Tripsacum* nemzetségek határozták meg, valamint, hogy a *Coix* nemzetség szintén hozzájárult a *Zea mays* fajok filogenetikai fejlődéséhez. A ma ismert kukoricanövény kialakulását olyan evolúciós erők mozgatták, mint a mutáció, hibridizáció, genetikai sodródás és szelekció. A szelekció folyamatát jelentősen befolyásolta az emberi közbeavatkozás, mely során a szelekció erősen az emberi felhasználás szempontjából fontos sajátosságokra fókuszált a variánsok kiválasztásánál (Kumar et al., 2012).

2.3. A kukorica botanikai leírása, morfológiai jellemzőinek bemutatása

A kukoricanövény 1-4 méterre megnövő gazdasági haszonnövény (2. ábra). Gyökérzete elsődleges és másodlagos (járulékos) gyökerekből felépülő rendszert képez. Az elsődleges gyökérzet a talaj mélyebb rétegeibe hatol, így akár 2 méter mélyre is kúszhat, míg a

másodlagos gyökök egy része a szikközépi szárból kiindulva dúsan elágazó gyökérzetet alakítanak ki közel a talajfelszínhez. Ezzel a növény a kevés esővíz és harmat hatékony felszívására is képes a finom hajszálgyökök révén, így alkalmazkodva a szárazabb, csapadékszegényebb időjárási körülményekhez. Az elsődleges gyökérzet mélyre hatoló részének kiemelt szerepe van a téli időszakban a vízkészlethez való hozzáférés biztosításában. A kukoricanövény a tenyészidő alatt a talajfelszínhez közeli nóduszokból folyamatosan fejleszti a járulékos gyökérzetét, melynek másik fontos szerepe az egyre magasabbra szökő szár kitámasztása, eldőléstől való védelme (Kumar et al., 2012).



2. ábra A kukoricanövény főbb morfológiai részeinek bemutatása (Forrás: <http1>, szerkesztett).

A kukorica leveleinek felépítése, megjelenése a pázsitfűfélékéhez hasonlít. A teljesen kifejtett növény szárán körülbelül 30 levél helyezkedik el, melyek száma, mérete és elhelyezkedése fajtánként eltérő lehet. A növény szárán a szárcsomókból kifejlődő levelek átellenesen helyezkednek el, melyek főbb részeit a levélhüvely, a levéllemez és a nyelecske adja. A levélhüvely a szarat átölelő rész, melynek a szilárdság fokozása a célja. A levéllemez meglehetősen széles, hosszúra nyúlik, széle éles, felülete pillásan szőrözött lehet egyes fajták esetében. A levéllemez szélessége és hosszúsága kísérleti eredmények alapján pozitív korrelációt mutat a kukoricanövény magasságával. A száron elhelyezkedő levelek helyzetükből adódóan eltérő asszimilációs tulajdonságokkal rendelkeznek.

A kukorica fotoszintézise a szántóföldi növényektől eltérően C4-es úton megy végbe, mely fotoszintézis típus meleg, száraz élőhelyeken alakult ki. A szén-dioxid a kukoricában először nem három, hanem négy szénatomos savakban kötődik meg. A kukoricanövény hatékonyan képes a párologtatása csökkentésére, melyhez a száraz, meleg időkben a levelek gázcsereenyílásait szinte teljesen zárva tartja.

Egylaki, váltivarú haszonnövényünk. A hímvirág virágai a bugavirágzatban (címer), míg a női virágok a levelek hónaljában kialakuló csövön, a torzsavirágzatban foglalnak helyet. A régebb óta termesztett fajták esetében, valamint a hibrid növényeknél a címer a cső virágzása előtt 4-12 nappal válik láthatóvá, míg a jelenleg népszerű fajták esetén már csak 2-4 nappal előtte jelenik meg (proterandria). Amikor a bibe megjelenik, a címerből nagy mennyiségű pollen ürül, melynek célja az önbeporzás elkerülése. A kukoricánál a megtermékenyítés jellemzően idegentermékenyülés (xenogamia) a szomszédmegporzás (geitonogamia) vagy kereszteződés révén jön létre. A csövön kifejlődő torzsavirágzat tengelyén párosával találhatóak a két-két nő ivarú virágból álló kalászkák. A virágok közül csak egyikből fejlődik bibeszál, ugyanis ellenkező esetben a szemsorok szabálytalan elhelyezkedést mutatnának a kukoricacsövön. A címervirágzás idején a női virágzat bibéi a csuhélevelek közül bújnak elő. Elsőként a cső tövében megbúvó virágok nyílnak, majd a folyamat halad a csúcs felé. Megtermékenyülést követően a bibe 1-2 nap alatt elszárad, ekkor színe halványzöldről barnássá válik. Amennyiben nem történik megtermékenyülés, a cső foghíjas lesz, a bibe pedig 10-14 napig is friss marad. A virágok megjelenését a nappalok, éjszakák váltakozása és a fotoperiódus is befolyásolja. Habár a kukorica eredetileg rövidnappalos növény volt, kiválóan alkalmazkodott a hosszúnappalos körülményekhez. A fotoperiódus szempontjából napjainkban 3 típus különíthető el: hosszúnappalos, rövidnappalos és a fotoperiódusra érzékeny típus. Európában

főként a hosszúnappalos típust termesztik, mely a virágzás indukálásához 13 órás megvilágítást igényel (Kumar et al., 2012).

2.4. A kukorica rendszerezése, alfajainak, típusainak bemutatása

A kukorica rendszerezésének alapját Sturtevant fektette le 1899-ben, aki a szemtermés típusa szerint rendszerezte azt. Eszerint elkülönített pattogtatni való, kemény szemű, lisztes, lófogú, csemege-és pelyvás kukoricát. Az egyes osztályokba történő besorolásának alapját, a pelyvás kukorica kivételével, az endospermium összetétele, minősége és mennyisége képezte. Az endospermium a kukoricaszem tartalék tápanyaga, amelynek összetételét genetikai meghatározottság jellemzi (Hidvégi, 2008).

A kukoricaszemek másik fontos morfológiai tulajdonsága, mely a rendszerezés alapját képezheti, a szín. A kukoricaszemek színe a fehértől a sárgáig, a vörösön át a feketéig bármilyen árnyalatot felvehet. Az USA-ban főként sárga szemű kukoricát termesztnek, ugyanakkor Afrikában, Közép-Amerikában és az USA déli részein a fehér szeműt preferálják. A takarmányozás esetében is főként a sárga szemű kukoricát részesítik előnyben. További eltérés, mely szintén a klasszifikáció alapját képezheti az a kukoricaszem édessége, cukortartalma, mely függhet akár kukorica típusától, de a betakarítás idejétől is. A magas cukortartalommal rendelkező kukorica tárolása problémás, ezért lehetőségeinkhez mérten ajánlatos még frissen elfogyasztani.

Napjainkban számos országban, köztük például az USA-ban is a genetikailag módosított, herbicid-rezisztens kukorica (Bt kukorica, amely egy vagy több *Bacillus thuringiensis* fehérjét expresszál a kártevők elleni védekezés céljából) vált a fő termesztett típussá. Kezdetben az európai és afrikai országok ellenezték a génmódosított kukorica alkalmazását, azonban a Bt kukorica előnyeit látva engedélyezték a termesztését. 2011-ben a herbicid-rezisztens GM kukoricát 14 országban termesztették. 2012-re 26 herbicid-rezisztens kukorica típust hagyott jóvá az Európai Unió, és ebben az évben ezekből 30 millió tonna termést takarítottak be. A MON810 jelű GM kukorica termesztése 89000 hektáron zajlott sikeresen Európa 5 olyan országában, melyeket jelentős mértékben érintett a kukoricamolyok károkozása és ez befolyásolta a termés minőségét és mennyiségét (Ranum et al., 2014).

2.5. A *Fusarium* gombák, mint kiemelt jelentőségű növénypatogének

Az utóbbi évtizedekben a kórokozók kukoricatermesztésben való megjelenése egyre nagyobb problémát jelentett világszerte. Ezek közül a legjelentősebb gondokat a *Fusarium* nemzetség fajai okozzák, mely főképp ezen fonalas gombák kiváló alkalmazkodóképességének köszönhető. A *Fusarium* nemzetséget 1809-ben írta le először Link. Az elmúlt három évszázadban ezen nemzetség számos növényi patogén faja vált ismertté. A nemzetségbe sorolható gombafajok közvetlen módon képesek növények, emberek és állatok esetében is megbetegedés indukálására. A *Fusarium* nemzetség az *Ascomycota* törzsön belül az *Ascomycetes* osztály *Hypocreales* rendjéhez tartozik, míg a teleomorf *Fusarium* fajok főként a *Gibberella* nemzetséghez, valamint kisebb számban a *Hemanectria* és *Albonectria* nemzetségekhez sorolhatóak. A *Fusarium* a gombák gazdasági szempontból egyik legkiemeltebb nemzetsége a világon, melynek vizsgálatával számos tanulmány és kutatás foglalkozik. A nemzetségbe körülbelül 300, filogenetikailag elkülönült faj tartozik, melyek közül 20 faj esetében komplex és 9 esetben monotipikus filogenetikai elágazást azonosítottak. A *Fusarium* nemzetséghez többnyire a gabonanövényeket fertőző fajok tartoznak. A gazdasági szempontból a 101 legfontosabb gabonanövény közül legalább 81 esetében igazolt, hogy valamely *Fusarium* patogén képes a megfertőzésükre.

A *Fusarium* fajok okozta megbetegedéseknek számos és súlyos gazdasági hatása van, mely a termés mennyiségében, minőségében és az ezekből készült termékek elfogyasztása révén az ember és állat egészségi állapotában is jelentős károkat okozhatnak (Nayaka et al., 2011). A *Fusarium* fajok a kukorica több részét is képesek megfertőzni a csírázástól egészen az érésig terjedő időszak folyamán. Az infekció első tünetei között szerepel a hiányos kelés, tőszámhiány, és az ebből később következő hozamcsökkenés. Mint növényi patogének, a *Fusarium* gombák főként a gyökerek és szárak rothadását, vaszkuláris hervadást és/vagy a gyümölcsök rothadását okozzák. A későbbi fertőzés a kukoricacsövet érinti, melyen jelentős magvesztés alakul ki, ami szintén az előbb említett károkozáshoz vezet. A másik fő probléma a termés minőségének romlása, ugyanis ezen gombafajok bioaktív anyagok számos fajtáját termelik.

A folyamatos evolúciós nyomás hatására a különböző ökológiai rendszerek kolonizációjához és az ezekhez való alkalmazkodás elősegítésére a *Fusarium* nemzetség fajainak számos biológiai sajátossága módosult, így ezek bioszintetikus metabolizmusa is. Az adaptáció szerves

részét képezte ezen patogén gombák azon képességének kialakulása, hogy rendkívül változatos másodlagos bioaktív anyagok termelésére váltak képessé. A metabolitok között vannak, amelyek a növényekre, rovarokra és más mikroorganizmusokra is toxikus hatással bírnak, ezáltal kiemelt szerepet játszanak a gomba patogenezisében. Egyes toxinok a mezőgazdasági termékek kolonizációja során keletkeznek és halmozódnak fel nagyobb mennyiségben, így a szennyezett élelmiszerek emberi és állati fogyasztása egyaránt magas egészségügyi kockázatot jelent. A mikotoxinok hatása révén csökken a takarmány tápértéke, csökken az állatok takarmányhasznosítási képessége, emésztőszervrendszerbeli és ivarszervi elváltozások alakulnak ki, csökken a szaporulat (Szőke, 2011, Cortinovis et al., 2013). A mezőgazdasági növényeket fertőző *Fusarium* nemzetség fajai az öt legfontosabb mikotoxinból három előállítására képesek, melyek a deoxivalenol, fuminizinek és a zearalenon (Nayaka et al., 2011). Klinikai vizsgálatok igazolták, hogy számos fajuk opportunista patogén, így egészségügyi veszélyt jelentenek a gyenge immunrendszerű emberek egészségi állapotára is (Rampersad, 2020).

A *Fusarium* fertőzés kialakulását a környezeti tényezők is jelentősen befolyásolhatják, mint például a hőmérséklet, csapadékmennyiség, páratartalom és fényviszonyok is. A *Fusarium* inokulumok a meleg, nedves környezetet kedvelik, emellett épződésükhöz alacsony intenzitású UV fény is szükséges. A peritéciumok a 9-10. napban érnek, ám szántóföldön ennek ideje 2-3 hét is lehet. A peritéciumok fejlődése 15°C alatt megáll, ám a hőmérséklet emelkedésével újra fellendül. Az askospórák 13-33°C között keletkeznek, melyhez megfelelő fényviszonyok és magas páratartalom szükséges. A spórák szóródása esőzések után 1-3 nappal a legjelentősebb (Szőke, 2011). Arra, hogy az időjárásbeli faktorok milyen jelentős mértékben befolyásolják a *Fusarium* gombák által okozott betegségek kialakulását, jó példa a klímaváltozás hatása, mely napjainkban az időjárási mintázatnak és a hőmérséklet ingadozásának szignifikáns változását okozza. Mindezen extrém körülmények számos nem várt és egyre gyakrabban előforduló biotikus és abiotikus stresszt okoznak, amelyek kombinációja súlyos stresszhatásokat gyakorol a növényzetre. Ez kritikus a világ egyre növekvő élelmezési igényeinek szempontjából, ugyanis a mezőgazdasági haszonnövények bizonyos betegségei - mint a *Fusarium* gombák okozta fertőzések - drasztikus csökkenést eredményeznek a termés mennyiségében és minőségében egyaránt (Timmusk et al., 2020).

A *Fusarium*-fajok talaj- és vetőmagfertőző kórokozók. A talajban micéliummal és klamidiospórákkal is kitelelnek. Micélium alakjukkal a vetőmagban is áttelelhetnek, a szemek

felületén klamidiospóra és konídium formában vannak jelen. A vetőmag belsejében 3-4 évig, míg külső felületén 1-2 évig is életképesek (Inch & Gilbert, 2003). Habár a *Fusarium* fajok főként a talajban élnek, konídiumaik segítségével akár vízcseppek révén, az öntözőrendszerek által is terjedhetnek. Ugyanakkor légi úton történő terjedésük is gyakori, amikor a kiszáradás révén kiválóan alkalmas állapotba kerülnek az atmoszférikus szétterjedésre, mely során akár nagy távolságokra is elsodródhatnak. Sokkal ritkább terjedési módjuk a rovarok által meggyégbe, azonban ez a terjedési mód például fontos szerepet játszik a *F. verticillioides* esetében. Habár a *Fusarium* fajok számos, eltérő infekciós stratégiát alkalmaznak, ezen gombákat főként hemibiotrófnak tekintik, ami annyit jelent, hogy meghatározott környezeti körülmények között és bizonyos anyagcsere-jelzések fennállásakor képesek a nekrotróf átalakulásra.

2.6. A kukoricanövény (*Zea mays*) *Fusarium* fertőzőeses betegségei

Napjainkban a kukorica termésbiztonságának megőrzését az időjárási körülmények veszélyeztetik leginkább. Az aszályos évek számának növekedésével egyre jellemzőbbé vált a hiányos kelés, a gyenge növényállomány, megtermékenyülési és szemtelítődési problémák léptek fel a kukoricatermesztésben. A száraz feltételek, a meleg időjárási körülmények növelik továbbá az olyan patogének megjelenését, mint amilyenek a *Fusarium* gombák. A kukoricanövény *Fusarium spp.*-k általi fertőződése az egyik legfontosabb mezőgazdasági probléma az élelmezési és takarmányozási termelés esetén.

A *Fusarium* nemzetség számos faja fitopatogenikus és toxigenikus tulajdonságai révén károsítja a terményhozamot, a tápanyagértéket és a mezőgazdasági termékek higiéniai minőségét. Az általuk okozott megbetegedések közé tartozik a mag-, gyökér- és szárkorhadás, csőrothadás (Szőke, 2011), a kukoricacső csökevényes fejlődése. A fertőzés révén a betakarított termény *Fusarium* mikotoxinokkal keveredik, amelyek a növények, állatok és emberek esetében is mérgező hatásúak. A *Fusarium* patogének mindenhol jelen vannak és főként a talajművelési munkálatok időtartama alatt jelentenek különösen nagy veszélyt a növények fejlődésére. Az Európában jelenlévő, fő fertőzést okozó *Fusarium* fajok főként a *Discolour*, *Roseum*, *Sporotrichella*, *Gibbosum* és *Liseola* alfajok tagjai. Az ezen gombák által termelt leggyakoribb mikotoxinok, amelyek hatással vannak a kukoricára, a trichotecének, a zearalenon, fumonisinek és moniliformin (Oldenburg et al., 2017).

A kukoricanövény *Fusarium* gomba által okozott betegségei közül a kukoricacsövet érintő betegségek azok, melyek a legnagyobb hatást gyakorolják a természemek mennyiségére és minőségére, valamint az ebből előállított emberi és állati fogyasztásra szánt termékek tápanyagösszetételére (Gromadzka et al., 2016).

A kukoricacső *Fusarium* patogénnel való megfertőződése szorosan összefügg a növény speciális virágképződésével és a megporzás módjával. A kukorica a terminális végen fejleszti hím ivarú virágzatát, míg a levelek axiális részén fejlődik néhány női ivarú virágzat, ez utóbbi több száz kalászkát tartalmaz, melyek sorokba rendeződve találhatók a kukoricacső megvastagodott rachisnak nevezett részén, melyet számos folia bractum zár körbe, ezeket nevezzük pelyvának. A női ivarú virágzatot beborító, egészséges pelyva rendkívül hatékony gátat képez a fungális fertőzésekkel szemben, ugyanakkor átjárást is biztosít a kukoricacső alapjához. Fizikai sérülés esetén a gomba hozzáfér a csőhöz vagy akár a kukoricaszemek belsejéhez is, amennyiben azok is sebzést szenvedtek. A patogének külvilágból történő bejutása a fejlődő vagy érett kukoricaszemekhez viszonylag ritka, mely feltehetően a perikarp biokémiai anyagainak vagy struktúrájának köszönhető, amit a vastagság, a viaszréteg, a fenolsavakban gazdag sejtfal és a flavonoid pigmentek határoznak meg, melyek révén jelentős mértékben csökken a kórokozó bejutásának esélye (Duncan & Howard, 2010) (Venturini et al., 2016).

2.6.1. *Gibberella* csőrothadás

Európa hűvösebb és nyirkos klímájú területein a *Fusarium* fajok közül a *Discolour* alfajok által okozott fertőzések jellemzőek. A *Gibberella* csőrothadás, vagy másik nevén a vöröses csőrothadás okozója az esetek többségében a *Fusarium graminearum*. A kukoricacső ezen betegsége a cső hegyén kezdődik és kiváltója a patogén női ivarú virágok bibeszálain történő bejutása. A fiatalon kialakult bibeszálakon a spóra csírázását követően a bibeszál csatornákon keresztül jut be és elsődlegesen a kukoricacső hegyét fertőzi meg, majd a terjedés a csőalap felé folytatódik (3. ábra) (Oldenburg & Ellner, 2015).



1. kép: A *Gibberella* csőrothadás jellegzetes külső tünete a barnás, fehéres és pirosas elszíneződést okozó penészszerű megjelenése (Oldenburg & Ellner, 2015).

A tünetek először a csúcs felőli kukoricaszemeken válnak megfigyelhetővé, amelyek sápadtak vagy barnás, márványos, esetleg fehéres elszíneződést mutatnak. A későbbi fázisban kialakul a fehéres-rózsaszínes és pirosas árnyalatú penészszerű, amely a cső alapja felé terjed a külső korpusz és a pelyvák között. A kezdeti fertőzés és a betegség tipikus tüneteinek kialakulása, láthatóvá válása között általában néhány hét is eltelhet. A késői szezonban a *Gibberella* csőrothadás általában a kukoricacső alapjánál kezdődik, ugyanis ekkor a csuhélevelek közé infiltrálódó esővíz és a magas páratartalom kedvező körülményeket biztosít. A fertőzés előrehaladásával és a betegség kifejlődésével, a tünetek megjelenésével egyidejűleg a termelődő mikotoxinok akkumulációja is megkezdődik a kukoricacső érintett területein. A cső minél korábbi fejlődési stádiumában alakul ki a fertőzés, annál magasabb a termelődő mikotoxinok koncentrációja, mely egy top-down koncentráció grádiens eredményez a kukoricacső korpuszán belül. A *Discolour* alfajba tartozó *Fusarium* fajok általi fertőzés a kukoricaszemekben főként a B-típusú trichotecének, elsődlegesen a deoxinivalenol (DON), a nivalenol (NIV), valamint a zearalenon (ZEN) mikotoxinok termelődését eredményezi, melyek koncentrációja elérheti a mg/kg mértéket is. Az A-típusú trichotecének, mint a diacetoxyscirpenol (DAS), T2 és HT-2 termelődését főként a *Sporotrichella* és *Gibbosum* alfajok fajtái termelik, melyek ritkább előfordulásúak és a mikotoxinok koncentrációja is alacsonyabb, általában 1 mg/kg alatti (Dorn et al., 2011) (Ferrigo et al., 2016).

A melegebb, szárazabb éghajlatú területeken főként a *Liseola* alfajok csoportjába tartozó *Fusarium spp.*-k előfordulása gyakori és ezek okozzák a kukoricák vöröses csőrothadását. A patogének jellemzően a kukoricaszemeken keletkező sebzéseken keresztül hatolnak be,

melyet gyakran rovarok vagy madarak okoznak. A *Fusarium* csőrothadás okozta tipikus tünetek figyelhetők meg a *Fusarium verticillioides* fertőzés során, amely a kukoricaszemek barnás, fehéres vagy rózsaszínes elszíneződését okozza a random szemeken megjelenő penészszerűség révén (2. kép). Előfordulhat a kukoricaszemek tünetmentes, szisztematikus fertőzése is a *F. verticillioides* által, mely a fertőző gomba endofita-szerű viselkedése révén alakul ki. Stressz hatására a gomba endofita állapotból átkapcsol patogén állapotba, amely a makroszkópikus tünetek megjelenését eredményezi a fertőzött növényi szervben. A *F. verticillioides* fertőzés során a B típusú fumonisinek (FB1-FB4) jellemzőek (Santiago et al., 2015).



2. kép: A *Fusarium verticillioides* okozta csőrothadás külső jele a barnás, fehéres vagy halvány rózsaszínes penészszerűség random kukoricaszemeken vagy azok kisebb csoportján való megjelenése (Oldenburg & Ellner, 2015).

2.6.2. A kukorica levelének és csuhélevelének *Fusarium* okozta betegségei

A *Fusarium* infekció okozta tünetek főként a csuhéleveleken (3. kép), a levélhüvelyeken és a levélszélek mentén alakulnak ki, amelyeken a *Fusarium* patogén a leveleken nem okoz látható elváltozásokat a vegetációs időszakban. A korai vagy erős *Fusarium* fertőzés tünetei a levelek külsején mutatkoznak meg, ahol fehér micéliumok jelennek meg és/vagy rózsaszínes spóraréteg keletkezik, ám a fertőzés még nem érinti a cső belső korpuszát. *F. graminearum*, *F. verticillioides* és *F. proliferatum* spóraszuszpenzióval végzett kísérleti eredmények alapján

az üvegházi körülmények között tartott kukoricanövények csuhélevelére szórt spórapermet képes a levelek trichómáin és sztómáin át indirekt módon megfertőzni a növényeket. A betegség jellegzetes tünetei, mint a sárgás-szürkés és barnás foltok, a nektrotikus lézió okozta lyukak főleg a fiatal leveleken és alacsony előfordulási gyakorisággal jelennek meg, a fertőzés tünetmentes maradhat a még kibontakozásban lévő leveleknél. A megfigyelések alapján a csuhéleveleken keresztüli infekció *F. graminearum* esetén alakul ki a leggyorsabban (Nguyen et al., 2016).

A kukoricaleveleken is megfigyelhető a *Fusarium* toxin okozta kontamináció, itt a zearalenon- és trichotecén-termelő patogének jelenléte igazolódott számos kísérletes tanulmányban. Ugyanakkor azt is megfigyelték, hogy a kukoricalevél *Fusarium* toxin kontaminációja a növény korával emelkedik, a legnagyobb értéket a ZEN esetében mérték, mely 16,6 mg/kg volt (Oldenburg & Ellner, 2015).



3. kép: *Fusarium* fertőzés hatására a kukoricanövény csuhélevelein nekrotizáló foltok jelennek meg a kukorica reprodukív fázisa alatt (Oldenburg & Ellner, 2015).

2.6.3. A kukoricanövény *Fusarium* gomba okozta szár-és gyökérrothadása

A szárkorhadás által okozott veszteség a növény idő előtti elhalása miatti gyenge szemtelítődésből, valamint a szártörés és dőlés miatt be nem takarítható termésből tevődik össze. Magyarországon a fuzáriumos szárkorhadás először az 1960-as években okozott járványszerű megbetegedést (Szőke, 2011).

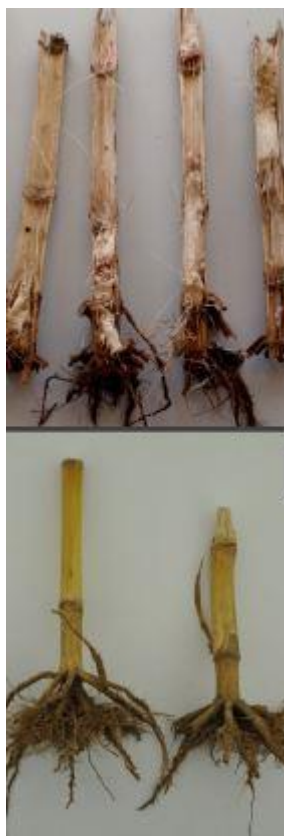
Az ilyen súlyos fertőzés kialakulásának fő feltételei a gazdanövény fertőzéssel szembeni fogékonysága, a kórokozó fertőzőképessége és a fertőzést lehetővé tevő, kedvező környezeti feltételek fennállása. A beltenyésztett vonalak és a hibridek jelentős eltérést mutatnak a fuzáriumos szárkorhadással szembeni ellenállóképességükben.

A kukorica szárának és gyökerének rothadása a növényben súlyos károsodásokat okozhat, amely korai öregedéshez és a szár meghajlásához vezethet. Az erős *Fusarium* fertőzöttség okozta szárothadás jellemző tünetei a szárbél rózsaszínes elszíneződése (4. kép). A fertőzés végső stádiumában a kórokozó teljesen felemésztí a szár belső szöveteit, így az üregessé, törékennyé válik. A fertőzés súlyossága attól is függ, hogy mely faj, milyen útvonalon és a növény mely növekedési stádiumában váltotta ki az infekciót. A szár és gyökér rothadását okozó leggyakoribb patogének Európában a *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. verticillioides* és *F. proliferatum* (Shin et al., 2014).

A fertőzés mértékét jelentősen befolyásolják a növénytermesztés során fellépő időjárási körülmények is. A fertőzés fokozódhat olyan stresszkörülmények hatására, melyek jelentős mértékben gyengítik a kukoricánövény védekezőképességét, mint például a szárazság vagy extrém magas páratartalom. A kukorica kezdeti fejlődési szakaszában fennálló vízhiány, a kedvezőtlen vízháztartású talaj mind fokozzák a szárkorhadás kialakulásának esélyét. A vizsgálatok szerint a tenyészidőszakban lehulló csapadék mennyisége szintén befolyásolja a betegség kialakulását. Amennyiben a június-július hónapokra eső virágzás és magkötődés fázisában kevés a csapadék, akkor jelentős mértékű szárkorhadás figyelhető meg (Szőke, 2011).

Ugyanakkor az olyan kártevők, mint a kukoricagyökér féreg, az európai kukoricafűró vagy a gyökerekkel táplálkozó drótférgek szintén elősegíthetik a szár, vagy a gyökerek rothadását. A megfertőződött növényi szárrészben a *Fusarium* fajok által termelt mikotoxinok felhalmozódása jellemző, ezek általában a DON és ZEN mikotoxinok (Schollenberger et al., 2012).

A fuzáriumos megbetegedések és a primer fertőzési források kapcsolatát vizsgálva Fischl 1983-ban igazolta, hogy járványtani szempontból a legnagyobb jelentőségű, primer fertőzési források a fertőzött növényi maradványok. Ezekről a talajba visszakerült maradványokról ugyanis az esetek közel 50%-ban volt izolálható több *Fusarium* faj is (Szőke, 2011).



4. kép: A *Fusarium* okozta szár-és gyökérrothadás jellegzetes tünete a barnás-rózsaszínes elszíneződés (Oldenburg & Ellner, 2015).

2.6.4. A *Fusarium graminearum* és *Fusarium verticillioides*, mint a kukorica leggyakoribb patogénjei

A kukoricanövény leggyakoribb *Fusarium* fertőzését okozó fajok a mérsékelt és hideg éghajlaton domináló *F. graminearum* és a meleg éghajlatú területeken előforduló *F. verticillioides*. Az *F. graminearum* által kiváltott *Gibberella* csőpenészedést okozó megbetegedés általában 24-26°C közötti hőmérsékleten és magas páratartalom mellett alakul ki. A *F. verticillioides* által okozott *Fusarium* csőpenészedés kialakulásának a magas hőmérséklet és száraz körülmények kedveznek. Míg a *F. verticillioides* képes a kukoricacső tünetmentes fertőzésére és endofita növekedésre, addig az *F. graminearum* endofita előfordulását csak más növények fertőzése esetében írták le. Mindkét patogén főként a virágzás időszakában fertőz, ugyanis ekkor alakulnak ki a fertőzés alapját képező bibeszálak. Az *F. graminearum* a szálak felszínén és belsejében egyaránt növekszik, képes a női ivarsejtekbe való penetrációra, a kukoricaszemek közötti térben történő megtelepedésre és így képes eljutni akár a csőalapig is. Az 1940-es években folytatott kutatások kimutatták, hogy

a bibeszálak jelentik az egyik legfontosabb behatolási pont a *F. verticillioides* patogén számára. Mindkét patogén mikotoxinokat termel. Az *F. graminearum* B-típusú trichotecéneket, nivalenolt (NIV), deoxinivalenolt (DON) és ezek acetilált származékait állítja elő. A *F. verticillioides* főként fumonizineket, fuzarin C-t és fuzársavat állít elő. A fumonizinek fontosak a gyakori előfordulásuk, a többszörös toxicitásuk és karcinogén hatásuk miatt. A fumonizinek fitotoxikusak, mely hatásukhoz az amin-csoportjuk jelentős mértékben hozzájárul. A fumonizinek fertőzés során kifejtett szerepe egyelőre vitatott, mivel kimutatták őket tünetmentes fertőzés alatt álló kukoricaszemekben, vélhetően nem a tünetek kialakításában játszanak szerepet. A fumonizin szintézis kukoricaszemekben történő stimulációja alapján elsősorban a növényi szövetek kolonizációjában töltenek be fontos szerepet. Ugyanakkor a fumonizin szintézisükben gátolt *F. verticillioides* mutánsokkal végzett vizsgálatok alapján a fumonizin nem feltétlenül szükséges a kukoricacső fertőzéséhez (Sherif et al., 2023).

2.7. A mikotoxin kontamináció hatása a kukoricából előállított élelmiszerek és takarmányok biztonságosságára

Természetesen számos éghajlati és időjárási körülmény, stresszfaktor komplex kapcsolatának eredménye a kukoricánövény *Fusarium* patogén általi infekciójának kialakulása és a mikotoxinnal való kontamináció létrejötte. A mezőgazdaságban alkalmazott hatékony gyakorlat a mikotoxin akkumuláció csökkentésére a *Fusarium*-fertőzést és kontaminációt mutató növények lebomlásának talajművelés általi felgyorsítása. Általánosságban elmondható, hogy a mikotoxin fertőződés kialakulásának esélye a növény hosszabb növekedési idejével egyre nő. A felhasználás céljától függően a kukorica betakarítása eltérő fejlődési szakaszban történik, mely meghatározza annak tápértékét, az eltarthatóság sikerességét. A kukoricaszemek teljesen érett állapotban történő betakarítása, amikor a szemek szárazanyag-tartalma 65-85% közötti értéket mutat, a késői szezonban történik, így ezen növények termesztési periódusa néhány héttel hosszabb a takarmányozási célokra termesztett kukoricáénál. Ez utóbbit a korai stádiumban, a teljes szárazanyag-tartalom 32-35%-os értékének elérésekor takarítják be. Emellett a mikotoxinok eloszlása eltérő a növény egyes szervein. Éppen ezért a mikotoxin fertőzés esélye attól is függ, hogy a növénynek mely részei kerülnek feldolgozásra élelmiszeripari és takarmányozási célokra. A fogyasztók egészségügyi biztonsága érdekében a *Fusarium* mikotoxinok (DON, ZEN, FB1, FB2)

maximálisan megengedett szintje az Európai Unió országaiban külön-külön kerül meghatározásra a kukorica-alapú, közvetlenül emberi fogyasztásra szánt termékek esetében, amelynél különösen fontos az újszülötteknek és gyermekeknek szánt kukorica-alapú élelmiszerek biztonságossága (EC, 2013).

2.8. A *Fusarium* fertőzés fotoszintetikus pigmentekre kifejtett hatása

A növényeket érő stresszhatások, így a fertőzések is jelentős mértékben befolyásolhatják a növényi pigmentek mennyiségét, amely hatással van a fotoszintetikus rendszer működésének hatékonyságára, ezáltal a növény fejlődésére, fizikai állapotára. Baghbani és munkatársai 2019-ben megjelent publikációjukban a *Fusarium verticillioides* fertőzés hatását vizsgálták a klorofill fluoreszcencia paramétereire két kukorica vonalban. Az eredmények alapján a fertőzés hatása a kialakulás helyére specifikus volt, és jelentősen függött a növényi sejtek fertőzésre adott fiziológiai reakciójától. Az *F. verticillioides* fertőzés a kukorica növényekben a metabolikus folyamatok megváltozását eredményezi, amely fiziológiai váltoásokhoz vezet, így eltérés figyelhető meg a növényi pigmentek bioszintetikus folyamataiban is. Az *F. verticillioides* fertőzés szignifikáns csökkenést eredményez a kukoricánövény klorofill koncentrációjában, míg a karotinoidok koncentrációjára nincs különösebben hatással. Megfigyelhető továbbá sztómakonduktancia növekedése a fertőzés következtében, mely magasabb vízveszteséggel jár. A korábbi tanulmányok eredményei pedig a vízveszteség esetén a klorofill tartalom csökkenését igazolták. A *Fusarium* fertőzés a PSII károsodását okozta számos növény esetében. A fertőzés hatására csökkent az elektrontranszport és megnőtt a gerjesztési energia hő formájában történő disszipációja. Mindez védekezési mechanizmusként szolgál a patogénnel szemben, azonban fotoinhibíciót eredményez a II. fotokémiai rendszer (PSII) akceptor oldalán. Mindezek alapján a *Fusarium verticillioides* főként a növény klorofill tartalmát befolyásolta, emellett a II-es fotoszintetikus apparátus károsodása révén a fotoszintetikus hatékonyságot csökkentette, ám egyéb pigmentek mennyiségi változását nem mutatták ki a fertőzéssel kapcsolatosan (Baghbani et al., 2019).

3. Anyag és módszer

3.1. A munkahely bemutatása

Diplomadolgozatomat egy franciaországi központú multinacionális, vetőmag nemesítéssel foglalkozó cég munkatársaként végeztem. A cég a 70-es évek óta foglalkozik vetőmag előállítással, és napjainkra a piacon jelen levő vállalatok közül a negyedik legjelentősebb vetőmag értékesítővé nőtte ki magát.

A Magyarországon elhelyezkedő kutatási és nemesítési részlegnek Zsombón létesített 12 évvel ezelőtt az anyavállalat egy telephelyet, ahol a kukorica és napraforgó kutatási, fejlesztési és nemesítési tevékenysége tud megvalósulni. A kukoricanövény esetében a nemesítési és a fejlesztési részleg külön van ugyan kezelve, de szoros együttműködésben kell közösen dolgozniuk, hiszen a cél minden esetben a minél piacképesebb fajták produkálása. A zsombói telephelyen dolgozó, állandó alkalmazottak száma a kukorica esetében 15 fő, kezdve a technikusoktól, egészen a projektmedzserekig. Az állandó munkatársakon kívül az év bizonyos szakaszaiban 10 és 20 fő közötti szezonális munkavállaló is dolgozik a telephelyen, ezzel is nagyban elősegítve a cég előrehaladását.

3.2. A nemesítésben alkalmazott fuzárium fogékonysági kísérletek fontossága

A legfontosabb, nemesítés során vizsgált paraméterek közé tartozik például a minél magasabb hozam, a terménystabilitás, a dőléssel/töréssel szembeni ellenállás, illetve meghatározó még a kártevőkkel és a kórokozókkal szembeni minél magasabb fokú rezisztencia kialakítása. Az utóbbi évek időjárási körülményei miatt a fent említettek mellett egyre inkább előtérbe kerül még a szárazságtűréssel szembeni ellenállás is. A nemesítési és kutatási munkálatok keretein belül a szabadföldön végzett felvételezések lehetővé teszik, hogy minél jobban megismerjük a saját hibridjeink betegségekkel szembeni toleranciáját. Minden olyan előállított mezőgazdasági termék, mely humánétkeztetési, vagy takarmányozási felhasználásra kerül, potenciálisan veszélynek van kitéve valamilyen fuzáriumos fertőzés által. Ezen fertőzéseket okozó fuzárium gomba fajtáknak a mikotoxin termelő képességét és toxikus hatásának eltérő mértékű jelenlétét és veszélyességi fokát a 7/1999. (VI. 16.) EüM rendelete szabályozza.

3.3. A fuzárium fogékonysági kísérletekben részt vevő fontosabb hibridek jellemzése

A kísérlet beállításának egyik fő célja, hogy a korábban már több szempontból is jól vizsgázott hibrideket felmérhessük a fuzáriózissal szembeni toleranciára is. Ezen kívül így járunk el még az alapjukat képző szülői vonalakkal is, ezzel idejekorán elkezdve az ellenállóképesség monitorozását. A bevezetésben megemlített, és a szakirodalmi áttekintésben felsorolt, és bővebben kifejtett fuzárium gombák által termelt mikotoxinok megjelenésének és elterjedésének elkerülése egyik fontos célja a munkánknak.

A kísérletben felhasznált öt hibridből mindegyikről már hosszabb ideje végzünk különféle felvételezési munkálatokat annak érdekében, hogy minél átfogóbb képet kaphassunk róluk.

A hibrideket kódnévvel láttam el, jogvédelem céljából.

3.3.1. LNH01

Korábbi éréscsoportba tartozó hibrid. A növénymagasság átlagosan 310 cm, a csőmagasság pedig 140 cm. A cső felfelé áll, a csuhélevelek nem érik végig a cső teljes hosszát. Az 50%-os bibevirágzás a parcellákban átlagosan 07.10-én következett be 2022-ben, 2023-ban pedig szintén 07.10-én.

3.3.2. LNH02

Későbbi éréscsoportba tartozó hibrid. A növénymagasság átlagosan 310 cm, a csőmagasság pedig 130 cm. A cső felfelé áll, a csuhélevelek viszont nem fedik teljesen a csövek végét. Az 50%-os bibevirágzás a parcellákban átlagosan 07.13-án következett be 2022-ben, 2023-ban pedig szintén 07.13-án.

3.3.3. LNH03

Későbbi éréscsoportba tartozó hibrid. A növénymagasság átlagosan 320 cm, a csőmagasság pedig 130 cm. A cső lefelé áll, a csuhélevelek teljesen elfedik a csővéget. Az 50%-os bibevirágzás a parcellákban átlagosan 07.13-án következett be 2022-ben, 2023-ban 07.10-én.

3.3.4. LNH04

Későbbi éréscsoportba tartozó hibrid. A növénymagasság átlagosan 280 cm, a csőmagasság pedig 120 cm-es. A cső felfelé áll, a csuhélevelek nem fedik teljes hosszában a csövet. Az 50%-os bibe virágzás a parcellákban átlagosan 07.12-én következett be 2022-ben, 2023-ban pedig úgyszintén 07.11-én.

3.3.5. LNH05

Korábbi éréscsoportba tartozó hibrid. A növénymagasság átlagosan 300 cm, a csőmagasság pedig 130 cm. A cső felfelé áll, a csuhélevelek nem fedik teljesen a cső végét. Az 50%-os címvirágzás a parcellákban átlagosan 07.15-én következett be 2022-ben, 2023-ban 07.11-én.

3.4. A fuzárium fogékonyság vizsgálatára alkalmazott kísérlet beállítása

A kísérlet beállításra kerül mind hibrid, mind pedig vonalszinten, hogy minél több információra tehesünk szert minél több növény esetében, így ezzel már viszonylag korai stádiumban ki tudjuk szűrni a betegségekre érzékeny egyedeket. A parcellák 2,7 méter hosszúak és 1 sorosak, amin belül összesen 15 növény kerül elvetésre ugyanazon fajtából. Egy parcellán belül öt-öt egészséges, nagyjából ugyanazon virágzási stádiumban levő, és teljes mértékben átlagos növény került oltásra.

Az ismétlések fontos szerepet játszanak a kísérletek során, hiszen növelhetik azok sikerességét, hatásfokát, ugyanis minél nagyobb számban alkalmazzuk a megfigyeléseink során, annál több hasznos adathoz juthatunk. Ezzel biztosítjuk azt a lehetőséget, hogy a terület méretétől függően a lehető legtöbb helyről tudjunk mintát venni, ezzel is átfogóbb eredményekhez jutván. Ebben az esetben az öt hibridet fajtánként külön kezelve vizsgáltam, ezeken belül is három-három véletlenszerűen kiválasztott csőmintával, illetve három-három levélmintával dolgoztam.

3.4.1. Csávázás

Speciális csávázógépekkel hajtjuk végre ezt a műveletet, annak érdekében, hogy vetés után kevésbé legyen a mag kitéve a kórokozóknak. Ezek a gépek egyenletesen oszlatják el a szemek felületén a csávázószert, és úgy vannak kialakítva, hogy a magok ne ragadhassanak a gépbe, és ezzel ne veszítsünk értékes vetőmagot. A csávázást a megfelelő védőfelszerelések alkalmazásával, és elszívóberendezés működtetése mellett hajtjuk végre.

3.4.2. Gépi/kézi magszámolás

A hibrid magokat elsősorban fotocellás magszámlálók segítségével számoljuk ki, azonban a szülői vonalak vetéséhez szükséges szemeket minden esetben kézzel számoljuk. Itt ugyanis csak 15 és 20 szem körüli mennyiségeket számolunk, aminél már kulcsfontosságú a sérült, beteg szemek számolás közbeni szelektálása. Természetesen ez a folyamat sem rizikómentes, hiszen előfordulhat, hogy keverten érkezik hozzánk a kiszámolandó anyag, vagy nálunk keveredik össze, ezeket az eseteket pedig ki kell tudnunk szűrni, nehogy valótlan eredményeket kapjunk a vetés utáni felvételezésükkor.

3.4.3. Térképrakás: a vetés előtti utolsó lépés

Miután meghatározzuk a parcellaszámot, szemlét kell végeznünk a szántóföldön, és ezzel egybekötve keresni egy olyan homogén táblát, amely minden szempontból megfelel a kísérlet beállításához. Ebbe bele kell kalkulálni a parcellaszám mellett az öntözőutak méretét is, emellett körben is hagyni kell annyi helyet, hogy a nagyobb gépek tudjanak a táblában forogni – például vetés közben a traktor, vagy egy permetezőgép. Ha már tudjuk, hogy hány parcellánk van összesen, és a földmérés elvégzése után megkapjuk a kiválasztott tábla méreteit is, akkor mindezek ismeretében már tudunk úgynevezett blokk –és vetéstérképet készíteni. Itt a térképet rakó embernek a vetőgép vetési irányával megegyezően kell a blokkterképen feltüntetett, korábban már kiszámolt anyagot a megfelelő helyre, helyes sorrendben beillesztenie. Ha egy anyag hibásan kerül a térképbe, és ez nem derül ki időben, akkor az így elvetett parcellák teljes mértékben elveszítik a nyomonkövethetőségüket, így sajnos kísérleti szempontból használhatatlanná válnak.

3.4.4. Vetőgép, vetés

A vetés megkezdésekor a vetőgépet húzó traktor először GPS segítségével felveszi a korábban beállított alapegyenest, hiszen a vetés további része is ehhez igazodik majd. Vetés közben a vetőgépen négy ember ül fent (5. kép), személyenként két parcellát elvetve, így biztosítva azt, hogy egymás mellett egyszerre nyolc parcellát is képesek legyünk elvetni.

A megfelelően beállított speciális vetőgép a kisparcellás fajtakísérletek egyik esszenciális eleme. A hibás kalibrálás veszélyeztetheti a vetés során egymást követő genetikai anyagok biztonságát. Szinte bármilyen elektronikai, vagy mechanikai meghibásodás felléphet a munkavégzés közben, emellett még mindezekről független tényezők is előre nem látott problémákhoz vezethetnek, ilyenek lehetnek például a túlzott mértékű pára, vagy a nedves talaj miatt betömődő vetőelem. Mivel a garatba való beöntéstől a vetőtárcsáig igen hosszú utat kell a magoknak megtennie, ezért ott is sok hibalehetőség jöhet velünk szembe. Bármilyen hibát észlelve a gépet megállásra kényszerítjük, és az esetlegesen hibásan elvetett anyagokat még a helyszínen kizárjuk a kísérletből, elkerülvén ezzel a későbbi helytelen adatok begyűjtését.



5. kép: Folyamatban lévő vetés, ahol jól látható a vetésben résztvevő személyek vetőgépen való elhelyezkedése (Püski, 2022).

3.4.5. Oltás

Az oltás során speciálisan kikevert inokulumot használunk fel (6. kép), ahol a konídiumszám: 10^5 konídium/ml. Ahhoz, hogy megállapíthassuk az oltás pontos idejét, szükséges tudnunk az adott parcella 50%-os nővirágzásának a napját. Ehhez folyamatosan monitorozni kell a területet.

Oltás során az alábbi protokoll szerint kell eljárunk:

- 1, Az 50 %-os bibevirágzás feljegyzése az egysoros parcellákban.
- 2, Az inokulum bibébe történő oltását a nővirágzás után 5-7 nappal kell elvégezni.



6. kép: Bal oldalon az inokulum látható az oltópisztollyal, jobb oldalon pedig a növényre való juttatás gyakorlati módja (Püski, 2022).

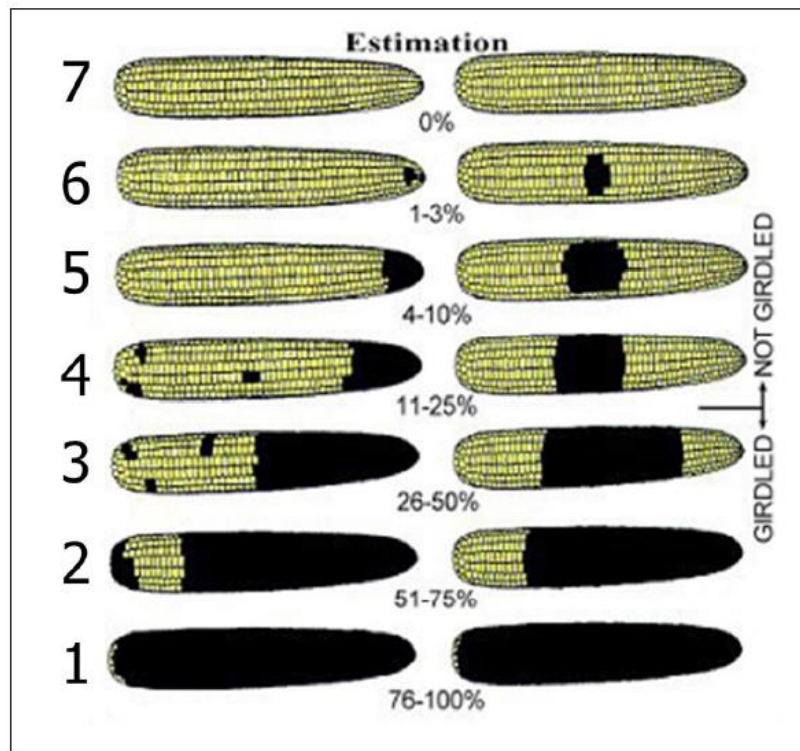
3, A parcellánként beoltandó növények száma: 5 db.

4, Az inokulum összetétele: *Fusarium verticillioides* konídiumokat tartalmaz, ebből 2ml-t kell beoltani a csuhélevelek alá, a bibeszálak közé (ebben a stádiumában a legsérülékenyebb a cső, így könnyen felsérthetjük a cső végén levő szemeket, ezzel mesterséges fertőződést elérvén). A kísérlet során felhasznált inokulumot a cég franciaországi telepe biztosította.

5, Az oltott növényegyedeket legvégül festékszóróval jelöljük meg, ami a későbbi megfigyelések céljából fontos lépés.

3.5. A hibridek fertőzöttségének összehasonlítása

Az érett csövek betakarítása előtt végzünk egy felvételezést a Bolton-skála alapján: mind az öt, a mesterséges fertőzés miatt megjelölt cső csuhéleveleit eltávolítjuk, hogy láthatóvá váljon a fertőzöttség mértéke, és az öt cső eredményeit átlagoljuk a 3. ábrán látható protokoll alapján.



3. ábra: *Fusarium* fertőzés felvételezési protokollja, a Bolton-skála. Százalékosan kell vizsgálnunk a fertőzés mértékét, és az alapján adni az adott parcellának egy minősítést (Limagrain, 2014).

A két év adatainak átlagolása mellett a 2023-as évben készítettem kiegészítő adatokat a vizsgált hibridekről. A felvételezések elvégzése után hibridenként kiválasztottam három-három átlagos csövet mind a kontroll, mind pedig a fertőzött növények estében. Ezzel azt szerettem volna megvizsgálni, hogy vajon a csövekre milyen módon gyakorolt hatást a fertőzés. A kiválasztott csöveknek egy egyszerű mérőszalaggal lemértem a hosszát. Ezután a csöveket egyenkénti súlyát lemértem egy mérlegen, ezután pedig mindhárom csőről lemorzoltam a szemeket, és azok súlyát is lemértem, végül pedig az így kapott adatokról összesítést készítettem.

3.6. Vegetatív részek vizsgálata labor körülmények között

A laboratóriumi vizsgálatokat a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Szent István Campusán végeztem, a Növényélettan és Növényökológia Tanszék egy erre a célra létesített laborában, és annak eszközeit alkalmaztam.

A kísérletek elvégzéséhez mind az öt hibrid esetében három kontroll és három fertőzött növényről szedtem levélmintát, tehát összesen 30 db mintával dolgoztam. A mintákat fagyasztóban tárolva juttattam el a tanszék labortermébe, a minták így nem roncsolódtak, vagy száradtak el a vizsgálatok elvégzéséig.

3.6.1. SPAD mérések

A SPAD műszerrel (SPAD-502Plus) történő mérések során meg tudtam vizsgálni a levelek egy adott pontján a minta összklorofilltartalmát. Minden levélen három ismétlésben, a levél három különböző - de egymástól nem túl távoli – pontján végeztem a műszerrel a méréseket. Rendkívül egyszerű használatú készülékről van szó, amit bekapcsolás után először kalibrálni kell olyan módon, hogy levélminta nélküli, úgynevezett üres mérést végzünk vele. Ha ezzel a lépéssel megvagyunk, akkor a vizsgálni kívánt levélmintát a műszer mérőpontjára helyezve össze kell csíptetni azt. Az eszközt és annak működése a 7. képen látható.



7. kép: SPAD mérőműszer, és annak működése (Püski, 2024).

3.6.2. Fotoszintetikus pigment-tartalom mérése

A mérések elvégzésekor a mintákat minden esetben a fagyasztóból vettem elő, ami egyszerre három levelet jelentett. Minden levélből két-két, körülbelül 0,8 cm átmérőjű korongot fúrtam ki, levélfúró segítségével. A korongokat hűtött dörzsmozsárba helyeztem, amihez ezután megközelítőleg 0,1 g kalciumkarbonátot, és egy kevés kvarchomokot adtam. Az utóbbiakat azért fontos hozzáadni, mert a kalciumkarbonát képes megkötni a pigmenteket roncsoló anyagokat, a kvarchomok pedig segít abban, hogy az eldörzsölés végén minél homogénebb végeredményt kapjunk. 1 ml acetont hozzáadásával dörzsöltem el a mintát, amit ezután Eppendorf csőbe töltöttem. Itt az acetont párolgása miatt kiegészítettem a cső tartalmát acetonnal 2 ml-re, hogy centrifugálásra alkalmas mennyiségű anyag legyen benne. Ezt követően lezártam az Eppendorf csövet, és hűtött centrifugába helyeztem az előkészített mintát, aminek centrifugálása 10000 fordulatszámon ment végbe, 5 percig, 4 Celsius fokon. Spektrofotométerrel történő vizsgálat során a centrifugálás után kapott pigmentoldatból 1,2 ml-t szűkített küvettába pipettáztam, és behelyeztem annak elülső mintatartójába. A hátsó küvettatartóba mindezek előtt egy tiszta acetont tartalmazó küvettát volt szükséges elhelyezni, referencia folyadék gyanánt.

A minta behelyezését követően elindítottam a mérést, aminek során a műszer a kiválasztott hullámhosszokon háromszor mérte meg az abszorbanciát, majd ezeket átlagolta, ami a számítógép monitorján láthatóvá is vált. A mérés végeztével megkaptam a minta átlagos klorofill a, klorofill b és karotinoid tartalmát $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ -ben. Ennek végeztével kivettem a küvettát, kiöntöttem a tartalmát, majd a következő minta előtt átmostam 1 ml acetonnal.

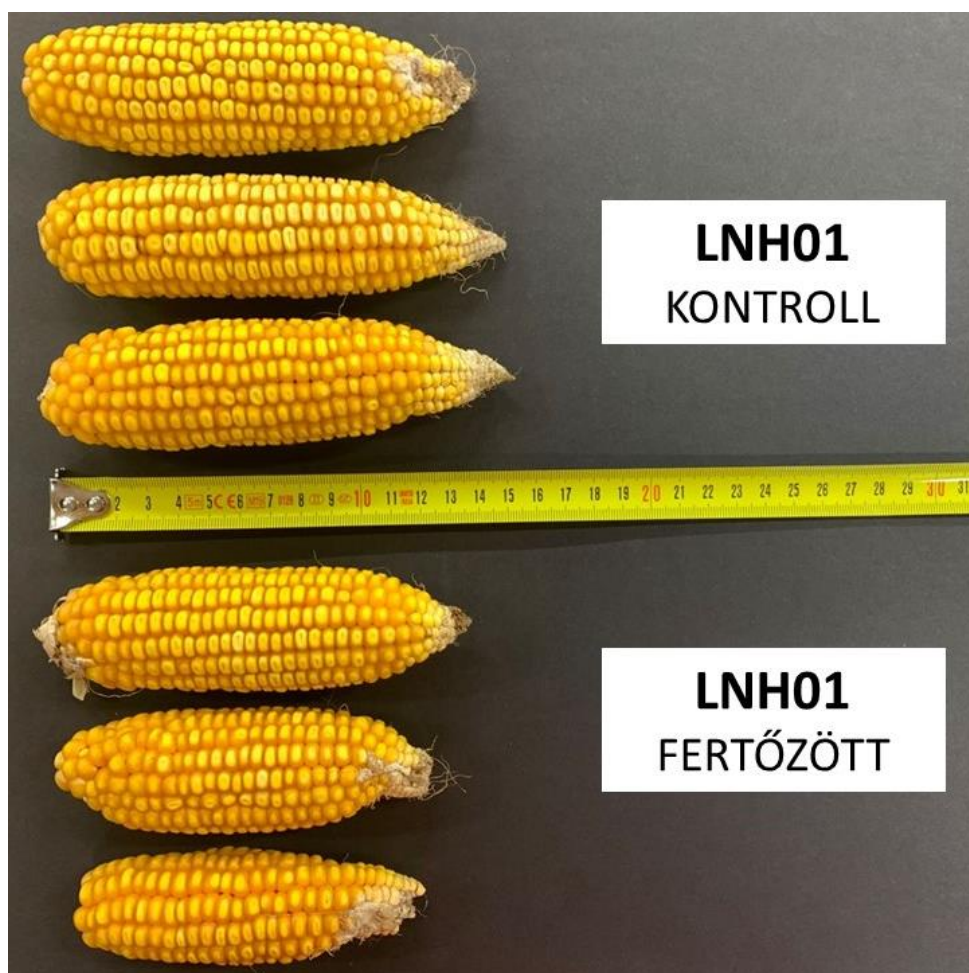
A mérési műveletet egy JASCO típusú spektrofotométer segítségével végeztem, amely korábban összekötésre került egy számítógéppel, amire az a mérés során kapott eredményeket továbbította, így egyből képet kaphattam arról, hogy milyen értékekkel rendelkezik az éppen vizsgált minta.

4. Eredmények és kiértékelésük

4.1. A mesterséges fertőződés eredményei a generatív részeken

A szántóföldi felvételezések mellett, aminek eredményeit a későbbiekben a 4.2. -es alfejezetben fogom kiértékelni, mind az öt hibridből vizsgálandó minta gyanánt véletlenszerűen kiválasztottam három darab kontroll és három darab fertőzött csövet. Ezeket a mintákat szeptemberben, érés után szedtem, és a mérési vizsgálatokat akkor végeztem, amikor a minták víztartalma megközelítőleg 11% volt. A víztartalmat egy Pfeuffer HOH-EXPRESS HE 50 típusú műszer segítségével mértem meg.

4.1.1. LNH01 hibrid csőminták kiértékelése



8. kép: LNH01 kontroll és fertőzött csőminták (Püski, 2023).

Az LNH01-es hibrid csőmintáinál jól látható szabad szemmel is, hogy a fertőzött növények csövei kisebbek, mind a kontroll növények csövei. Fuzáriózis minimális nyomait leginkább rovarragás következményeként véltem felfedezni, ami itt csak néhány szemet érintett a csővégeken. A csővégi szemek, ahogy a 8-as képen is látszik, nem termékenyültek meg jól, azonban ezt nem a fuzáriózisnak, hanem inkább fajtajellegnek tudnám be, hiszen mind a kontroll, mind a fertőzött mintákon megfigyelhető ez a jelenség, azonban a kontroll hosszabb csöveinek esetében szembetűnőbb. A csőminták mért adatait az 1-es táblázatban szemléltetem.

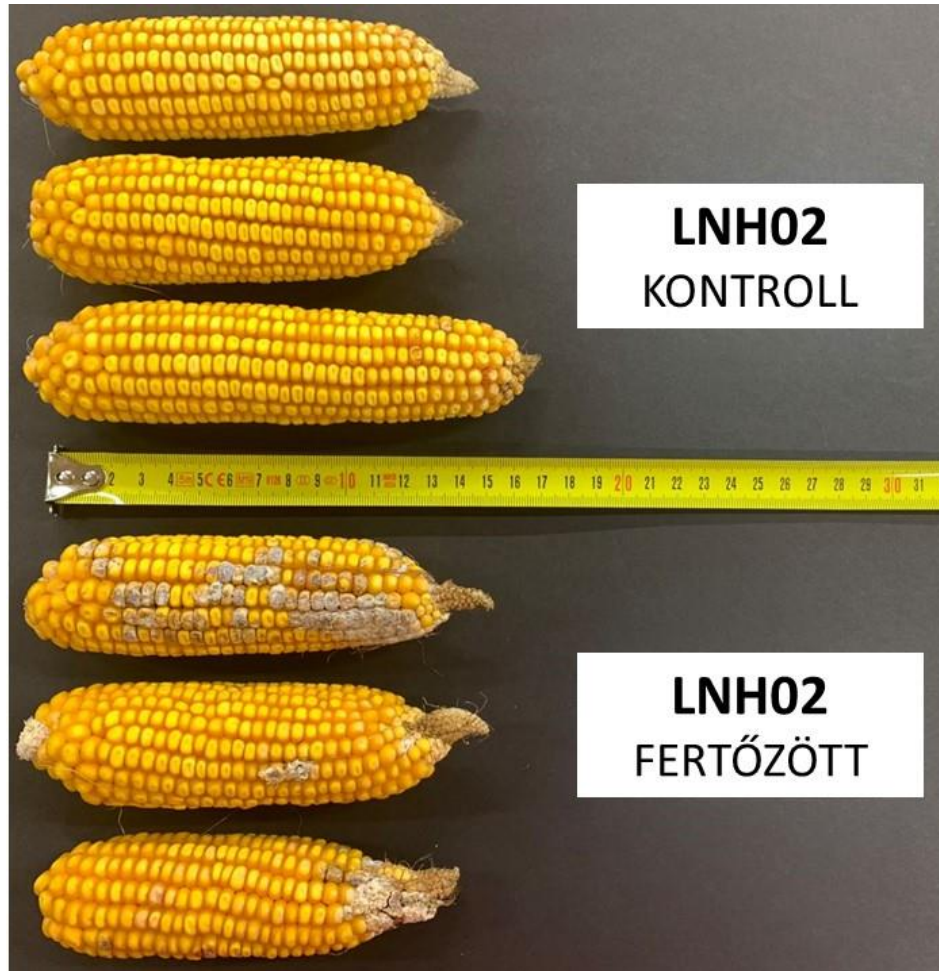
1. táblázat: LNH01 csőminták mérési adatai (Püski, 2024).

		Ismétlés	Csőhossz (cm)	Csősúly (g)	Morzsolt szemsúly (g)
LNH01	Kontroll	1	15,3	90,5	79
		2	15	86	75
		3	14	91,5	79
	Átlag		14,77	89,3	77,67
	Fertőzött	1	14	86,5	76
		2	12,2	69,5	63
		3	11,3	49	39,5
	Átlag		12,5	68,3	59,5
	Kontroll-Fertőzött átlagbeli eltérés (%)		15,4	23,5	23,4

A táblázat adatai jól szemléltetik azt a különbséget a kontroll és a fertőzött minták között, ami a 11-es ábrán is látható, ugyanis a csőhosszbeli különbség ténylegesen hatással van a csőminták súlyára, illetve a morzsolt szemek súlyára is. Az adatokból az is jól látszik, hogy az átlagosan közel 16%-os eltérést mutató csőhosszbeli különbség a fertőzött és a kontroll csövek között, jelentős hatással volt a morzsolt szemek és a csövek átlagos súlybeli eltérésére is. Ezt a csőhosszbeli eltérést nagy valószínűséggel a fuzáriózis okozta.

Tehát megállapítható, hogy az LNH01-es hibrid esetében nagy eséllyel a fuzáriózis játszott negatív szerepet a csövek fejlődésében, és ezzel kedvezőtlenül hatott a hozamra is.

4.1.2. LNH02-es hibrid csőminták kiértékelése



9. kép: LNH02 kontroll és fertőzött csőminták (Püski, 2023).

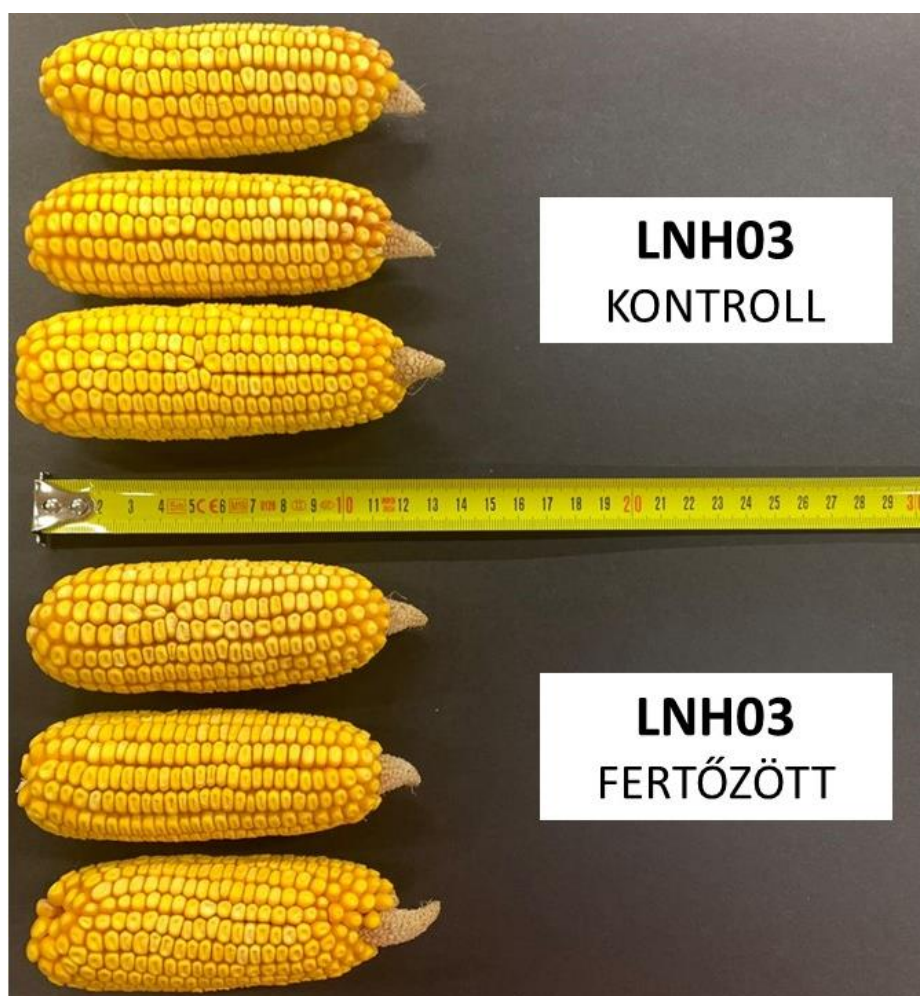
Az LNH02-es hibrid estében szedett csőmintáknál már a fotón (9. kép) is jól megfigyelhető, hogy a fertőzött minták esetében kisebb-nagyobb mértékű fuzáriózis lépett fel, itt észlelhető a szemeken a fehéres-szürkés színű micéliumszövedék, illetve itt-ott a szemek ráncosodása is. A kontroll csövekkel összevetve elmondható a fertőzött csövekről még az is, hogy a csővégek itt jóval rosszabbul termékenyültek meg. Ugyan a kontroll esetében is látszódik a csupasz csővég, de ez a hátról csak egy csőnél szembetűnőbb. A kép legalján elhelyezkedő fertőzött cső estében valószínűleg valamilyen csővéget ért sérülés, vagy rovarrágás okozta sebzés miatt tudott kialakulni a fuzáriózis, a másik két cső esetében azonban az általunk befecskendezett inokulum okozhatta a fertőzést.

2. táblázat: LNH02 csőminták mérési adatai (Püski, 2023).

		Ismétlés	Csőhossz (cm)	Csősúly (g)	Morzsoltszemsúly (g)
LNH02	Kontroll	1	17	136	122
		2	14,6	119,5	106
		3	15,4	104	93
	Átlag		15,67	119,8	107
	Fertőzött	1	15,4	105	94
		2	15,6	113	101
		3	13,8	79	70
	Átlag		14,9	99	88,3
	Kontroll-Fertőzött átlagbeli eltérés (%)		4,9	17,4	17,5

A 2-es számú táblázatban az LNH02-es hibrid csőmintáinak adatait szeretném szemléltetni. A táblázatból azt lehet leolvasni, hogy annak ellenére, hogy ennél a hibridnél szembetűnőek voltak a fuzáriózis tünetei, a mért adatok mégsem mutatnak akkora eltéréseket, mint az előzőleg bemutatott hibrid esetében. Ennek az lehet az oka, hogy a látható tünet ellenére a kontroll és a fertőzött csövek mérete nem tér el nagyban egymástól, így a fertőzött szemek nem okoztak akkora mértékű redukciót a szemek és a cső súlya esetében, mint például az LNH01-es hibrid kiértékelésekor.

4.1.3. LNH03-as hibrid csőminták kiértékelése



10. kép: LNH03 kontroll és fertőzött csőminták (Püski, 2023).

Az LNH03-as hibridek esetében a kontroll és a fertőzött mintákról is egységesen elmondható a 10. kép alapján, hogy fuzáriózisnak egyáltalán nem mutatják külső jelét. A csövek hossza mind a hat cső esetében közel azonos, emellett a csővégek hasonlóan rosszul termékenyültek meg, ez valószínűleg fajtajellegből adódó probléma.

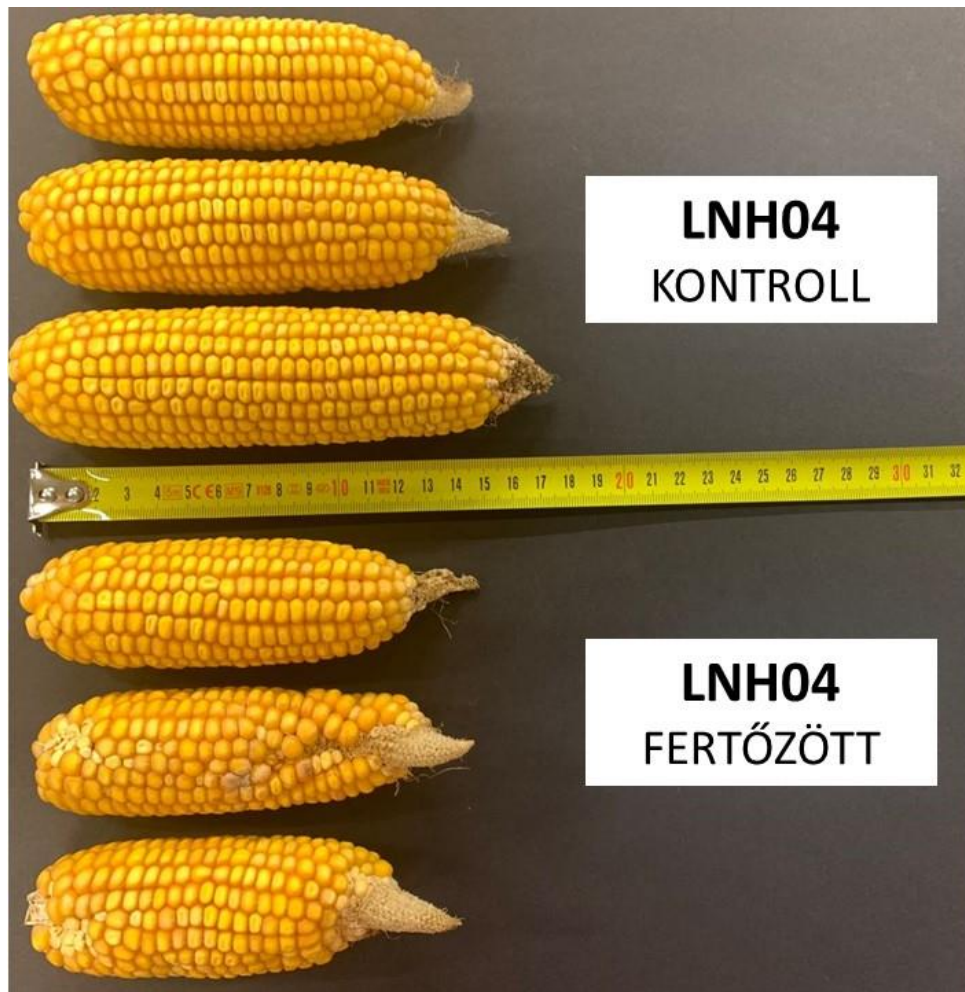
Ez a hibrid nagyobb eséllyel toleráns a fuzárium okozta fertőzéssel szemben, ami élelmezési és takarmányozási szempontból mindenképpen előnynek számít. Nagy hátránya lehet azonban a rossz termékenyülés, ami egyaránt rontja a hozamot. Sajnos ezen tulajdonságot a csőhossz sem tudta jelen esetben kellő mértékben kompenzálni.

3. táblázat: LNH03 csőminták mérési adatai (Püski, 2023).

		Ismétlés	Csőhossz (cm)	Csősúly (g)	Morzsoltszemsúly (g)
LNH03	Kontroll	1	13,4	118,5	108
		2	12,9	100	90
		3	12,4	97	89
	Átlag		12,9	105,17	95,67
	Fertőzött	1	12,4	100	91
		2	12,6	97,5	89,5
		3	12,5	90,5	82
	Átlag		12,5	96	87,5
	Kontroll-Fertőzött átlagbeli eltérés(%)		3,1	8,7	8,5

A 3-as táblázatban az LNH03-as hibridből szedett csőminták feldolgozott adatait szemléltettem. Az adatok tükrözik a 10. képen látottakat, miszerint alig van észrevehető különbség a vizsgált csoportok között. Az átlagos csőhosszbeli eltérés százaléka ennél a hibridnél először egy számjegyre, ahogyan a cső súly és a morzsoltszemsúly esetében is. Az a tény, hogy ilyen csekély különbségek vannak a kontroll és a fertőzött minták között, egészen stabilizálja a vizsgált hibridet, nagyrészt a hozam tekintetében. Nagy előnye lehet ezekből kifolyólag ennek a fajtának az, hogy a mért adatok fényében állandó, kiszámítható hozamra tehetünk szert.

4.1.4. LNH04-es hibrid csőminták kiértékelése



11. kép: LNH04 kontroll és fertőzött csőminták (Püski, 2023).

Az LNH04-es hibridből szedett csőminták esetében a kontroll csövekről mindenképpen elmondható a 11-es kép alapján, hogy a csövek hossza nagyobb, mint a fertőzöttek esetében, viszont az LNH02-es hibrid mintáihoz hasonlóan fuzáriózis okozta tünet egyiken sem észlelhető. A csővégek egységesen mindkét vizsgált csoport esetében rosszul termékenyültek. Ezek mellett azonban feltétlenül megemlítenéd a fertőzött csövek esetében az a tény, hogy amellet, hogy rövid csőhosszal rendelkeznek, a szemek a csővégen kívüli területeken is rosszul termékenyültek, ami azonban már a fuzáriumos fertőzés tünete lehet.

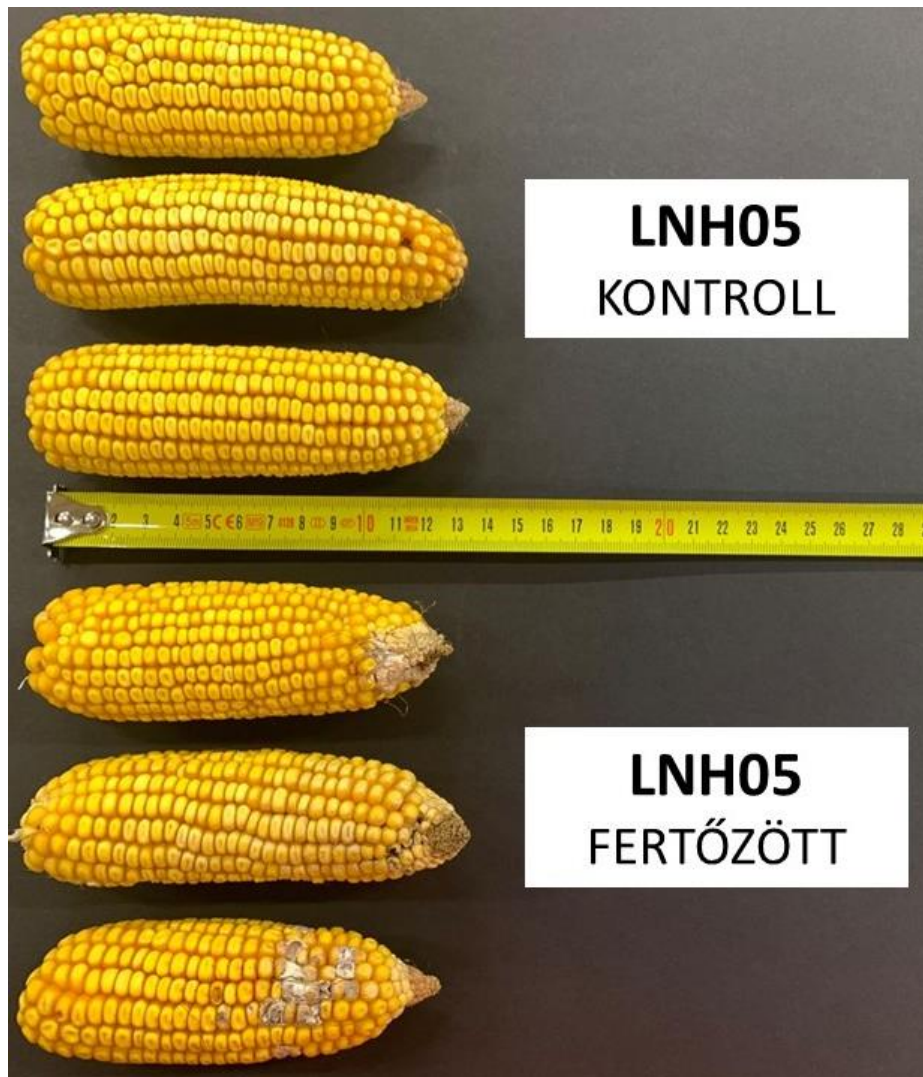
4. táblázat: LNH04 csőminták mérési adatai (Püski, 2023).

		Ismétlés	Csőhossz (cm)	Csősúly (g)	Morzsolt szemsúly (g)
LNH04	Kontroll	1	17,5	166,5	148,5
		2	16,2	126,5	114,5
		3	15	108	96,5
	Átlag		16,23	133,67	119,8
	Ferőzött	1	14,5	94,5	85
		2	13,5	87,5	80,5
		3	14,4	81	74,5
	Átlag		14,1	87,67	80
	Kontroll-Fertőzött átlagbeli eltérés (%)		17,1	34,4	33,2

Az LNH04-es hibrid csőmintáinak mért adataiból jól tükröződik az, ami a 11-es képen is kivehető, hogy a fuzáriumos fertőzés nem kis mértékben volt ebben az esetben hatással a csöveken levő szemek mért súlyadataira. Ennél a hibridnél viszonylag sok szem nem termékenyült meg, ezzel rövid csöveket, és alapvetően is kevesebb szemet produkálva, ami az oka lehet annak, hogy több, mint 30%-os eltérés van a kontroll és a fertőzött minták mért súlyátlagai között.

A fenti adatokból arra lehet következtetni, hogy ez a fajta valószínűleg érzékeny a fuzáriózusra.

4.1.5. LNH05-ös hibrid csőminták kiértékelése



12. kép: LNH05 kontroll és fertőzött csőminták (Püski, 2023).

Az LNH05-ös hibrid csőminták esetében az figyelhető meg (12. kép), hogy a csövek hossza között mindössze minimális eltérések vannak, illetve a csővégek termékenyülésének mértéke hasonló. A fuzáriummal fertőzött minták közül két csövön van szemmel látható jele a betegség meglétének, ám ezek közül a mérőszalaghoz legközelebbi cső végénél látható fuzáriózist akár rovarrágás is okozhatta.

5. táblázat: LNH05 csőminták mérési adatai (Püski, 2023).

		Ismétlés	Csőhossz (cm)	Csősúly (g)	Morzsolt szemsúly (g)
LNH05	Kontroll	1	13,4	115	105
		2	13,5	118,5	107
		3	12,5	105,5	96,5
	Átlag		13,1	113	102,8
	Fertőzött	1	13	102,5	93
		2	13,4	96	88
		3	12,5	83,5	75,5
	Átlag		12,97	94	85,5
	Kontroll-Fertőzött átlagbeli eltérés (%)		1	16,8	16,8

Amennyiben az LNH05-ös hibrid mérési adatait összevetem a csövekről készült fotón látható eredményekkel, akkor már biztosan elmondhatom azt, hogy nem befolyásolta a fuzáriumos fertőzés túl nagy mértékben a hozambeli értékeket negatív irányban. Vannak ugyan eltérések, azonban a többi olyan hibriddel összevetve, amik a fuzáriózis szemmel látható jeleit mutatták az LNH05-ös produkálta a legalacsonyabb százaléku eltérést az átlagos kontroll és fertőzött szemsúlyokat összevetve.

4.2. Szántóföldi felvételezések eredményei



4. ábra: A Bolton-skála alapján végzett felvételezési adatok összevetése (Püski, 2024).

A csőminták szedése és kiértékelése mellett mindenképpen fontosnak tartottam azt, hogy az adott fajtanak az egész parcellájáról, és annak teljes növényállományáról legyen egy átfogóbb felvételezési eredményem, amivel még teljesebb képet alkothatok a hibridről, illetve magáról a fuzáriumos fertőzés természetéről.

Ennek érdekében elkészítettem a 16-os ábrát, amin a Bolton-skála alapján végzett felvételezési eredmények láthatóak a 2022-es és a 2023-as év viszonyában. Mindenképpen érdekes eredményekre számítottam a két év összehasonlításakor, hiszen a 2022-es egy nagyon meleg, aszályos év volt, 2023-ban azonban elégséges mennyiségű csapadék esett, megfelelő időpontokban, illetve nem volt annyira tartós hőség sem, mint 2022-ben.

Az ábrán jól látszik az, hogy a 2022-es év aszályos időjárása kedvezett a fuzáriumos fertőzés kialakulásának, hiszen a növények a magas hőmérséklet és a kevés csapadék miatt nem tudtak jó kondíciót kialakítani, és a fertőzések elterjedésének is kedvezett ez a környezet.

A fenti adatokból megállapítható az, hogy az aktuális időjárási viszonyok is nagymértékben befolyásolhatják azt, hogy egy fertőzés milyen mértékben érinthet egy adott kultúrát.

4.3. Vegetatív részek laborban végzett vizsgálatának eredményei

A generatív részekről szedett csőminták mellett mind az öt hibrid esetében szedtem levélmintákat a fertőzött és a kontroll növényekről, amivel azt szerettem volna megfigyelni, hogy a generatív részen történt fuzáriumos fertőzés hatással van-e a vegetatív részek pigmenttartalmára.

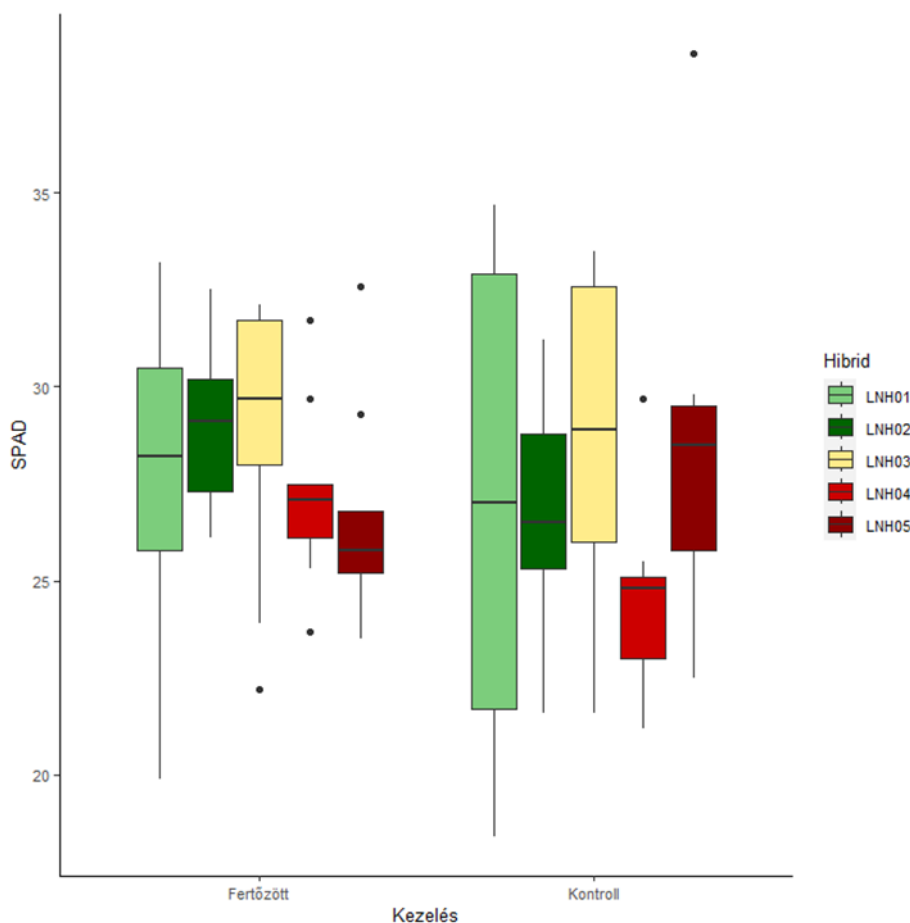
4.3.1. SPAD mérések eredményei

6. táblázat: Kontroll és fertőzött levélminták SPAD mérőműszeres vizsgálatának eredményei (Püski, 2024). Rövidítések: Kont. = Kontroll, Fert. = Fertőzött

		LNH01		LNH02		LNH03		LNH04		LNH05	
		Kont.	Fert.	Kont.	Fert.	Kont.	Fert.	Kont.	Fert.	Kont.	Fert.
1-es levélminta	1. ism.	26,9	30,5	28,8	30,2	28,6	23,9	23	31,7	28,5	26,8
	2. ism.	34,7	27,8	25,3	26,1	29,7	22,2	22,9	29,7	38,6	26,3
	3. ism.	28,1	31,2	31,2	27,2	32,8	29,7	24,8	26,6	29,8	23,5
2-es levélminta	1. ism.	18,4	33,2	21,9	29,1	26	28	21,2	27,1	25,8	25,2
	2. ism.	20,7	28,6	26,5	29,2	25,5	31,7	25,1	26,1	27,5	29,3
	3. ism.	21,7	19,9	25,9	27,3	21,6	32,1	25,5	27,2	22,5	25,2
3-as levélminta	1. ism.	32,9	25,8	27,3	27,9	32,6	30,5	24,8	27,5	29,3	25,8
	2. ism.	27	25,6	21,6	30,2	33,5	31,9	29,7	25,3	24,8	24,9
	3. ism.	33,3	28,2	29,1	32,5	28,9	28,3	23,3	23,7	29,5	32,6
Átlag		27,1	27,9	26,4	28,9	28,8	28,7	24,5	27,2	28,5	26,6

A SPAD mérőműszer segítségével a levélminták össz-klorofilltartalmát mértem meg, és ennek adatait a 6-os táblázat szemlélteti. Sok esetben az ismétlések között nagyobb eltérések vannak (5. ábra), annak ellenére, hogy azokat egymáshoz nagyon közeli területeken mértem a

mintákon. Érdekeség a táblázatban és ábrán szereplő eredmények között az, hogy a hibrdek nagyobb részénél a kontroll mintákban látszólag alacsonyabb klorofilltartalmat mértem, mint a fertőzöttek esetében, ám ezek a különbségek a nagy variáció miatt sem a kezelések, sem a hibrdek szerinti összehasonlításban nem voltak statisztikailag szignifikánsak.



5. ábra: A SPAD-értékek kezelésenként és hibrdenként vett átlagai nagy szóródást mutatnak (Püski, 2024).

Ha összefüggést szeretnék keresni a csőminták, és a levelek általános klorofilltartalmának eredményei között, akkor azt lehet megfigyelni, hogy amelyik hibrid a generatív részek vizsgálatának tekintetében nem mutatott különösebb érzékenységet a fuzáriózusra, annak az esetében a levélminták átlagos klorofilltartalma magasabb volt a kontroll esetében, mint a fertőzöttnél.

4.3.2. Fotoszintetikus pigmenttartalom spektrofotométeres vizsgálatának eredményei

Az eredmények alapján levelek átlagos pigmenttartalmában (7. táblázat, 5. ábra) nem volt szignifikáns különbség. Emellett azonban még érdekes információ lehet az is, hogy a fertőzött minták esetében a szórás jóval nagyobb mértékű volt, mint a kontroll növények esetében, és ugyanez megfigyelhető a variációs koefficiens vizsgálatakor is (8. táblázat).

7. táblázat: Az öt vizsgált hibrid három-három levélmintájának átlagos klorofill *a*, klorofill *b* és karotinoid tartalma ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) (Püski, 2024).

		Kl_a	Kl_b	Karotinoid
LNH01	Kontroll	66.03	20.68	9.63
	Fertőzött	54.67	17.04	8.86
LNH02	Kontroll	67.99	20.53	10.69
	Fertőzött	78.30	31.08	9.46
LNH03	Kontroll	73.44	24.38	10.90
	Fertőzött	68.74	20.46	11.39
LNH04	Kontroll	60.98	21.34	8.69
	Fertőzött	64.15	20.45	9.61
LNH05	Kontroll	60.13	19.61	8.93
	Fertőzött	59.51	19.83	8.84

4.4. A kísérleti eredmények kiértékelése

4.4.1. Generatív részek vizsgálata

Az öt hibridet érzékenység szempontjából vizsgálva azt a következtetést lehet levonni az adatokból, hogy az LNH02-es a leginkább fogékony a fuzáriózisra abban az esetben, ha kizárólag a szemmel látható fuzáriózis tüneteket vesszük figyelembe. Azonban, ha számba vesszük az elvégzett mérések adatait is, akkor azok alapján az LNH04-es hibrid szerepelt a legrosszabbul, hiszen több, mint 30% eltérést mutatott mind cső súlyban, mind a lemorzsoltszemek súlyában a kontroll és a fertőzött csoport átlaga. Az egyetlen hibrid, amelyik semmilyen tünetet nem mutatott, az az LNH03-as volt, így a mérési eredmények alapján ez bizonyult a leginkább toleránsnak a betegséggel szemben. Messzemenő következtetéseket azonban nem lehet levonni, ugyanis mindössze egy év mérési eredményeit tudtam felhasználni, tehát mindenképpen szükségesek lennének további vizsgálatok, és több év eredményei.

A kísérlet során fontos eredmény lehet az, hogy ha egy hibrid nem mutatja a fuzáriózis szemmel látható tüneteit – például elszíneződés, micéliumszövedék stb. – annak ellenére komoly hatást gyakorolhatott rá a fertőzés. Ez jelen kísérlet esetében elmondható például az LNH04-es, illetve az LNH01-es hibrid esetében is, ugyanis ezek esetében a csövek rövidségében, és a szemek rossz megtermékenyülésében mutatkozott meg a mesterséges fertőzés. Ezen okokból kifolyólag is mindenképpen fontosnak tartottam, hogy méréseket is végezzek, ugyanis például, ha csak a Bolton-skála alapján felvételezett adathalmazra támaszkodtam volna, akkor az alapján éppen az LNH01-es és az LNH04-es hibrid számítana a leginkább toleránsnak. Ez amiatt lehet, mivel az ehhez végzett felvételezések során csak szemünkre hagyatkozva kell vizsgálnunk a megadott protokoll (3. ábra) alapján, nem pedig mérési adatokra támaszkodunk, így könnyedén helytelen következtetéseket lehet levonni egy adott fajtáról és annak betegségekkel szembeni ellenállóságáról.

Azt a következtetést azonban biztosan levonhatjuk a Bolton-skála adatai alapján, hogy egy adott év időjárási viszonyai nagyban befolyásolhatják azt, hogy a fuzáriózis milyen mértékben mutatkozik meg a csöveken. A két vizsgált évben nagy eltérések mutatkoztak meg időjárás szempontjából, különös tekintettel a tenyészidőszakra (bibevirágzás, címervirágzás, szemkötődés, szemtelítődés), amikor is jól látszott, hogy a 2022-es nagy aszály kedvezőtlen hatást gyakorolt a növényekre, úgymond stresszfaktorként funkcionált, ezért kevésbé tudtak a növények ellenállni a fertőzéseknek.

Érdekes, hogy a 2023-as nedvesebb, csapadékosabb évben az érzékenység tekintetében a hibridek között kevésbé mutatkoztak eltérések, mint (a főleg a virágzás időpontjában) a jóval szárazabb 2022-es évben, mivel éppen a nedvesebb, csapadékosabb időjárás kedvezne alap esetben a fuzáriózis kialakulásának.

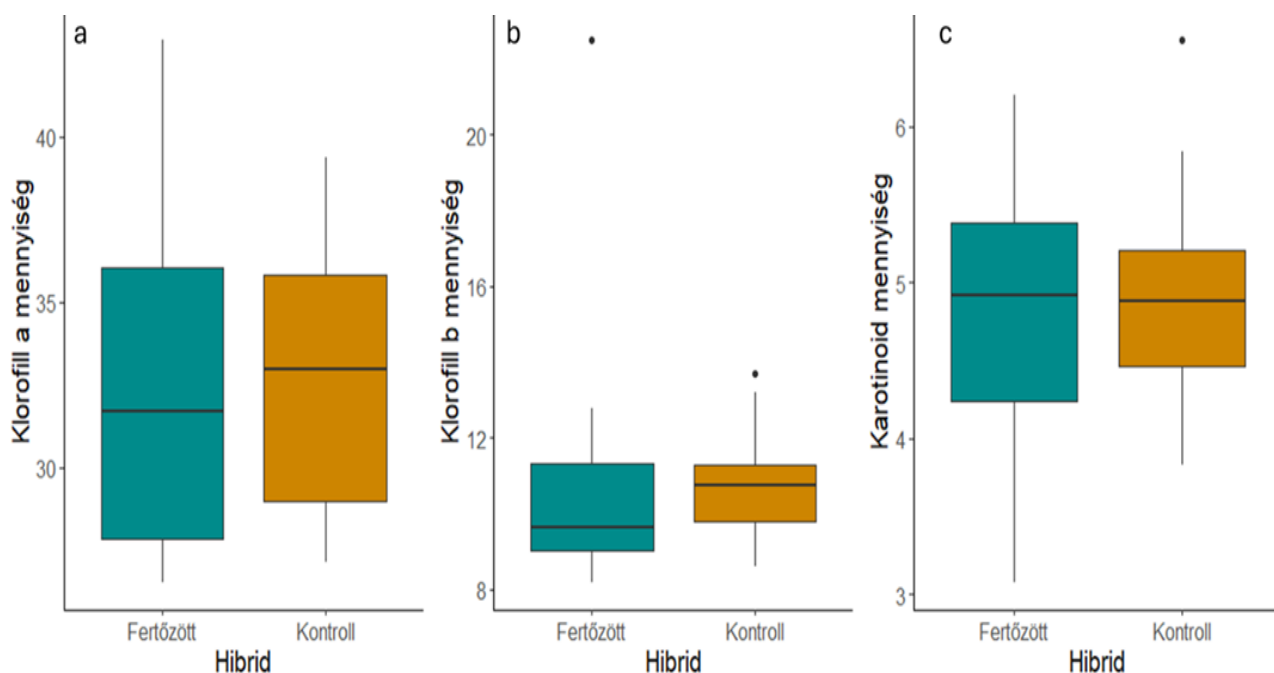
Tehát a genetikai tolerancia jelentősége egyre inkább előtérbe kerül, minél kedvezőbbek az abiotikus tényezők a fertőzés kialakulásához, így az időjárási tényezők mellett az eredményt befolyásolhatja még az adott hibrid genetikai háttere, vagy akár az oltás módszere, és annak időpontja is.

A fentebb ismertetett mérési gyakorlatot és protokollt egységesen alkalmazva a hibridek közötti különbség nagyobb valószínűséggel a genetikai háttérüknek tudható be, ami fontos eredménye a dolgozatnak.

4.4.2. Vegetatív részek vizsgálata

8. táblázat: Az öt hibrid együttesen vizsgált klorofill a, klorofill b és karotinoid tartalmának átlagát ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$), szórását, és variációs koefficiensét (CV) szemléltető táblázat. A variációs koefficiens értékét az alábbi képlet alapján számítottam ki: $\text{CV} = \text{szórás} / \text{átlag} * 100$ (Püski, 2024).

	LNH01-LNH05 KI_a		LNH01-LNH05 KI_b		LNH01-LNH05 Karotinoid	
	Kontroll	Fertőzött	Kontroll	Fertőzött	Kontroll	Fertőzött
Átlag	65,72	65,07	21,30	21,77	9,77	9,63
Szórás	5,44	9,06	1,83	5,39	1,00	1,04
CV (%)	8,28	13,92	8,57	24,77	10,28	10,80



6. ábra: A fotoszintetikus pigmentek (a: klorofill a, b: klorofill b, c: karotinoidok) átlagos mennyisége és szórása (Püski, 2024).

Általánosságban elmondható, hogy a kis mértékű szórást és variációs koefficiens jobban állapotnak lehet tekinteni, ugyanis a kisebb érték nagyobb hasonlóságot, ennél fogva nagyobb stabilitást jelent.

Az öt hibrid levélmintáinak fotoszintetikus pigmenttartalom méréseinek eredményei fényében arra a következtetésre juthatunk, hogy ugyan a leveleken nem volt szemmel látható különbség, mégis a fertőzött minták esetében heterogén a pigmentáltság, míg a kontroll esetében sokkal stabilabb eredmények mutatkoztak meg, így elmondható az, hogy a fertőzés hatással lehetett a vegetatív részek fotoszintetikus pigmenttartalmára is, annak ellenére, hogy a kórokozó bejuttatása a generatív részen ment végbe.

5. Összefoglalás

Manapság a hibridek és így a kukorica hibridek előállítása során is a legfontosabb szelekciós kritériumok közé tartozik a hozampotenciál, a kiszámíthatóság, a dőlésellenállás, valamint fontos még a különféle kártevőkkel és betegségekkel szemben mutatott tolerancia. Annak érdekében, hogy ilyen jellegű toleranciát alakíthassunk ki a nemesítés során, elengedhetetlen aspektus az, hogy megismerjük a hibridek ellenálló képességét. Ezen a területen belül a mai napig sok hiányossággal találkozhatunk a gyakorlatban annak ellenére, hogy folyamatosan zajlanak a kutatások, amik révén újabb eredményekre tehetünk szert.

A csőfuzáriózissal szembeni nemesítés során nagyon sok szempontot/tulajdonságot figyelembe kell venni. A csővégi szemek elhelyezkedése, az, hogy a csuhélevelek mennyire hosszan takarják a csövet, a bibeszálak hosszúsága mind hatással lehetnek a természetes fertőződés mértékére, illetve annak lefolyására. A mai világban azonban a nemesítési célok sokkal inkább a hozamra fókuszálnak, hiszen élelmezési szempontból egyelőre ez élvez prioritást, ezzel másodlagossá téve a betegségekkel szembeni ellenállóképességet.

Természetesen a takarmány- és élelmiszerbiztonság mellett nem elhanyagolható tény a fuzáriózis hozamra gyakorolt hatása sem. Ennek fényében a dolgozatomban bemutattam, hogy milyen hatással lehet a betegség terjedése a csövek súlyára és hosszára. Emelett méréseket végeztem azt illetően is, hogy a generatív részeken bejutott kórokozó hatással lehet-e a vegetatív részek fotoszintetikus pigmenttartalmára, mely alapvető mutató a fotoszintézis hatékonyságának, és így a fejlődő termés asszimilátumokkal való kiszolgálásának szempontjából.

Diplomamunkám során kiválasztottam öt kukoricahibridet és ezeket vizsgáltam több kísérleten keresztül. A vizsgált két év (2022-2023) időjárása igen eltérőnek bizonyult a tenyészidőszak alatt, ami szépen megmutatkozik ezen felvételezések eredményeiben is. Csőmintákat is szedtem a 2023-as év során.

A kukorica fuzáriózissal szembeni vizsgálatához kísérleti parcellákat vetettünk el, hibridenként 15 növénnel, a vizsgálni kívánt hibridek esetében feljegyeztem a parcellákon belül az 50% -os bibevirágzást, majd az oltás során előírt protokollt betartva az előírt mennyiségben és módon hibridenként beoltottam öt-öt hasonló virágzási stádiumban levő növényt *Fusarium verticilloides* inokulummal. Érést követően, de a betakarítást megelőzően lefosztottam a

csuhéleveleket a fertőzött csövekről és felvételezéseket készítettem a Bolton-skála alapján az adott pillanatban látottakról.

A 2023-as évben a fertőzött csövek közül három reprezentatív mintát, emellett pedig három random, kontroll csövet szedtem a további vizsgálatokhoz. A csövekről hibridenként fotókat készítettem, amikkel a kontroll és fertőzött csoportok közötti különbségeket szerettem volna reprezentálni. A mérési vizsgálatok (hosszmérés, tömegmérés, szemek tömegének mérése) elvégzése során figyeltem arra, hogy a minták nedvességtartalma egységes legyen, így ilyen különbség ne tudja torzítani az adatokat.

Vizsgálataim során két hibrid esetében tapasztaltam azt, hogy nagyobb fokú toleranciát mutatott a fuzáriózissal szemben, mint a többi három. Azonban, ha csak a Bolton-skála alapján elvégzett felvételezések eredményeire hagytam volna, akkor a három kevésbé toleráns hibrid közül kerültek volna ki a legjobbak. Itt szépen megmutatkozott az, hogy érdemes a vizuális észlelést mérési vizsgálatokkal egybekötve alkalmazni, hogy sokkal átfogóbb és valósabb képet kaphassunk a betegség növényre gyakorolt tényleges hatásairól.

A generatív részek mellett kíváncsi voltam arra is, hogy a csövön keresztül bejuttatott kórokozó vajon hatással lehet-e a vegetatív részek fotoszintetikus pigmenttartalmára.

A vegetatív részek vizsgálatához levélmintát gyűjtöttem a kontroll és a fertőzött növényekről három-három ismétlésben, a cső érésének időszakában, amikor a levelek még zöldek voltak.

Az össz-klorofilltartalom és a spektrofotométeres pigment-meghatározás alapján azt a következtetést tudtam levonni, hogy a fertőzés kedvezőtlen hatást gyakorolhatott a pigmentszintézisre, ugyanis a fertőzött növényekről szedett levélminták esetében a levelek pigmentáltsága fokozott változékonyságot mutatott.

Zárásként elmondható az, hogy a *Fusarium* fajokkal - és az általuk termelt mikotoxinokkal - szerzett ismereteink még igencsak hiányosnak bizonyulnak. Az egészségünkre gyakorolt kedvezőtlen hatásuk mellett számos gazdasági kárt képesek okozni, amik miatt egyre nagyobb jelentőséget kaphatnak a különféle tudományos anyagok és kísérleti eredmények. Emiatt is gondolom fontosnak a diplomadolgozatomban is megismert fogékonysági kísérleteket. Ezek segítségével képesek vagyunk megismerni egy fertőzés természetét, illetve a vizsgált hibridek toleranciáját is, ezért mindenképpen fontos az ilyen és ehhez hasonló vizsgálatok elvégzése a továbbiakban is.

6. Irodalomjegyzék

- Baghbani, F., Lotfi, R., Moharramnejad, S., Bandehagh, A., Roostaei, M., Rastogi, A., & Kalaji, H. M. (2019). Impact of *Fusarium verticillioides* on chlorophyll fluorescence parameters of two maize lines. *European Journal of Plant Pathology*, 154(2), 337–346.
<https://doi.org/10.1007/s10658-018-01659-x>
- Cortinovis, C., Pizzo, F., Spicer, L. J., & Caloni, F. (2013). *Fusarium* mycotoxins: Effects on reproductive function in domestic animals-A review. *Theriogenology*, 80(6), 557–564.
<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2013.06.018>
- Dorn, B., Forrer, H., Jenny, E., Wettstein, F., Bucheli, T., & Vogelsang, S. (2011). *Fusarium* species complex and mycotoxins in grain maize from maize hybrid trials and from grower's fields. *J Appl Microbiol*, 111, 693–706. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2011.05091.x>
- Duncan, K. E., & Howard, R. J. (2010). Biology of maize kernel infection by *Fusarium verticillioides*. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 23(1), 6–16.
<https://doi.org/10.1094/MPMI-23-1-0006>
- EC. (2013). Recommendations on the presence of T-2 and HT-2 toxin in cereals and cereal products. *Official Journal of the European Union*, 56(L 91), 12–15.
<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.2481>. Available
- El-Sappah, A. H., Rather, S. A., Wani, S. H., Elrys, A. S., Bilal, M., Huang, Q., Dar, Z. A., Elasztokhy, M. M. A., Soaud, N., Koul, M., Mir, R. R., Yan, K., Li, J., El-Tarabily, K. A., & Abbas, M. (2022). Heat Stress-Mediated Constraints in Maize (*Zea mays*) Production: Challenges and Solutions. *Frontiers in Plant Science*, 13(April).
<https://doi.org/10.3389/fpls.2022.879366>
- Eurostat. (2023). [Online forrás] https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Agricultural_production_-_crops Elérés dátuma: 2024.04.14.
- Ferrigo, D., Raiola, A., & Causin, R. (2016). *Fusarium* toxins in cereals: Occurrence, legislation, factors promoting the appearance and their management. *Molecules*, 21(5).
<https://doi.org/10.3390/molecules21050627>

- Gromadzka, K., Górna, K., Chełkowski, J., & Waśkiewicz, A. (2016). Mycotoxins and related Fusarium species in preharvest maize ear rot in Poland. *Plant, Soil and Environment*, 62(8), 348–354. <https://doi.org/10.17221/119/2016-PSE>
- Hidvégi, S. (2008). NÉHÁNY IDŐJÁRÁSI TÉNYEZŐ HATÁSA A KUKORICA TERMÉKENYÜLÉSÉRE. *Doktori Értekezés, Szent István Egyetem, Gödöllő*, 3, 1–12.
- Inch, S. A., & Gilbert, J. (2003). Survival of Gibberella zeae in Fusarium-damaged wheat kernels. *Plant Disease*, 87(3), 282–287. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2003.87.3.282>
- Kumar, B., Karjagi, G. C., Jat, S. ., Parihar, C. M., Yathish, K. R., Singh, V., Hooda, K. S., Dass, K. A., Mukri, G., Sekhar, J. C., Kumar, R., & Kumar, R. S. (2012). Maize Biology: An Introduction. *DIRECTORATE OF MAIZE RESEARCH (INDIAN COUNCIL OF AGRICULTURAL RESEARCH)*, 13(5), 600–603. <https://doi.org/10.1097/00001648-200209000-00019>
- Mukhtar Iderawumi, A. (2018). Characteristics Effects of Weed on Growth Performance and Yield of Maize (Zea Mays). *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, 7(3), 7–10. <https://doi.org/10.26717/bjstr.2018.07.001495>
- Mwanza, C. (2020). GENETIC ANALYSIS FOR HEAT TOLERANCE IN TROPICAL MAIZE (Zea mays) BY. *Journal Biocontrol Science and Technology*, 2(July), 20–35. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13555.76329>
- Nayaka, S. C., Wulff, E. G., Udayashankar, A. C., Nandini, B. P., Niranjana, S. R., Mortensen, C. N., & Prakash, H. S. (2011). Prospects of molecular markers in Fusarium species diversity. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 90(5), 1625–1639. <https://doi.org/10.1007/s00253-011-3209-3>
- Nguyen, T. T. X., Dehne, H. W., & Steiner, U. (2016). Maize leaf trichomes represent an entry point of infection for Fusarium species. *Fungal Biology*, 120(8), 895–903. <https://doi.org/10.1016/J.FUNBIO.2016.05.014>
- Oladejo, *, & Adetunji, J. A. A. (2012). Economic analysis of maize (zea mays l.) production in Oyo state of Nigeria. *Agricultural Science Research Journals*, 2(2), 77–83.
- Oldenburg, E., & Ellner, F. (2015). Distribution of disease symptoms and mycotoxins in maize ears infected by Fusarium culmorum and Fusarium graminearum. *Mycotoxin Research*,

- 31(3), 117–126. <https://doi.org/10.1007/s12550-015-0222-x>
- Oldenburg, E., Höppner, F., Ellner, F., & Weinert, J. (2017). Fusarium diseases of maize associated with mycotoxin contamination of agricultural products intended to be used for food and feed. *Mycotoxin Research*, 33(3), 167–182. <https://doi.org/10.1007/s12550-017-0277-y>
- Rampersad, S. N. (2020). Pathogenomics and management of fusarium diseases in plants. *Pathogens*, 9(5). <https://doi.org/10.3390/pathogens9050340>
- Ranum, P., Peña-Rosas, J. P., & Garcia-Casal, M. N. (2014). Global maize production, utilization, and consumption. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1312(1), 105–112. <https://doi.org/10.1111/nyas.12396>
- Santiago, R., Cao, A., & Butrón, A. (2015). Genetic factors involved in fumonisin accumulation in maize kernels and their implications in maize agronomic management and breeding. *Toxins*, 7(8), 3267–3296. <https://doi.org/10.3390/toxins7083267>
- Schollenberger, M., Müller, H. M., Ernst, K., Sondermann, S., Liebscher, M., Schlecker, C., Wischer, G., Drochner, W., Hartung, K., & Piepho, H. P. (2012). Occurrence and distribution of 13 trichothecene toxins in naturally contaminated maize plants in Germany. *Toxins*, 4(10), 778–787. <https://doi.org/10.3390/toxins4100778>
- Sherif, M., Kirsch, N., Splivallo, R., Pfohl, K., & Karlovsky, P. (2023). The Role of Mycotoxins in Interactions between Fusarium. *Toxins*, 15(575).
- Shin, J. H., Han, J. H., Kim, K. S., & Kim, K. S. (2014). Characterization of the maize stalk rot pathogens *Fusarium subglutinans* and *F. temperatum* and the effect of fungicides on their mycelial growth and colony formation. *Plant Pathology Journal*, 30(4), 397–406. <https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.08.2014.0078>
- Szőke, C. (2011). *Kukorica genotípusok fuzáriumos szárkorhadása és a szár szöveti szerkezete közötti összefüggés-vizsgálatok és hatásuk a szárszilárdságra Doktori (PhD) értekezés Martonvásár. Szent István Egyetem.*
- Tenaillon, M. I., & Charcosset, A. (2011). A European perspective on maize history. *Comptes Rendus - Biologies*, 334(3), 221–228. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2010.12.015>

Timmusk, S., Nevo, E., Ayele, F., Noe, S., & Niinemets, Y. (2020). Fighting fusarium pathogens in the era of climate change: A conceptual approach. *Pathogens*, 9(6).
<https://doi.org/10.3390/pathogens9060419>

http1: <https://evolution.earthathome.org/grasses/andropogoneae/maize-morphology/>

7. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani a belső konzulensemnek, Dr. Fóti Szilviának a rengeteg türelméért, a sok segítségért és építő jellegű ötletért, amik nagyban elősegítették a dolgozatom elkészülését. Továbbá köszönettel tartozom még a külső konzulensemnek Pál Mihálynak, aki közreműködött a szántóföldi kísérleteim elvégzésében. Végül pedig meg szeretném köszönni Dr. Balogh Jánosnak és Lajkó Melindának a laborkísérleteim elvégzése során nyújtott rengeteg segítséget, és a szükséges eszközök biztosítását.

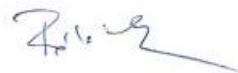
NYILATKOZAT

Püski Livia (hallgató Neptun azonosítója: EXVARR) 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 javaslom.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem

Kelt: 2024. év április hó 28. nap



belső konzulens

NYILATKOZAT

A diplomadolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Püski Livia

A Hallgató Neptun kódja: EXVARR

A dolgozat címe: Generatív növényi részek Fusarium gombával való fertőzésének vizsgálata kukorica hibrideken

A megjelenés éve: 2024

A konzulens intézetének neve: Növénytermesztési-tudományok Intézet

A konzulens tanszékének a neve: Növényélettan és Növényökológia 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 szellemitulajdon-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: 2024. év április hó 22. nap



Hallgató aláírása