

Toxikus gombák a gabonafélékben – holisztikus megközelítés az élelmiszer-biztonság, a termésmennyiség és a jövedelmező termelés egyidejű biztosítására

Mesterházy Ákos  

Gabonakutató nonprofit Kft., Szegedi Tudományegyetem

Összefoglalás

A világon a toxinszennyezés mértéke gabonáknál 25%, körülbelül 540 millió tonna. A toxikus gombákkal szembeni védekezés hatékony eljárásai ma már a toxinszint lényeges csökkentésére is lehetőséget adnak az éghajlatváltozás ellenére is. A köztermesztésben levő fajták és hibridek között sokszoros ellenállóság-különbség van, de túlnyomó részük (70-80%) járványos években nem védhető, mivel a rezisztencia és a toxinfelhalmozódással szembeni ellenállóság nem kapcsolt, illetve a környezet és a genetika is sokszor eltérően szabályoz, ezért toxinmérések nélkül élelmiszer-biztonságot mérni nem lehet. Ezért ezeket nem szabad köztermesztésbe engedni, illetve onnan ki kell vonni. A fajtaminősítésnek ezt biztosítania kell. A közepes ellenállóságú fajták alkalmazása a legjobb fungicidekkel kombinálva akár 99% DON-csökkentést eredményezhet, és a limit alatt tarthatja a DON-tartalmat. A nemesítésben az alkalmazkodóképesség növelése kulcskérdés. Mivel a toxikus gombák és toxinjaikkal szembeni ellenállóság poligénes, ezért ugyanúgy nagyszámú, 24 vagy efeletti vizsgálat átlagából és szórásából kell kiindulni. 2-3 adat alapján (ez a nemzetközi standard) sem az ellenállásról, annak mértékéről, sem a toxinreakcióról nem lehet érvényes állítást tenni. A talajok termőképességét helyre lehet állítani. A termelési feltételeket tábla- és fajtaszinten optimalizálni kell. A fajta a legfontosabb termelőeszköz, minden egyéb hatást meghatároz, ezért vigyázni kell rá, mint a szemünk világára.

Kulcsszavak: gabonafélék, toxikus gombák, toxinok, rezisztencianemesítés, fajtaminősítés

1. Beköszöntő

A magyar gabonatermelés évek óta válságban van. Az egyoldalú termésnövelés nem jött be, az ötéves nemzeti átlagok búzában 1985–1990 óta nem növekedtek, 5 t/ha körül vannak, annak ellenére, hogy ma 3-400 000 ha-ral kisebb területen van búza, ami túlnyomórészt takarmánybúza. Az orosz és ukrán versenytársak ezt a minőséget olcsóbban tudják előállítani. Míg a bécsi vagy bolognai tőzsdén 1 t 15%-nál nagyobb fehérjetartalmú, kiváló reológiai tulajdonságokkal rendelkező búzát 360-380 Euro/t értéken forgalmaznak (2024) a 12,5-13%-os fehérjetartalmú malmai búza 200 eurót valamivel meghaladó áron, addig nálunk a gabonatőzsde működésképtelen, a minőséget nem fizetik meg, így az állami gazdaságpolitikai beavatkozást igényelne. A minisztérium véleménye szerint nem dolga, hogy beavatkozzon a piacba, holott a KAP és nemzeti agrárpolitika évente sok száz milliárdot költ támogatásra, ami piaci beavatkozás.

Az olcsó ukrán gabona csak felszínre hozta a több évtizedes strukturális problémákat, amelyeket a klímaválság még tovább növelt. Ez részben az egyre gyakoribb aszályokban és hősokkokban, másrészt az ezek következtében fellépő mikotoxinok, például a fumonizinek, aflatoxinok,

T-2/HT-2 toxin, határérték feletti előfordulásában is jelentkezik. A sok millió tonnás termés kiesésén túl ez ma már nemcsak a kukoricában, de búzában is igazolt. Ezzel párhuzamosan a magyar gabonanemesítés egyre kevésbé tudja ellátni feladatát, holott azokat a fajtákat, hibrideket, amelyek a betegségekkel, a mikotoxinokkal és az extrém mértékű hazai felmelegedéssel szemben jobban ellenállnak, részben magyar nemesítésből, részben a nemzetközi kínálatból ki lehet válogatni, azaz a jelenlegi gabonaportfóliót egy sokkal magasabb alkalmazkodóképességű portfólióra kell cserélni. Az, hogy aratáskor a toxinos gabonából nagyjából 1,6 millió tonnát el kell különíteni, a túlnyomórészt raktári minőségromlás pedig legalább 3 millió tonna gabonát érint, elviselhetetlen terhet jelent.

Ez egyúttal szuverenitási probléma is, hiszen, ha versenyképes magyar nemesítés híján kizárólag külföldi fajtákra leszünk utalva, az élelmiszer-biztonság és az élelmiszer-ellátási biztonság veszélybe kerülhet. Többek között ezért is kell a fajtaminősítést helyzetbe hozni, hogy az összes alkalmazkodóképességhez (biotikus és abiotikus) szükséges tulajdonságot mérni, ezzel a termelés legfontosabb biológiai alapját biztosítani tudja. A másik oldalról helyzetbe kell hozni a magyar nemesítést, mert elvileg nekünk kellene tudni, hogy pontosan milyen ökológiai körülményekhez kell alkalmazkodni, és milyen minőségi paramétereknek kell megfelelni a piacképesség és eladhatóság érdekében. Ezzel, bárhol jön a fajta, meg tudnánk határozni, hogy melyik az, amely a legkisebb kockázattal a köztermesztésbe engedhető.

*Ehhez egy komplex mezőgazdasági reform kell. Ennek kivitelezése, annak mélységétől függően, 3-700 milliárd Ft többletbevételt jelentene évente a sokkal jobb minőség és a lényegesen kisebb veszteség következtében. Ehhez azonban jól szervezett termelési és nemesítési láncra lenne szükség. A mezőgazdaság kutatás- és tudományigényes ágazat. Súlyos nemzeti és szuverenitási érdek, hogy ez legyen a fejlődési pálya, és visszanyerjük elvesztett piacainkat és exportáljuk azt a tudást, amely ma még megvan. Az átalakított támogatásoknak változatlan vagy növekvő mértékben maradniuk kell, de ennek sokkal inkább kellene szolgálnia a termelés hatékonyságának növelését, mint ma. A holisztikus gondolkodás és szervezés éppen ezért létkérdés. A kínai és brazil együttműködések, az 2025 elején általunk alapított *International Innovation Research and Education Foundation* is ezt a célt szolgálja. Ez a tanulmány ennek a programnak a mikotoxinokkal kapcsolatos problémáira összpontosít, amelyben a világ egyik legjobb laborja voltunk. Abban reménykedünk, hogy ez a munka a jövőben is tovább folyhat.*

Áttekintést adunk a mikotoxin-problémák élelmiszer-biztonsági, takarmánybiztonsági, nemesítési, genetikai, növényvédelmi és módszertani területen elért eredményekről, amelyek Szegedet az egyik legfontosabb nemzetközi kutatóhellyé tették. Ezek meghatározóak mind az élelmiszer-, mind a takarmánytermelés modernizálásához.

2. Bevezetés

A toxikus gombák problémaköre világszintű gond, nagyon összetett problémakör. Igen sok területre terjed ki, amely részben mikológiai probléma, azaz arról szól, hogy milyen fajok okozzák. Ez kórtani kérdés, hiszen ezen belül le kell írni a tüneteket és a tünetek eltérését különböző fajtákon és rezisztenciaszinteken is elemezni kell. A betegség-ellenállóság kulcskérdés, ezért ezen a területen a nemesítésnek is van feladata. A járványtani aspektus ugyancsak lényeges, mert a járványok terjedése nemcsak egy adott időpont fertőzöttségére utal, hanem annak dinamikája is fontos, mert a betegségfejlődésen túl a toxintermelést is befolyásolhatja. Az agrotechnika, a környezet hatása igen fontos, vagyis erre is ki kell térni a növénytermelés területén. A járványok előrejelzésének pontossága is fontos, amihez viszont számos adatra van szükség. A mikotoxinok igen sok (kb. félezer) vegyületet jelentenek, de közülük talán tíz sorolható a legfontosabbak közé,

gyakorlatilag azok, amelyekhez kötelező határérték van. Emiatt az élelmiszer-biztonság és takarmánybiztonság is kulcskérdés, és a toxinok élettani hatását is ismerni kell úgy az emberben, mint a gazdasági állatokban. Ma már a molekuláris genetika majdnem minden szakterületet átszöött, emiatt ez is fontos. A gazdaságossági és költségproblémák is döntőek, annak érdekében, hogy el tudjuk dönteni, melyek azok a legfontosabb problémák, ahol a kutatás viszonylag gyorsan tud akár igen jelentős eredményeket elérni. Magyarországon napjainkban a gabonaféléken a toxikus gombákra helyeződött a legnagyobb kutatási energia. Ez nagyjából Szegeden folyt, de igen fontos a martonvásári kutatómunka is, amely egyrészt a régi magyar fajták vizsgálatával fedezett fel rezisztenciaforrásokat, másrészt a QTL- (quantitative trait locus) kutatásban is fontos eredményeket értek el. Emellett a nemesítési anyag szűrése is folyamatos, ami hozzájárult a martonvásári fajták sikerességéhez (SZUNICS és SZUNICS, 1992; SZUNICS és MTSAL, 1997; PUSKÁS és MTSAL, 2002; PUSKÁS 2013). Ez a kiadvány összegzi azokat az eredményeket, amelyeket a magyar kutatás eddig elért, másrészt a jövő feladatait is megkísérli felvázolni. Azt reméljük, hogy ezzel a kiadvánnyal mind a felhasználók, az érdeklődők, és még inkább a döntéshozók figyelmét is sikerül a témára irányítani. Ez természetesen jelentős kutatási forrásokat igényel, amelyek többnyire nem állnak rendelkezésre. Emiatt a témakör nemzetgazdasági, stratégiai és politikai jelentőségét is fel kell vázolnunk. Ez a mi, azaz a kutatók feladata, mert ezt más nem fogja helyettünk elvégezni, a szükséges szaktudás ugyanis máshol nem áll rendelkezésre.

A tanulmány 55 év következetes kutatásának rövid összefoglalását adja, amely számos aspektust vett figyelembe a kórtan, a nemesítés, az élelmiszer-biztonság, a toxikológia, az egészségügy, az agronómia, a növényvédelem, és a gabonatermelési reformig bezárólag. Ezek összes fontos elemét integrálását tartjuk holisztikus módon szem előtt, hogy a szemestermény-termelés jelenleg közel kétharmados veszteségét egyharmaddal csökkenteni lehessen. Ezzel egyben a jelenlegi nyolcmilliárd ember felett akár további négy milliárdnak is kenyeret és állati terméket adva.

Az MTA tagjai közül sokan kötődnek a toxikus gombák különböző témaköreire, néhány éve még nyolcan voltak. Ma ez a szám öt, bár további növénytermesztési, állattenyésztő, állatorvos, biotechnológus és közgazdász akadémikusok is kötődnek a témakörhöz, de nem közvetlen kutatási együttműködések révén. Itt említjük például a kimenetet az egészségügy (humán és állat), a közgazdaság, a vegyipar, a biológiai ipar, és további élet- és nem élettudományok felé is, hiszen a hatalmas adattömeget feldolgozni az MI segítségével is meg kell tudni oldani. Ebben nemcsak a hazai, hanem a nemzetközi együttműködésre is számítunk, a kínai, brazil és BRICS-kapcsolatok fejlesztése is ebbe az irányba mutat.

3. A termelési lánc gyengeségei és következményei

A gabonafélék toxikus gombákkal szembeni kitettsége, a kisebb-nagyobb gyakorisággal előforduló járványok következtében bekövetkezett mennyiségi és minőségi károk (mikotoxin-szennyezettség és egyéb minőségi paraméterek) globálisan is igen jelentős károkat okoznak. A FAO a betakarított termés 25%-át tartja toxinszennyezettnek (PARK és MTSAL, 1999; ESKOLA és MTSAL, 2019). A 2018-as globális termés esetében (2102 millió t), így 525 millió tonna toxinfertőzött rész vagy hiányzik, vagy értékcsökkent és jelentős részben használhatatlan. Ezekből az adatokból nem derül ki, hogy mennyi volt ebből az aratáskor már szennyezett hányad, azaz szántóföldi eredetű. Ez, ahogy MESTERHÁZY és MTSAL. (2020a) adataiból látható, a határérték feletti terményszázalék aránya 10%-ra tehető, azaz 210 millió tonnát érint. A többi kis különbséggel megfelel a fenti becsléseknek. Ez részben a nem megfelelő raktározási körülményeknek köszönhető, másrészt pedig azért, mert aratáskor nincs toxinmérés, ezért, ha a termés 10-20%-a szennyezett, akkor ez a raktárban akár a termés 50%-át is elszennyezheti. Saját felmérésünk nemcsak a learatott termést és annak

sorsát vette figyelembe, hanem az aratás előtti veszteségeket is. Kis különbséggel a növényvédelmi irodalom ezt a kárt egyharmadra becsüli (kórokozó, állati kártevő, gyom) (MESTERHÁZY ÉS MTSAI. (2020a). Ugyanide csoportosítottuk az abiotikus stresszeket, mint például a hősokk, aszály stb. elemet is, bár a dolgozatban a 3%-os aratási veszteséget külön vettük, most ezt is integráltuk az egyharmadba, hiszen a raktárba ez már meg sem érkezik. Ennek alapja az a megfontolás, hogy az aszályos, száraz években a mikotoxinok előfordulása nem jellemző (kivéve az aflatoxinokat és fumonizineket, ezek jelentősen növekedni tudnak). Ez az egyharmad a tényleges terméshez hozzáadva mutatja a globális *termelési kapacitását, ami 3153 millió tonna (2018)*. A teljes termelési lánc vesztesége pedig közel 2000 millió tonna. Ha valami fenntarthatatlan, akkor ez az, és a bolygó korlátozott erőforrásainak eszement pazarlása. *Ezért a mi feladatunk ennek a veszteségnek a csökkentése.* Az aratás előtti veszteségek csökkentése egyértelműen termésnövekedéssel és minőségjavulással jár, különösen, ha a minőségi fajtákat részesítjük előnyben, az aratás utáni beavatkozások pedig a megtermett termés minőségének megőrzését szolgálják. Mindkettő a gazdaságosság és jövedelmezőség akár megduplázódását jelentheti.

A forró, azonnali beavatkozást igénylő lánchelyek: 1. Nemesítés, fajtaminősítés, egyéb kórokozókkal szembeni ellenállóság, biotikus és abiotikus stresszrezisztencia. 2. Biológiai talajművelés megteremtése, víztakarékos öntözés, ami azt jelenti, hogy a csatornarendszerben legalább egy éven át tárolni kell a vizet, valamilyen alagsövezés, vakonddrénezés szükséges, hogy a víz mindenhol eljusson. 3. Minőséget megtartó aratás, akár rendre aratás és kombájnnal a tökéletesen érett szemet gyorsan ki lehet csépelni. Minden betakarított tételt ellenőrizni kell mikotoxinszennyezettségre és azokat elkülönítve tárolni. Ehhez a fóliaalagutas technológia a legjobb, ami akár a tábla szélén is működtethető, a gyors mikotoxin-mérést pedig már a kombájnrítés alatt el lehet végezni. A különböző mikotoxin-tartalmú tételeket külön kell kezelni. Kritikus a raktározás, ahol folyamatos online ellenőrzés szükséges, ehhez szükség van manipulációs képességre, amelynek alapján a kritikus tételeket 24 órán belül kezelni lehet, kellenek továbbá üres silók vagy fóliaalagutak, ahol a kezelt terményt biztonságosan tovább lehet tárolni. Végül a tárolás során pusztul el a termés nagyobb része, ezt 20%-ra becsültük. Ha a fent említett közel 2000 millió tonna veszteséget a negyedével csökkenteni tudnánk, az ma megoldaná további 3-4 milliárd ember teljes ellátását. Az 50%-os csökkenés is valószínű, ez pedig már azt jelenti, hogy jelentős területeket lehetne kockázat nélkül visszaerdősíteni. Technológia már erre is rendelkezésre áll. Természetesen ennek a munkának az itt tárgyalt toxinproblémák megoldása egyik előfeltétele, ennek hiányában a többi feladat teljesítése is gondokkal fog járni.

A magyar helyzet – a fenti arányokkal átszámolva (1. táblázat) – szerint az aratás előtti veszteség 8 millió tonna. Ez nemesítéssel a biotikus és abiotikus ellenállóság javítása révén hosszabb távon, 4-5 év alatt, 4 millió tonnára csökkenhetne. A talajművelési reform pedig segíthetné a termésnövelést. A nemesítésnek összességében 25-30%-os eredményjavító hatása lenne, ez körülbelül 4 millió tonna körüli plusz termést jelent. A raktározás, azaz, ha csak egészséges szemekkel töltjük fel a tárolókat és a terményt meg tudjuk őrizni eredeti minőségében, esetleg javítani is, akkor a 3,2 millió tonna értékcsökkent áru helyett jól fizető árunk lenne. Az aratási mikotoxinszennyezettség csak az érzékeny fajták kizárása révén minimum egymillió tonnás javulással járna. Azzal számolunk, hogy a többi veszteségforrás csökkenése révén, a 14,8 millió tonna 7,5 millió tonnára csökkenthető. Egyelőre nem mennénk tovább, de tudományos tartalék biztosan van. A 7,5 millió tonna plusz értékes termés (többször és megtartott minőség) akár évi 700 milliárd plusz bevételt jelenthetne a gazdálkodóknak. A 9,1 millió tonna ma is meglévő termés minőségi javulása is hozhat jelentős többletet, a búzánál ez akár 30-40% lehet, a többinél kisebb, de ha takarmányértékben előre lépünk, itt is lehetne árnövekedést elérni, amellyel 2-300 milliárd is

lehetségesnek látszik. *A gazdasági állatok kiváló termelési adatokat csak hibátlan takarmánnyal tudnak elérni. Az állatok is megérdemlik a Michelin-kiszolgálást.*

Ez eddig csak az alapanyag-termelés. De az élelmiszeripar, a kereskedelem is hozzátesz az értéklánchoz, és háromszoros szorzóval számolva (az USA-szoró tízszeres) akár 2700 milliárd plusz érték keletkezhet. Van hova fejlődnünk.

1. táblázat. Magyarország szemesztermény (búza, kukorica, árpa, tritikálé, rozs, zab) -termelése 2018-ban, az aratás előtti és utáni veszteségek együttes felmérése millió tonnában (MT)

Tétel	MT	Terméskapacitás %	Aratott termés %
Kihasználható kapacitás	24,0	100	
Aratott termés	16,0	67	100
Aratás előtti veszteség (biotikus [^a tox. gomba 3%], abiotikus, aratási 3%, összesen 33%)	8,0	33	-
Tárolási veszteség (^a tox. 7–14%, egyéb 6–13%)	3,2	13	20
Határérték feletti mikotoxin-szennyezettség aratáskor	1,6	7	10
Ipari, kereskedelmi és egyéb fogyasztói veszteség	2,1	9	13
Összes veszteség	14,9	62	43
Tényleges egészséges szemfelhasználás	9,1	38	57

^atox. = toxikus

(Forrás: Mesterházy és mtsai. [2020] alapján)

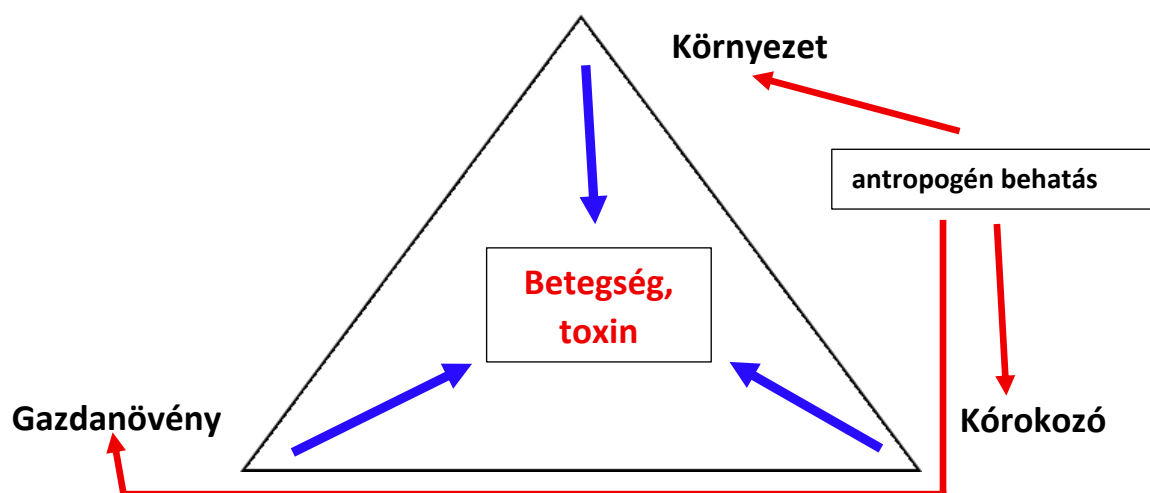
A növényes *Fusarium*-program Magyarországon a Növényvédelmi Kutató Intézetben kezdődött 55 évvel ezelőtt, majd 1972-ben ez a rész áttelepült Szegedre. Mint oly sok más esetben, búzában is egy nagy országos járvány (1970) indította el a munkát. A járvány tapasztalatait KÜKEDI (1971) összegezte, megállapítva, hogy igen súlyos járványhelyzetben minden táblán kialakult a súlyos fertőzés, az elővetemény és más, egyébként előnyös, agronómiai beavatkozások legfeljebb késleltették a járvány kitörését. 55 évvel ezelőtt indított egy belső szemfertőzőttséget vizsgáló kutatómunkát a Nébih jogelődje (OMMI), amely máig tart. Ez az adatsor csak részben van publikálva, de érdemes lenne az egészet közzétenni.

Magyarországon búza-szemfertőzőttségről és -csírabetegségről először HUSZ (1925) számolt be, MANNINGER (1927) pedig *Fusarium*ról és hópenésről tett említést. Az elő komoly járványról LELLEY (1965) tudósított először egy Dél-Magyarországot sújtó járvány okán. A kukoricában HUSZ (1942) két új kukoricabetegségről számolt be. A 60-as-70-es években a szárkorhadást tekintették a fontosabbnak, mára ez sokkal kisebb gond, viszont megnőtt a csőpenész jelentősége, mert az egészséges száron nem volt patológiás vízleadás, ez pedig akár 50%-kal is megnövelte fogékony hibrideknél a csőpenész-fertőzőttséget (MESTERHÁZY ÉS MTSAI., 2000). A 60-as és a 70-es években a fogékony jugoszláv és amerikai hibridek okoztak súlyos járványokat és tömeges zearalenon-mérgezéseket állatokban, kiemelten sertésekben, de minden gazdasági állatfajban akkora volt a kár, hogy az elindította a magyar kutatást is. A fumonizinek, a DON és az aflatoxinok csak évtizedekkel később váltak problémává, de ezekkel szemben a hazai kutatás már fel tudta venni a kesztyűt. Ezek a tenyészállományokban jelentettek kiemelt kockázatot, ami máig tart, és bár ma már sokkal többet tudunk róla, mint akkor, de a gyakorlatban mégis úgy látszik, mintha alig mozdult volna előre a helyzet, sőt a forróbb és szárazabb nyarak a korábban ismeretlen szántóföldi eredetű aflatoxinokat is napi problémává tették.

Ebben a tanulmányban a búza és kukorica toxikus gombáival kapcsolatos eddigi új ismereteket foglaljuk össze, egyrészt a nemzetközi színvonalhoz képest, másrészt a gyakorlat segítségének szempontjából.

Ha a Web of Science vagy a Scopus keresőjébe beírjuk a wheat és *Fusarium* kulcsszavakat, 8-10000 dolgozat jelenik meg, ha azonban finomítjuk a keresést akár fungicid, rezisztencia stb. irányba, akkor már sokkal kevesebb lesz a találat, és ha kellő kutatási tapasztalat van a hátunk mögött, biztosan találni fogunk olyan fontos kérdéseket, amelyekre a sok ezer cikkben egyszerűen nincs válasz, mert a kérdést fel sem tették. A kukoricában ennek nagyjából a fele jön össze, mivel a nemesítés túlnyomórészt magánkézben van és nem publikáció-, hanem profitcentrikus. Az a több száz hibrid, amit a nemzetközi kínálatból teszteltünk, 10-15% kivételével egy vagy több toxikus gombával szemben fogékony, azaz, ha van is ilyen jellegű munka, annak túl sok látszata nincs. Minden cégnél előfordul kiemelkedően jó és igen érzékeny hibrid. A nagyszámú dolgozat ellenére igen sok a megoldatlan probléma, mert a tudomány publikációcentrikus, a nemesítőnek viszont jó fajtát kell létrehoznia, de a rengeteg közleményből használható információt saját tapasztalat híján csak módjával lehet beszerezni. Mivel nemesítőként ismerem a problémákat, kutatóként is fel tudom tenni a kérdéseket, így valószínűbb, hogy a gyakorlatban is fontos előrelépés lehetőségét teremtettük meg az elmúlt fél évszázadban.

Végül, ide illesztjük a jól ismert betegségháromszöget, amely védekezés alapelehetőségeit mutatja (LEVEAU, 2024), de a jelenség felismerése 1909-re megy vissza, és első háromszöges változata MCNEW (1960) nevéhez fűződik. Ehhez nyugodtan hozzá tehetjük az antropogén tényezőt FISCHL (2008) megfogalmazása szerint, amely mindhárom főtenyezőt alapjaiban befolyásolja, vagyis a védekezés így már összes meghatározó tényezőjét figyelembe veszi. Ezeket a módosításokat itt átvezettük. Ma már ismert a kórokozó populáció variabilitása, a gazdanövény sokféle, ellenállóságot befolyásoló tulajdonsága és a környezetváltozás okozta változások is végigmennek az egész rendszeren, ahol egyidejűleg több betegséget is figyelembe kell venni, a toxintermelő gombáknál a toxinokkal is számolni kell, és az emberi beavatkozások lehetőségei is lényegesen megnőttek a korábbiakhoz képest, vagyis egyre tudásintenzívebb lesz a munka. Ezért is szomorú, hogy a kórtani, nemesítési és növényvédelmi kutatások lassan eltűnnek a magyar palettáról.



1. ábra. A betegségháromszög

(Forrás: LEVEAU [2024] és FISCHL [2008] alapján)

4. Búza

4.1. Kórokozók

A kórokozók jellegére már számos leírás született, voltak szaprofiták, nekrotrófok, gyengültségi paraziták, hogy csak a legfontosabbakat említsem. Ma viszont már számos közlemény van (pl. DING ÉS MTSAL, 2011), amely szerint a *F. graminearum* hemi-biotróf, vagyis a gazda-kórokozó közötti biológiai kapcsolat létrejötte után biotróf életmódot folytat, mint a rozsdák, és körülbelül három nap után vált át nekrotróf életmódra. Az összes további fajról ilyen információ nem áll rendelkezésre. Ezek a felfogások csak arra jók, hogy eltereljék a figyelmet a tulajdonképpeni alapproblémáról, miszerint egyszerűen a fogékonyság a probléma, aminek megoldása a feladat, és nem az, hogy egyes fogékony fajták viselkedését próbáljuk, egyébként nem bizonyítható feltételezésekkel megmagyarázni. Például mi a gyengültségi kórokozó, ha a tábla egyébként tíz tonnás termést adna? Ellenpélda a levél- és sárgarozsda, amelyek a magas N-ellátás miatt tömegesen jelennek meg érzékeny fajtákon, míg N-éhező növényeken alig fordulnak elő. Ebben az esetben senki sem beszél gyengültségi kórokozókról. Ez kitűnően látszott dr. Harmati István tartamkísérleteiben Fülöpszálláson. A környezet, a táplálás és az ellenállóképesség a betegségek és járványok alakulását alapvetően meghatározza. Elég a betegségháromszögre utalni (AGRIOS, 1997, LEVEAU, 2024), ami ezt a komplex viszonyrendszert megpróbálja egyszerűen érthetővé tenni.

Az elmúlt száz évben a *Fusarium* fajok rendszertana több alapvető változáson ment keresztül, ezért egy adott faj esetében számos szinonimát is ismernünk kell, ha különböző fajok előfordulását tényszerűen ismerni szeretnénk. Mára nagy vonalakban már kialakultak az új vonalak, és nagyszámú új *Fusarium* fajt is azonosítottak, nagyrészt a molekuláris technikák fejlődése révén. A búzánál a magyar mikológia legalább 16 fajt írt le, az előfordulási arányok évről-évre ingadoznak, de a *F. graminearum* és a *F. culmorum* dominanciája egyértelmű. A szegedi felvételezés annyiban tér el a többiekétől, hogy mi csak tünetes kalászból vagy tünetes szemekből izolálunk gombát, mert bennünket az érdekelt, hogy kórokozóként melyikkel kell számolni. A két említett két fajon túl a 4024 izolátumból 1-2%-ban *F. avenaceum*, *F. moniliforme*, *F. semitectum*, *F. sporotrichioides* és *F. acuminatum* fordult elő (MESTERHÁZY, 1984a). Ez egyébként mindenhol így van, legfeljebb a fontossági rangsorok változnak (2. táblázat) (BOTTALICO és PERRONE, 2002), de nem idézhető minden vonatkozó forrás. Azóta számos új elemmel bővült a paletta, de a lényegen nem változtat. E dolgozatnál a *F. graminearum* felosztása további tízen felüli fajra már megtörtént (TÓTH ÉS MTSAL, 2004; 2005). Ezek nemesítési jelentősége ismeretlen, mindössze egy fontos szegedi dolgozat íródott a tárgyban (TÓTH ÉS MTSAL, 2008) amely szerint ezeknek nemesítési jelentősége nincs. A táblázatnak két tanulsága van. Ugyanaz a faj számos eltérő toxint is termelhet, ezért a faj ismerete nem jelenti a termelt toxinok jelenlétének pontos előrejelzését, de ez fordítva is igaz, egy adott toxin alapján nem tudjuk a gombaforrást pontosan megmondani, még akkor sem, ha bizonyos valószínűséggel igen.

A probléma az, hogy mindenki egy kalap alá veszi ezeket a gombafajokat, mintha igazolt volna a rezisztencia kapcsoltsága. Ilyen adat a néhány *F. graminearum*/*F. culmorum* összehasonlításon túl csak Szegedről van (MESTERHÁZY, 1995; 2002; 2020; 2024a; MESTERHÁZY ÉS MTSAL, 1999; 2005; 2015). A sok faj együttes jelenléte világi jelenség, vagyis azzal a feltételezéssel él a tudományos közösség, hogy a rezisztencia a különböző fajokkal szemben kapcsolt, holott azt nem igazán tudjuk. Az alap kutatás szempontjából ma a DNS-munka jobban értékelt, ennek a tudásnak a hiánya viszont a probléma megoldását teszi beláthatatlanná.

2. táblázat. Toxintermelő *Fusarium* fajok búzaszemekből Európában

Faj	Földrajz	Európa		Mikotoxin
	Észak-Közép	Dél		
<i>F. graminearum</i> Schwabe	+++	+++		DON, NIV, ZEN, AcDON, FUS
<i>F. avenaceum</i> (Fr.) Sacc.	+++	++		MON, BEA, ENS
<i>F. culmorum</i> (W.G. Smith) Sacc.	+++	++		DON, ZEN, ZOH, NIV
<i>F. poae</i> (Peck) Wollenw.	+++	+		NIV, BEA, DAS, FUS, ENS
<i>F. equiseti</i> (Corda) Sacc.	+++	+		DAS, ZEN, ZOH
<i>F. tricinctum</i> (Corda.) Sacc.	+	+		MON
<i>F. cerealis</i> (Cooke) Sacc. (<i>F. crookwellense</i> , Burgess,	+	±		NIV, FUS, ZEN, ZOH
<i>F. sporotrichioides</i> Scherb.	+	±		T2, HT2, T2ol, NEO
<i>F. acuminatum</i> Ellis and Everhart	±	±		T2, NEO
<i>F. subglutinans</i> Wollenw. and Reinking	±	-		MON
<i>F. solani</i> (Mart.) Sacc.	±	-	-	
<i>F. oxysporum</i> Schlecht.	±	-	-	

AcDON = Monoacetyl-dezoxinivalenol (3-AcDON, 15-AcDON); BEA = Beauvericin; DAS = Diacetoxiscirpenol; DON = Dezoxinivalenol (Vomitoxin); ENS = Enniatinok; FUS = Fusarenon-X (4-Acetyl-NIV); HT2 = HT-2 toxin; MON = Moniliformin; NEO = Neosolaniol; NIV = Nivalenol; T2 = T-2 toxin; T2ol = T-2 tetraol; ZEN = Zearalenon; ZOH = zearalenolok (α és β metabolitok). A fajokat BOOTH (1971; 1977), valamint LESLIE ÉS SUMMERELL (2006) szerint néhány helyen korrigáltuk.

(Forrás: BOTTALICO ÉS PERRONE, 2002).

A rezisztencianemesítés több mint 100 éves hagyománya a betegségtünetek csökkentésére, illetve a tünetmentesség elérésére irányult. Ez számos nem toxintermelő gomba okozta betegség-nél bevált, sokszor kiváló eredménnyel. A toxintermelésnél az alapfeltételezés az, hogy a kevesebb tünet automatikusan kevesebb toxint jelent, a tünetmentesség pedig toxinmentességet. Természetesen vannak olyan genotípusok, ahol ennek van alapja, de a genotípusok jelentős részében többéves kísérleteknél négy izolátummal szemben is sokszoros különbségek voltak az 1% fertőzöttségre jutó toxintartalom között (MESTERHÁZY ÉS MTSAL, 1999; 2015; 2025). Ezen túl a toxintermelő fajok túlnyomó része alacsony fertőzőképességgel rendelkezik, ami ugyancsak szokatlan feladat a nemesítés részére (MESTERHÁZY, 2002; MESTERHÁZY ÉS MTSAL, 1999; 2005; 2015; 2025). Toxintermelési összehasonlító adatok egyszerűen nem léteznek, kivétel a *F. graminearum* és *F. culmorum* DON adatai, amelyek igen közeli rokonok azonos toxinspektrummal, de izolátumonként vannak eltérések.

A T-2 és HT-2 toxin a kötelező határértékű toxinok közé soroltatott, így erről is illene valamit tudni. Fontos lenne ismerni például, hogy a *F. graminearum* és *F. sporotrichioides* gombával szembeni rezisztencia ugyanaz-e. Nem mindegy, hogy akkor egy gombával lehet-e mindkettő ellen selektálni, vagy azt külön kell elvégezni. A DON-szabályozás meg a betegségtünet-szabályozás sokszor genetikailag eltér, de van eltérő környezeti dinamika is, amiről jóformán alig tudunk valamit, de úgy teszünk mintha ilyen gond nem lenne. Emellett például az *Aspergillus flavus*, amelynek aflatoxinjai már a búzában is megjelentek Magyarországon (BERÉNYI ÉS MTSAL, 2024), a HT-2 toxin gyakran határérték feletti koncentrációjával ugyancsak figyelmet érdemelnének (BERÉNYI ÉS MTSAL, 2024). Ezeknél már igazolt, hogy a betegséglefolyás és a toxintartalom nem egy esetben stresszfüggő is, azaz a száraz hőség és aszály lényegesen megnövelheti a toxinszennyezést, a júniusi 35 °C körüli hőmérsékletek ezért veszélyesek lehetnek. Úgy tűnik, ez is fajtafüggő, vagyis a toxintartalom járványtani lefutása igencsak eltérő lehet a betegség járványgörbéjéhez képest.

A nemzetközi dolgozatokból az látható, hogy ezek 95%-a a *F. graminearum*-mal foglalkozik, a legfontosabb toxin a DON, a nemesítési és genetikai munkában ugyanis 1-2 kivétellel ezekről van szó. Emiatt a DON és a *F. graminearum* uralkodó előfordulása általános, és először erre kell megoldást találni. Utána már sorban jönnek a többiek is, amelyeket ugyancsak nem lehet fél vállról venni (MESTERHÁZY, 2024a). Nem annyira a fertőzés súlyossága, mint a toxinszennyezés miatt. Arról tudunk beszámolni (MESTERHÁZY, 2002; MESTERHÁZY ÉS MTSAL., 2005), hogy a *F. graminearum*-mal szembeni rezisztencia véd a többi vizsgált fajjal szemben is a szemfertőzöttségi adatok alapján, de a többi *Fusarium* faj esetében toxinadat nem áll rendelkezésre. Egyetlen kivétel a *F. graminearum*- és *F. culmorum*-rezisztencia és a DON-termelés szoros összefüggése, amit nemzetközi irodalom is alátámaszt. A többről viszont jelenleg még fogalmunk sincs.

4.2. Tünetek és értékelésük

A betegség tünetei jól ismertek, a gombák virágfertőzők, párás, nedves és meleg időjárás kedvez a járványoknak. Az elmúlt ötven év harmadában volt a Nébih adatai szerint országos vagy jelentős területekre kiterjedő járvány. Itt két megjegyzést kell tenni.

Mint minden betegségnél, itt is a tünetek alapján dolgozunk. Ez azonban bonyolultabb, mint feltételeznénk. A fertőzött kalászkákat számoljuk, vagy ezek arányát, de itt is különböző súlyosságú tünetek alakulnak ki. Lehet a fertőzés éppen észlelhető kezdeti stádiumban, vagy a kalászkák már 50%-ban, vagy akár 100%-ban elpusztult. Sokezer fertőzött kalászmintát ilyen aprólékosan nem lehet értékelni, ezért a fertőzöttség alapvetően a fertőzött kalászkák számát mutatja, vagyis a fertőzött kalászkák a már jelentkező kezdeti tünetektől a totálkárig mindent magában foglal, ami bizonytalansági tényező a toxinra is. Itt kell említeni „bleaching”, „kifehéredés” tünetet, amely a fertőzött kalászkák feletti elhalt kalászrészeken alakul ki, de jellemzően aszott és egészséges színű termést adnak.

DEXTER ÉS VOWICKI (2003) számos kísérleti adatot ismertet, amely éppen ezeknek a szemeknek a toxintermelését vizsgálta. Nem találtak toxint, ami a fenti okfejtést igazolja. Sok szerző az aszott egészséges színű szemeket is az szemfertőzöttség (FDK, *Fusarium damaged kernel*) jeleként értékeli, ami hiba, hiszen nem közvetlenül a fertőzés okozta a problémát, hanem a kalásztengelyen a gomba adott helyen eltömte a tracheákat, így az efelett lévő kalászrész elhalt. Ha azonban úgy csépeljük a kalászokat, hogy az aszott, de egészséges szemek is megmaradjanak a mintában, és azokat ne fújassuk ki, akkor az aszott és egészséges szemek aránya mutatja a bleaching hatását, amit így utólag meg lehet állapítani. A kalásztünetek alapján tehát hajlamosak vagyunk felülvélni a tényleges fertőzöttséget, amit ezért a szemfertőzöttség jobban mutat. A szemek egy részének felülete a szokásos fénylő barna szemszín mellett poros, matt felületet ad, ez a kései szemfertőzés eredménye, a bonitálásnál ezeket többnyire egészségesnek minősítik. Ez hiba.

Mivel a bonitálás befejezése után még körülbelül egy hónap van aratásig, sok minden történhet, csapadékos meleg időben a fertőzés tovább terjed, ennek eredményét a szemfertőzöttség is mutatja. A művelet alapján a kalásztünetek szerint jól ellenálló növényeket a magas szemfertőzöttség miatt selejtezni kellett. A fogékony és nagyon fogékony genotípusokat már ki lehet szűrni a kalásztünetek alapján, de a szelekciót a szemfertőzöttség alapján érdemes elvégezni, ez ugyanis sokkal biztosabb. A szemfertőződésnél is vannak egészséges szemek, amelyben nincs gomba, de nem ritka a szabad szemmel egészséges mintában akár jelentős *Fusarium*-fertőzés megállapítása sem. Vannak szemek, amelyek normális méretűek, alakúak, de poros, matt felületűek. Ezek többnyire tartalmazznak toxint, de nem minden évjáratban fordulnak elő. A fehér vagy rózsaszín elszíneződés az, ami igazán jellemző, ezért a nemesítők számára is ez a legfontosabb, mert itt lehet mérni a legnagyobb toxinkoncentrációt. Bár a nemesítés leginkább a tünetekre összpontosít, a legfontosabb mégis a toxintartalom, hiszen a kereskedelem, a minősítés toxin alapján történik.

Emiatt a kutatás egyik legfontosabb feladata a toxintermelés genetikai, ökológiai és járványtani szabályozásának jobb megismerése és a toxinadatok súlyozott alkalmazása a nemesítés és fajta-vizsgálatok során. A téma a gabonaiparnál is alapvető fontosságú, és azt találták, hogy a szemfertőzőség az esetek jelentős részében előre jelezhet veszélyes toxinmennyiséget, de csak akkor, ha ezek korrekt kísérletekből származnak (DEXTER ÉS NOWICKI, 2003). A raktárakban már kevert áru van, a gabonaipar ezért nem tud ellenállóságra érvényes állásfoglalást tenni, viszont a szemfertőzőséget nagyon is figyelembe veszik, amit a nemesítők már csak ritkán tesznek meg, többnyire a tudás és források hiánya miatt.

Tünetnek tekintjük a toxintartalmat is, amelynek mérésére a DON és zearalenon esetében a HPLC a legutóbbi időig elég volt, a HT-2 toxin és aflatoxin esetében viszont már LC/MSMS-készülékre van szükség, ami a multitoxin-mérésekre is alkalmas. Ennek a témának bőséges az irodalma. Itt a gyakorlati gyors módszerek fontosak, hogy a friss termény minőségét néhány percen belül el lehessen végezni, például Waters VICAM 2021 tesztcsíkos, MycoFoss 2024 oldószeres, mindkettő hat mikotoxin egyidejű meghatározására, továbbá számos toxinra van egy toxin kimutatására alkalmas tesztcsík, itt körülbelül 3 perc kell a vizsgálathoz. Mivel gyorsak a változások, a keresőmotorokon érdemes tájékozódni. Ezek azért értékelődnek fel, mert az aratáskor már a bejövő termény gyorstesztje alapján az egyes rakományokat toxin szerint el lehet különíteni, így az eltérő toxintartalmú tételek keveréséből adódó károk nagyrészt elkerülhetők.

4.3. Rezisztenciakutatási eredmények

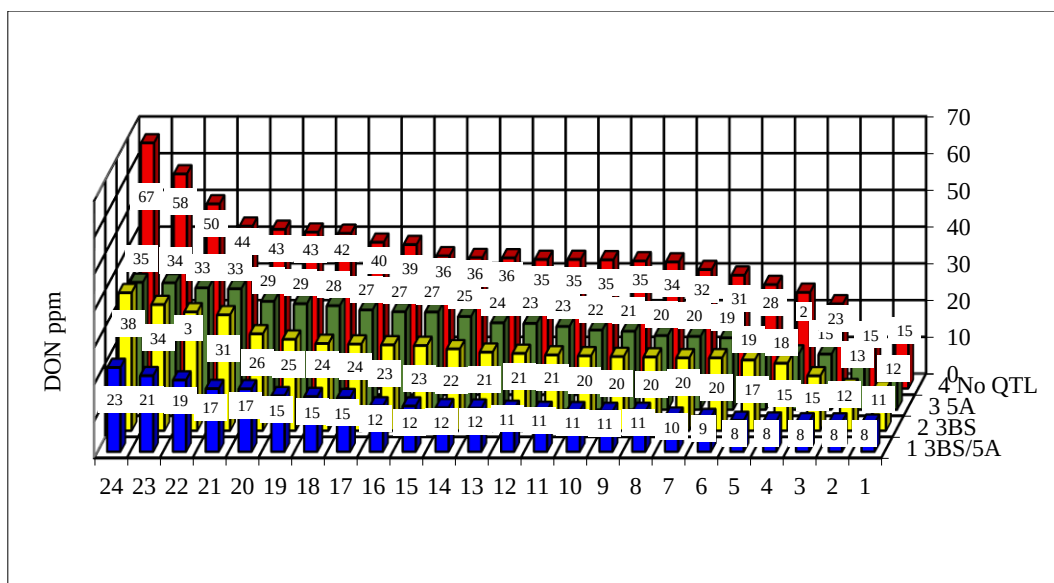
Korán elkezdtük a *Fusarium* fajok, ezen belül elsősorban a *F. graminearum*- és *F. culmorum*-izolátumok laboratóriumi fertőzőképességi vizsgálatát, amit egyébként kezdetben a világon minden program elvégez. Az nem volt meglepetés, hogy az izolátumok fertőzőképessége erősen szórt, az viszont már igen, hogy a fajtareakciók nem voltak azonosak, azaz a fajtasorrendek eltértek (MESTERHÁZY, 1977; 1981; 1984b). Ugyanis a rasszok hiánya miatt (DILL-MACKY, 2003) úgy gondolták, hogy egy izolátum elég, mert a rezisztenciakülönbségeket ezzel ki lehet mutatni. Ilyen megállapítás EEUWIJK ÉS MTSAL. (1995) dolgozatában is van. A dolgozatban csak kalászfertőzőség szerepel, de a toxinokról akkor még nem volt adat, és a szemfertőzőség is csak ekkor került látóterbe (MESTERHÁZY, 1995).

Mivel a fertőzőképességi teszteket több fajtán végeztük, ezért kiderült, hogy a fajtasorrendek eltérnek. Az alapot természetesen a kalászfertőződés adta, és elvégeztük a kalászon és fiatal korban a fertőzőképességi tesztek összehasonlítását is, amelyek pozitív eredménnyel zárultak, azaz a Petri-csészés tesztek alkalmasak a kalászon való fertőződés előrejelzésére (MESTERHÁZY, 1984a). Az irodalomban ma is az egy izolátumos inokuláció a szabvány, ezért az összes ilyen teszt megbízhatósága kétséges. Van egy további probléma is. Mi 4-5, hűvösebb időben akár 6 értékelést is végzünk, ami alapján fertőzőtségi átlagot vagy fertőzőtségi görbe alatti területet lehet számolni. BAI ÉS MTSAL. (1996) azt írták le, hogy mivel a különböző időpontokban kapott adatok közötti összefüggés igen szoros, ezért elegendő a fertőzést követő 21. napon felvételezni a kalásztüneteket. 2025-ben az első inokulációt május 13-án végeztük, de a hűvös, csapadékos idő miatt az első tünetek csak a 20. napon jelentkeztek néhány százalékkal, és a 36–40. napon fejeztük be. Később a nagyon fogékonyaknál a 80-90% fertőzőtséget is elértük. Ha ragaszkodtunk volna a 21. naphoz, akkor ma nem lennének adataink. Tanulság: addig kell értékelni, amíg értékelhető zöld kalászkok vannak. Az, hogy ez hányadik napon következik be, lényegében mindegy.

Milyen tüneteket vegyünk figyelembe? Az alap természetesen a kalászfertőzőség, amit, ha nem is egységesen, de értékeltek. Itt a fertőzött kalászkok arányát (hány % kalász mutatott fertőzőtséget), de itt a fertőzés mértékét nem értékelték. Emellett a fertőzött kalászkák kalászon belüli arányát vagy számát adták meg, ezt nevezték a fertőzés súlyosságának. A kettő szorzata adta

a fertőzött kalászkák arányát, ami a fertőzési indexszel azonos. Mi közvetlenül ezt vételeztük fel. Bár a szemfertőzöttséget több mint száz éve leírták, öröklődését először sikerült 2014-ben (SZABÓ-HEVÉR ÉS MTSAL, 2014) igazolni, lényegesen jobb metodikával, sokkal pontosabb QTL-eredményeket elérni (a LOD-értékek alapján háromszoros volt a javulás). A Frontánál szokásos 5-6 QTL helyett (STEINER ÉS MTSAL, 2004; SZABÓ-HEVÉR ÉS MTSAL, 2012, 2014; MARDI ÉS MTSAL, 2006; WILDE ÉS MTSAL, 2007) 15 létezését igazoltuk, amit a nagy háttérzaj miatt más kutatóhelyek nem tudtak kimutatni. Fontos megemlíteni, hogy a hagyományos Frontana térképező populáció 14-16 napig virágzott és 4-5 fertőzési időpontot igényelt, de ilyen hosszú ideig nincs stabil időjárás, ez tehát komoly hibaforrás. Amikor az új populációt (Mini Manó x Frontana) vizsgáltuk, a nagyon magasakat és alacsonyakat kivettük, mivel ezek kiemelkedően eltérően reagálnak, és éppen úgy kivettük a szuper koraiakat és késeieket is, így maradt 160 Doubled Haploid (DH) vonal, amit két inokulációval kezelni tudtunk. Az ismert inhomogenitási okok csökkentése tehát lehetővé tette a pontosabb eredményeket. Meglepő módon ezeket a kérdéseket az irodalomban senki nem említette, feltételezem, ha foglalkoznak velük, írtak volna róluk.

Fontos új eredmény volt a SCHROEDER ÉS CHRISTENSEN (1963) eredményeinek újra vizsgálata egy osztrák vezetésű FP5 EU program keretében. Tullnban előállították a Sumai 3-ból származó térképező populációt, amelyet, mint Type 1 (5AS QTL) (permetezési inokuláció) és terjedéssel szembeni rezisztenciára teszteltek (egyvirág inokuláció). Itt a kalász közepén egy virágba 1 csepp inokulumot injektálnak a bibe fölé, és azt nézik, hogy a betegség milyen gyorsan terjed. A nagyon ellenállóknál legfeljebb az injektált virág fertőződik meg, a fogékonynál a fertőzés végigmegy a teljes kalászhosszon, ez a Type 2-ellenállóság, és ilyet örökít a 3BS QTL. Az eredmények azt mutatták, hogy két QTL szerepe nagyjából egyforma, másrészt a permetezési inokuláció a 2-es típust is kimutatja. Ez megmagyarázza azt a tényt, hogy a kínai és amerikai *Fusarium*-rezisztencia-kutatás (DILL-MACKY, 2003) tévedett, amikor a 3BS QTL-t mindenhatónak gondolva arra alapozták a rezisztencianemesítést, ami az eredmények elmaradásához vezetett. Az eredményt a fenti nemzetközi pályázat adatai adták meg (MESTERHÁZY ÉS MTSAL, 2007; MESTERHÁZY, 2020) (2. ábra). A populációból kiválasztott 24-24 genotípust vizsgáltuk, amelyekben nem találtak 3BS (*Fhb1*) és 5AS (*Fhb5*) QTLt, 24-24-et egyikből és másikból is, és végül 24-et, amely mindkét QTL-t hordozta. Mi ezt a csapdát elkerültük, mivel az első tapasztalatok után fő módszerként a permetezési inokulációt használtuk. A két QTL és a DON hatása között az átlagok között alig van 1-2 mg/kg-nál nagyobb különbség, vagyis a két QTL hatása igen közeli. Ez teljes ellentmondásban van a mai közfelfogással, amely még mindig az FHB1-et tartja a leghatékonyabb QTL-nek, viszont ennek használatával a gyakorlati nemesítésben alig történt előrelépés (MA ÉS MTSAL, 2019; LIU ÉS MTSAL, 2019). Az eredmény logikus, hiszen az igazán jó ellenállóságot a két QTL együtt adja, és ha csak az egyikre szelektálunk, a másik, nem vizsgált esetlegesen jelenlévő QTL hatását is az *Fhb1*-nek tulajdonították.



2. ábra. A CM82036/Remus populáció négy QTL-csoportjának (kontroll, 3BS, 5AS, 3BS+5AS) 24-24 tagjának DON-tartalma 2002 és 2004 között

(Forrás: MESTERHÁZY, 2020)

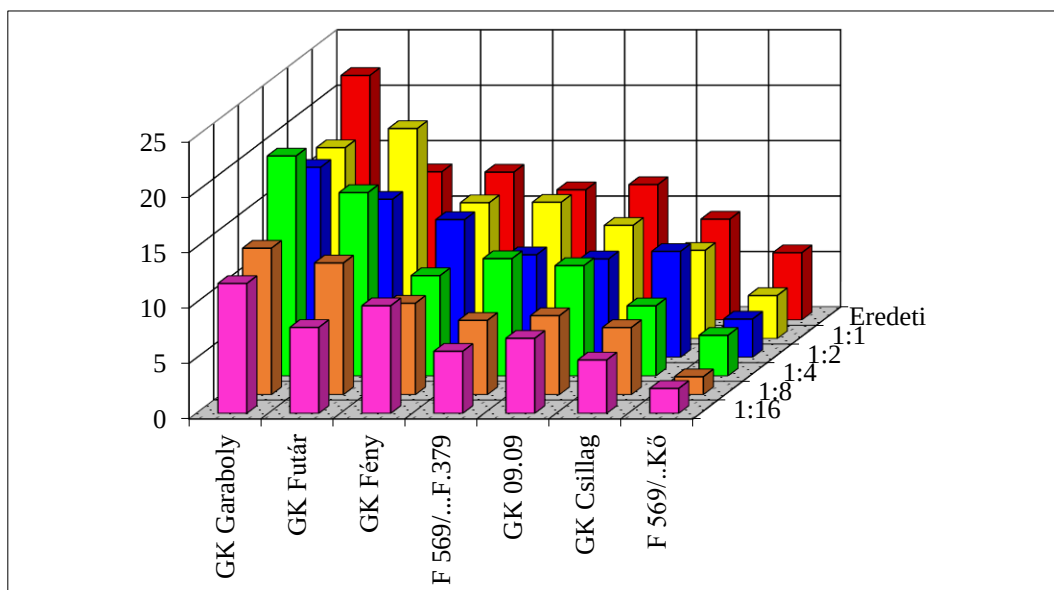
Ennek alapján elmondható, hogy a két QTL együttes hatása idézett elő kiváló ellenállóságot. Ami igazán fontos, hogy a permetezési eljárással nem csak az 1-es rezisztenciakomponenst lehet kimutatni, hanem a kettest is, így a permetezési eljárás az összrezisztenciát méri, nem csak a 2-es típust. Az adatok pontosan alátámasztják LIU ÉS WANG (1991) dolgozatának adatait, miszerint a Sumai 3 két szülője, a kínai Taiwanxiaomi és az olasz Funo közepesen fogékonyak, ezért a kínai eredetű QTL szerepe az újabb kutatásban erősen túlértékelt (MESTERHÁZY ÉS MTSAL, 2007; MESTERHÁZY, 2020; 2024), és közel sem annyira hatékony, mint korábban feltételezték. Közben viszont elveszítettek harminc évet. Most van világszerte folyamatban az átértékelés.

A QTL-kutatás a *Fusarium*-rezisztencia-kutatás igen hangsúlyos része volt az elmúlt 25 évben, mióta ebben a témában publikációk jelentek meg, de a kutatás 5-6 évvel korábban kezdődött. A DNS-munkában igen jelentős volt a fejlődés, újabb és újabb eljárások nyertek alkalmazást. Ami nem változott, az a rezisztenciát megalapozó módszertani háttér, ami ma is a 30 évvel ezelőtti metodikát alkalmazza, aminek lényege az egy inokulum használata, koncentráció a kalásztünetekre, holott a gabonakereskedelemben, a takarmány- és élelmiszer-biztonságban a toxintartalom a döntő. A kérdés az, hogy a javasolt metodika mennyiben javítja az eredményeket. Ezt a munkát is elvégeztük, a hagyományos metodikával, ahol a Frontana/Remus-populációt vizsgáltuk QTL-ekre (SZABÓ-HEVÉR ÉS MTSAL, 2012). Hat kísérlet átlagában a kalászfertőzöttség LOD-értékei 6 QTL-nél-ben mutattak szignifikáns eredményt, a szemfertőzöttségnél 7 QTL-t azonosítottunk, de közülük csak három QTL hatott mindkettőre, a többiek csak egyik vagy másik tulajdonságot befolyásoltak, a LOD-értékek 2,49-3,48, illetve 2,26 és 4,05 között voltak. Emellett három QTL volt, amely virágzási idő eltéréseket okozott, ami nem véletlen a 14-18 napig tartó fertőzési időszak miatt. A Mini Manó/Frontana-populációt már Szegeden állítottuk elő, az LOD-értékek kalászfertőzöttségre a két Frontana-populációban 2,21 és 8,14, szemfertőzöttségre 2,16 és 6,34, DON-tartalomra pedig 2,14 és 4,01 között voltak, és 6-7 helyett 15 QTL azonosítását tudtuk elvégezni. Ebben szerepe volt annak is, hogy ennél a populációnál nem 4-5 fertőzésű nap volt, hanem csak kettő, minthogy a legkorábbi és legkésőbbi genotípusokat kihagytuk a vizsgálatból. Így a 6-6 izolátum használata a két évben és a két mesterséges inokulációs időpont lényegesen csökkentette

a háttérzajt. Egyben arra is igazolást adott, hogy a szokásosnál háromszor nagyobb adatbázis lényegesen növelte a pontosságot, és több mint kétszer annyi QTL azonosítását tette lehetővé. Érdemes tehát a stabilitásproblémát komolyan venni, és lényegesen kiterjedtebb vizsgálatokat lesz célszerű folytatni. Az is segített, hogy a populáció szélsőséges elemeit kizártuk az elemzésből, a növényállomány morfológiai homogenitás javult. Az is világos, hogy a QTL-ek eltérő funkcióval rendelkeznek, ezek felfedését csak kiterjedtebb, mindhárom bélyeget érintő térképezés oldhatja meg. Ennek ellenére van néhány megbízhatóan azonosított QTL, ezek száma tíz alatt van, többségük hasonló az *Fhb1*, *Fhb5* QTL-ekhez, kiterjedt hatással. A többivel nemesítési szempontból egyelőre nem érdemes foglalkozni. A nemesítési anyag szűrése viszont nagyon fontos, mert sok olyan ellenállóbb anyag azonosítása sikerült, amelyek ismert *Fusarium*-QTL-eket nem tartalmaznak. Jelen pillanatban még nincs klónozott kalászfuzárium rezisztenciagén, ami akár meglepőnek is tűnhet, ismerve a nagy energiákat, amelyeket ennek kutatásába befektettek. Úgy gondolom, hogy a lassúbb előrehaladásnak a fent elemzett problémák is lényegesen hozzájárulnak.

Már korábban felmerült, hogy az izolátumok keverése és hígítása, vagy töményítése bonyodalmakhoz vezethet, mivel mindkét eljárás mindennapos a közölt dolgozatokban, de szakmai tartalom nélkül. A hígítás hatását, bár vizsgálták, de a nemesítési gyakorlatban soha nem vették figyelembe, a használt konidiumkoncentrációnak semmi köze sem volt a fertőzőképességhez, holott azt már tudtuk, hogy az egyes inokulumok nagyon érzékenyen reagálna a hígításra, akár teljes fertőzésvesztéssel is, és az inokulumok keverése sem a várt hatást eredményezte Petri-csészében. Ugyanakkor nem volt adatunk egyik eljárásnál sem a kalászfertőzöttség, a szemfertőzöttség és a DON-tartalom alakulására. Ennek ideje 2010 után jött el több nagy pályázat segítségével.

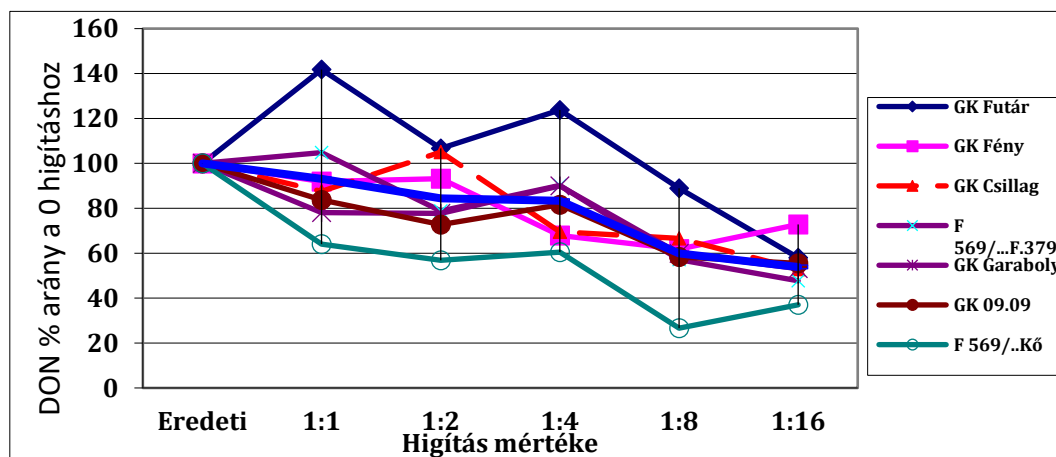
A hígítási kísérletben hét eltérő ellenállóságú fajtaival, négy izolátummal hígítás nélkül, továbbá 1:0, 1:2, 1:4, 1:8 és 1:16 hígítással dolgoztunk, és mértük a kalászfertőzöttséget, a szemfertőzöttséget és a DON-tartalmat (TÓTH ÉS MTSAI, 2020). A fajták a hígítások átlagában négyszeres ellenállóságot mutattak kalásztünetekben. Két esetben az 1:1-es hígításnál nőtt a kalászfertőzöttség, a többinél csökkent, fajtánként és izolátumonként eltérő intenzitással és következetességgel. A szemfertőzöttség hasonló adatokat adott, de az átlagos csökkenés nagyobb, 40%-os volt. A DON-tartalomnál átlagosan 50%-os csökkenés következett be a maximális hígításnál, a fajtakülönbségek pedig ötszörös eltérést mutattak. A hígítások hatását a DON-tartalomra négy izolátum átlagában a 3. ábra mutatja.



3. ábra. Az inokulum hígításának hatása a DON-tartalomra, adatok mg/kg, 2012–2013

A legnagyobb csökkenés a legellenállóbb törzsnél volt kétharmaddal, a legkisebb csökkenés pedig csak 25%. A fogékonyaknál öt esetben a hígítás ellenére még nőtt is a toxintartalom. Természetesen az izolátumok is eltérően reagáltak, a hét fajta átlagában a szemfertőzöttségénél negyedére, a kalászfertőzöttségénél harmadára, a DON-nál pedig hatodára csökkent a fertőződés. Mindez azt jelenti, hogy a hígítás hatása nem jelezhető előre, néhány kivétellel rontja a fertőzőképességet, és így nem alkalmas a fertőzőképesség szabályozására, ahogy nem is erre használták, mindössze egy irodalmi hagyomány követéséről van szó. A 4. ábra a hígítás hatását mutatja a mindenkorai kontrollokhoz képest. Ennek alapján mindössze annyi mondható, hogy a hígítás a fajták átlagában arányosan csökkenti a DON-termelést, de nagy fajtakülönbségekkel, és még a DON-tartalom növekedése is lehetséges. Nincs tehát olyan képlet, amely alapján a várható csökkenést egy adott esetben előre lehetne jelezni. Az adatok alapján úgy gondoljuk, hogy az inokulum fertőzőképességének ismerete alapvető fontosságú, egy egységben annyi inokulumot kell előállítani, amennyire a teljes kísérlethez szükség van. Ha inokulumhiány van, akkor 20-30%-os hígítás az eredeti inokulum fertőzőképességét lényegesen nem befolyásolja. Vagyis a jelenlegi gyakorlat, miszerint egy izolátumot alkalmaznak és egy, az irodalomból vett koncentrációra beállítják, igen kockázatos teszi a kísérleti adatok megbízhatóságát, és az összes genetikai következtetés érvényességét. Emiatt a lehető legnagyobb fertőzőképességű izolátumokkal kell dolgozni.

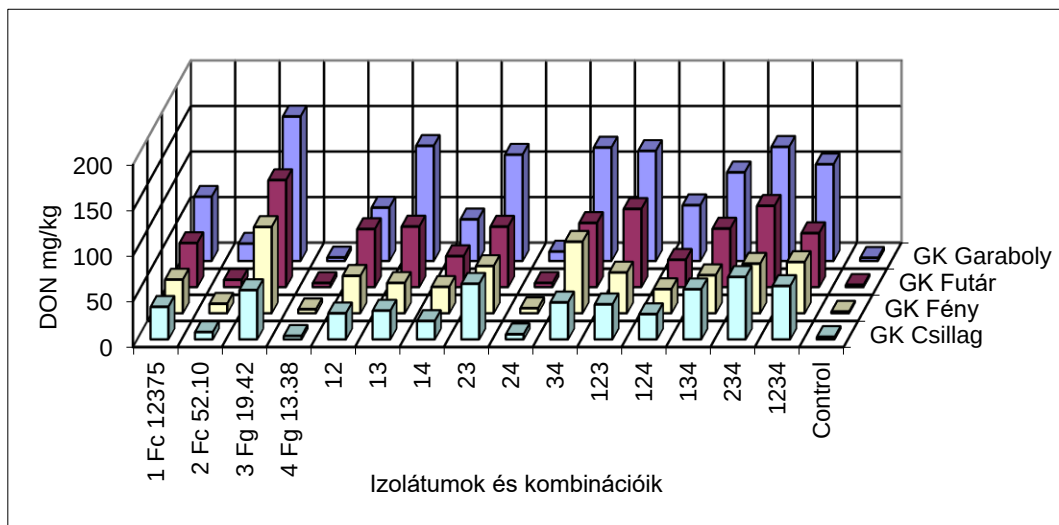
Az izolátumok keverése napi gyakorlat, 2-3 és 30 feletti komponens egyaránt előfordul. Az indok az volt, hogy a több izolátum jobban reprezentálja a kórokozópuláció együttesét, ezért biztosabbak a vizsgálati eredmények. Míg a rasszokkal rendelkező rozsdáknál a rasszkeverék használata általános és helyes, addig a rasszokkal nem rendelkező gabonatoxikus gombáknál ez az érv elesik. Laboradatok vannak, kalászfertőzési kísérletben is van néhány adat, de a három tényezőt (disease index [DI], FDK, DON)) senki sem vizsgálta. Ezért tehát a Petri-csészés laboradatokon túl kalászosokon is el kellett végezni a tesztet. Ehhez négy izolátumot használtunk, egy nagyon patogén, egy fertőzőképes, egy közepesen fertőzőképességű, egy pedig alacsony fertőzőképességgel rendelkezett. Ezeket minden kombinációban összekevertük és az eredeti izolátumokkal együtt összesen 15 variánst vizsgáltunk négy eltérő ellenállóságú fajtán (MESTERHÁZY ÉS MTSAL, 2020b). A négy fajtánál kapott adatokat átlagoltuk és összehasonlítottuk az adott keverék alkotórészeinek matematikai átlagával. A teljes kísérlet átlagában a DI 22,30%, a tényleges pedig 26,75% volt, ami szerint van egy 20%-ra tehető fertőzésnövekedés, de igen nagy, 74 és 173% közötti szórással, azaz pontosan nem jelezhető előre.



4. ábra. A hígítás mértékének befolyása a DON-tartalomra eltérő ellenállóságú genotípusok alkalmazásánál kalászfuzárium módszertani vizsgálatban

(Forrás: TÓTH ÉS MTSAL, 2020)

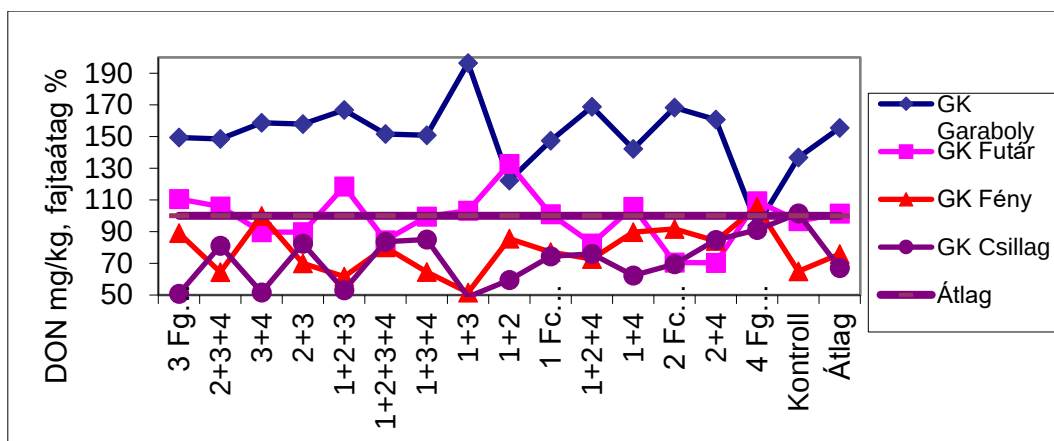
A kísérleti adatokból fajtánként a DON-eredményeket mutatjuk be (5. ábra). A négy izolátum DON-termelése igen eltérő volt. Az látszik, hogy nagyobb fajtakülönbségek a két fertőzőképesebb izolátumnál voltak, a gyenge és alacsony DON-tartalomnál a fajtadifferenciálódás mértéke kisebb volt. A keverékek fertőzőképessége akkor volt a legnagyobb, ha a legfertőzőképesebb izolátum benne volt a keverékben, de ez mindig alacsonyabb volt, mint a 3. izolátum önmagában. A keverékek DON-termelése néhány kivétellel magasabb volt az alkotórészek átlagánál, vagyis a keverésnek van bizonyos kompenzáló hatása felfelé, de ezt az adatok alapján nem lehet előre jelezni. A módszer használatának előfeltétele a fertőzőképesség ismerete, enélkül a keverés akár tönkre is teheti a kísérletet. Ráadásul az is jól látszik, hogy a keverékek DON-termelő képessége igen eltérő, vagyis az a feltételezés, hogy a keverés stabil fertőzöttséget és nagyobb DON-szintet fog elérni, nem állja meg a helyét.



5. ábra. Négy eltérő fertőzőképességű izolátum és keverékeinek DON-szennyezettségi adatai kalászfuzárium módszertani vizsgálatban

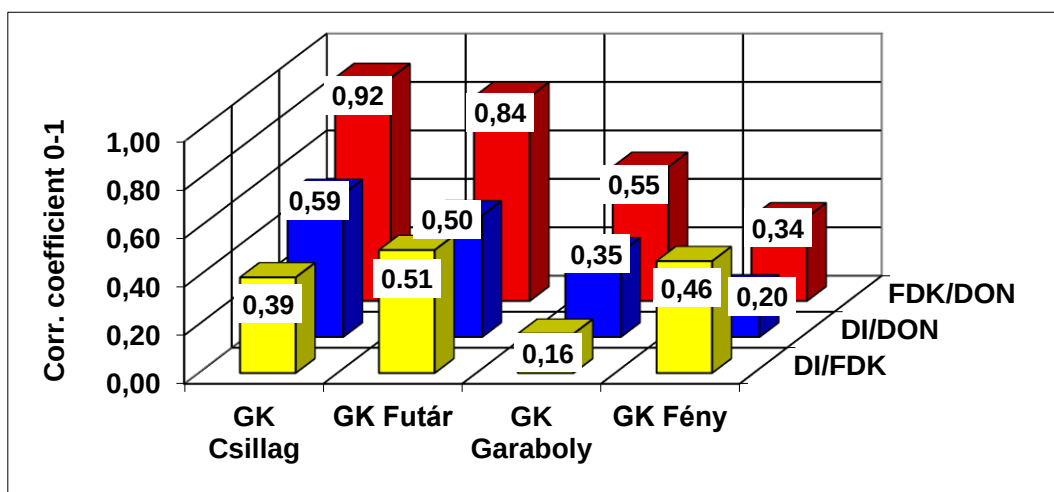
(Forrás: MESTERHÁZY ÉS MTSAL, 2020)

A keverékek agresszivitása minden esetben kisebb volt a legagresszívebb komponens fertőzőképességénél, de nagyobb a keverék átlagánál, vagyis kiegyenlítő, kompenzációs hatás van, a gyengébb izolátum a keverékben többnyire jobb volt saját teljesítményénél (6. ábra). Ami viszont biztos, hogy a keverék nem adja az alkotórészek átlagát, előre nem jelezhető a hatása, a nagyon gyenge agresszivitást ugyan növeli, ami viszont az agresszívebb inokulumok hatását gyengíti. A korrelációs mátrixból egyértelmű, hogy nem több vagy kevesebb, mint bármely legalább átlagos fertőzőképességű inokulum. Úgy kevergetni azonban az izolátumokat, hogy fogalmunk sincs, milyen fertőzőképességű tételeket keverünk össze, annak sem gyakorlati, sem tudományos haszna nincs. A következő probléma, hogy a keverékeknél a fajtasorrendek is gyakran változnak, ahogy ezt az 5. ábra jól mutatja. Felmerül tehát a *Fusarium*-reakció stabilitásának kérdése, hiszen világos, hogy még a keverékekkel szemben sem hasonló a fajták sorrendje és különbségük. Bármelyik keverékkel vagy izolátummal szemben tehát problematikus mind a rezisztencia mértéke, mind a fajtakülönbségek stabilitása. Kérdés, hogy mit lehet ilyenkor tenni.



6. ábra. Az izolátumkeverés hatása különböző ellenállóságú fajtákon. Jól láthatóak az eltérő fajtareakciók eltérései a fajtaátlaghoz képest

Az már régóta ismert volt korábbi adatainkból (MESTERHÁZY, 1995; 2020; MESTERHÁZY ÉS MTSAL, 1999; 2005; 2015; 2020), hogy a három fontos tulajdonság gyakran nem esik egybe. Mint-hogy ezek sokéves és 4 izolátumos kísérletekből származnak, és a különbségek nagymértékben szignifikánsak, a kalászfertőzöttség, a szemfertőzöttség és a DON-tartalom eltérő adatokat mutat (7. ábra). Ennek genetikai oka is kell legyen, nem volt tehát véletlen a rezisztenciátípusok vagy rezisztencia-összetevők leírása, ami pontosan ezt a jelenséget határozta meg. Így jött létre a már korábban említett terjedéssel és behatolással szembeni faktor (SCHROEDER ÉS CHRISTENSEN, 1963), a rezisztencia mellett a szemfertőzöttséggel és a DON toxinnal szembeni ellenállóság és tolerancia leírása (MESTERHÁZY, 1995; MESTERHÁZY ÉS MTSAL, 1999). Az eddigi kísérletek túlnyomó többségében a toxinadatok a kalászfertőzöttségi adatokkal mutatják a leggyengébb összefüggést, sokkal jobb a megfelelés a szemfertőzöttségi adatokkal, és ezt mára már sok más kutatócsoport is megerősítette. Azt gondolhatnánk, hogy ez mindenütt jó lesz, de a 6. ábra azt mutatja, hogy a fajták genetikai háttere jelentősen befolyásolja az összefüggések meglétét vagy hiányát. A GK Fény esetében például a DI-FDK összefüggés szorosabb lett a vártnál. Ezekre a genetikai finomságokra most csak utalunk, de a fontosabb kivételeket alaposabb vizsgálat alá kell venni (7. ábra).



7. ábra. Izolátumkeverési kísérlet, összefüggések a három rezisztenciabélyeg esetében kalászfuzáriummal szemben fajtánként

(Forrás: TÓTH ÉS MTSAL, 2020)

A toxikus gombákkal szembeni kalászos irodalom gyakran emlegeti a *fogékonysági ablak* (susceptibility window) fogalmát. Sok évtizedes tapasztalat alapján ezen azt értik, hogy ez a virágzási időszak körülbelül egy hete, amikor párás, meleg, esős időben a kalászosok, köztük a búza a legérzékenyebb a fertőzésre. A kérdés az, hogy miért? Az első ok az, hogy a pollenben kolin és betain van, így, ha ezek esős időben kioldódnak (STRANGE ÉS MTSAL, 1972; 1974), növelik a konidiumok csírázási erélyét, agresszivitását, és természetesen a fertőzés súlyosságát is. Azon kalászosoknál, amelyek portokjai a virágzatban zártan maradnak, a *Fusarium*-fertőzés kisebb. Erről kínai megfigyelések vannak, és mi is hasonlólt állapítottunk meg árpafajtáknál. Búzánál a norvégek írták le a portokkitolódást (anther extrusion) (STEINER ÉS MTSAL, 2019; SKINNES ÉS MTSAL, 2008; WINN ÉS MTSAL, 2017) mint fogékonysági faktort. Ilyen hatást több növényfajnál, így például a napraforgónál is említettek, de konkrét vizsgálatokról nem tudok. A második ok az, hogy a fiatal osztódó szövetek sokkal fogékonyabbak a fertőzésre, mint a néhány nappal idősebbek, ez a sok ezer szegedi Petri-csészés kísérletből elég világos volt, és míg a csírákon jelentős különbségek voltak, addig a gyökerek érzékenysége között alig volt eltérés. Az is erre utal, hogy a *Fusarium*-fertőzés sokkal kisebb fertőzést okozott, ha három napos csíranövényeket tettünk a Petri-csészébe, mintha csak a szemeket helyeztük volna a fuzáriumos szűrőpapírra. A harmadik ok, hogy vannak megfigyeléseink, amelyek szerint a betain, kolin, illetve ezek analógjai növelhetik a gazdanövény fogékonyságát, de ide vonatkozó publikációt nem találtunk, azonban érdemes lenne tesztelni. Ezen túl, bár találtunk olyan dolgozatokat, amelyek arra utaltak, hogy a virágzástól viaszérésig fertőztek 2-3 hetes időközökkel, de ezt a virágzástól az ezt követő két héten belül senki sem vette górcső alá. Az pedig végképp nem volt ismert, hogy az egyes tünetek (DI, FDK, DON) hogyan viselkednek, holott ennek ismerete minden mesterséges inokuláció megtervezéséhez alapvető fontosságú.

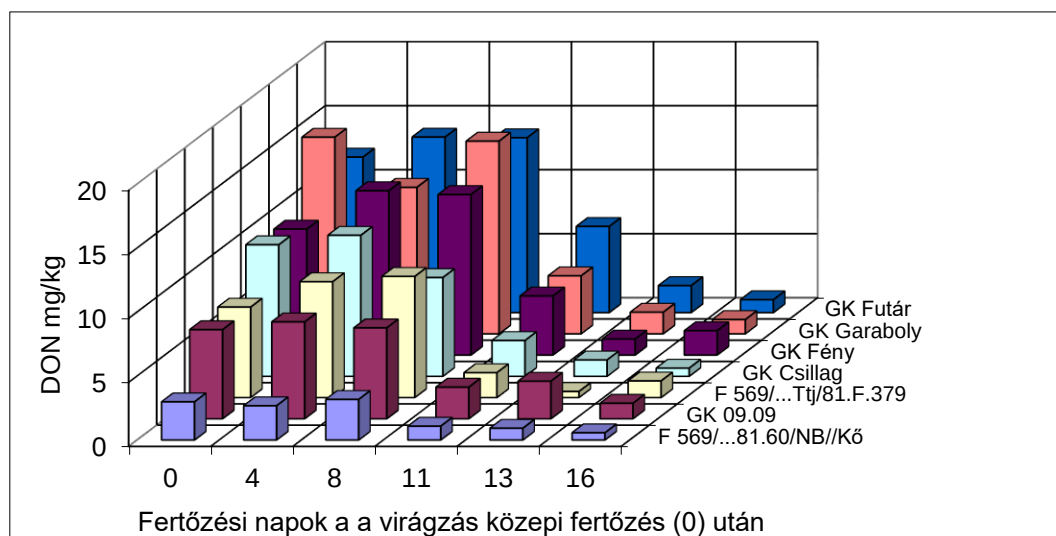
A kísérletet hét igen eltérő ellenállóságú/fogékonyságú fajtaival és törzzsel állítottuk be (GYÖRGY ÉS MTSAL, 2020). A kalászfertőzöttség tekintetében a genotípusok a négy izolátum és a hat fertőzési időpont átlagában 5,18 és 18,89% között voltak. Az egyes fertőzöttségi napokra eső átlagok 11 és 12 közötti értéket adtak négy alkalommal, egynél (8. nap) 14,64, a hatodiknál pedig 15,83%-ot kaptunk. Az volt a meglepő, hogy ebben tekintetben nem találtunk egyetlen utalást sem a fogékonysági ablak jelenlétére, hiszen utána meredek csökkenést kellett volna látni, de ennek inkább az ellenkezője történt. Az egyes fajták reakciói csak kivételesen egyeztek. A hat fertőzési időpontban kapott adatok 21 összefüggéséből csak kettő volt szignifikáns, ami nem túl jó arány. Az egyes fertőzési napokon kapott eredmények viszont már sokkal szorosabb összefüggést mutattak, 9 összefüggés volt szignifikáns a 16-ból. Vagyis a fajtasorrendek jól ismételhetőek voltak, a legszorosabb $r = 0,90$ feletti kapcsolatokat a virágzaskori, és 4, valamint 8 nappal utáni fertőzéseknél kaptuk, ezt követően viszont sokkal változatosabbak voltak az eredmények.

A szemfertőzöttségi adatok genotípus-főátlagai csaknem háromszoros eltérést mutatnak (5,45-14,58%, SZD 5% 1,76). A kalászfertőzöttséggel szemben a fajtareakciók közötti korrelációk mind nagymértékben szignifikánsak, itt ugyanis már az egyes fertőzési napok között lényeges eltérések vannak. Míg az első három fertőzési időpontban 23, 18, 22% volt a genotípusok átlaga, addig ez a 11. napra 10, utána pedig 7-7%-ra csökkent. Ez azt jelenti, hogy az egyenletes kalászfertőződéssel szemben a nagyon érzékeny periódus a 8. és 11. nap között felére zuhant és a későbbiekben tovább csökkent. Így az összefüggések a 0. és 11. napok között szorosak voltak, a 4. és 13., valamint a 8. és 13-ik napi eredmények nem függtek össze, míg a három utolsó adatsor megint szorosabb összefüggéseket adott. Vagyis a törés a 8. és 11. nap között következett be.

A DON-reakció volt a legérzékenyebb. Míg az első három inokulációnál a fajtaátlagok 9,23, 9,76 és 9,81 mg/kg voltak, de szignifikáns különbség nem volt köztük, így az első nyolc nap az, amíg a fogékonysági periódus tart. A 11. napra ez nagyjából harmadára csökken (3,45 mg/kg), a 13. napra ez is feleződik, majd az utolsó inokulációs napra 1,11-re csökken, azaz közel az eredeti

tizedére (8. ábra). A szignifikáns kapcsolatok a 0. és 8. napok között sokkal lazábbak voltak, a 11. és 16. közötti fertőzésekkel szemben pedig a korábbiaknak egyetlen szignifikáns kapcsolata sem volt.

Az ábrának több tanulsága is van. Az első, hogy egy hetes perióduson belül nincsenek lényeges változások a különböző fajták kalászfertőzöttségében, szemfertőzöttségben, de DON-tartalmában sem. Ez egyrészt kísérletes bizonyítékát adja az érzékenységi vagy fogékonysági ablak létezésének, amelynek igazolására a kalászfertőzöttség ebben a kísérletben alkalmatlannak bizonyult. A DON-tartalom csökkenése lényegesen intenzívebb, mint ami a szemfertőzöttségből következne, ez ugyan minden fajtára igaz, de nem egyforma mértékben. A 11. naptól a 13. napig csaknem felére csökken a fertőzés, és az utolsó napra további egyharmados csökkenés jellemző. Ami érdekes, hogy az időszak végére a fajtakülönbségek is lényegesen csökkennek, tehát az előbbieket összegezve a kései fertőzéseknél a DON-tartalom megjelenése kisebb kockázatot jelent, mint az első hét folyamán. Vannak kísérleti adatok, ahol kései fertőzéseknél ennél akár lényegesen nagyobb toxintartalom is kialakulhat, és a maximum nem 16, hanem ennek többszöröse is lehet, ezért ezt általános előrejelzésként nem alkalmaznánk. A dolgozat elején említettük, hogy az idősebb szövetek jobban ellenállnak a toxintartalomnak, itt ez nagyjából egy hét után következik be a fertőzés után. Ami számunkra módszertani szempontból fontos volt, hogy megdőlt az a dogma, miszerint minden genotípust a maga optimális virágzásánál kell fertőzni, azaz például másnaponként. Ezzel lehetővé vált a nemesítési anyag összevágása például 5-6 napos inokulációs időpontokra, ami gyakorlatilag két inokulációt tesz lehetővé, legfeljebb néhány nagyon kései anyag marad a harmadik inokulációra.



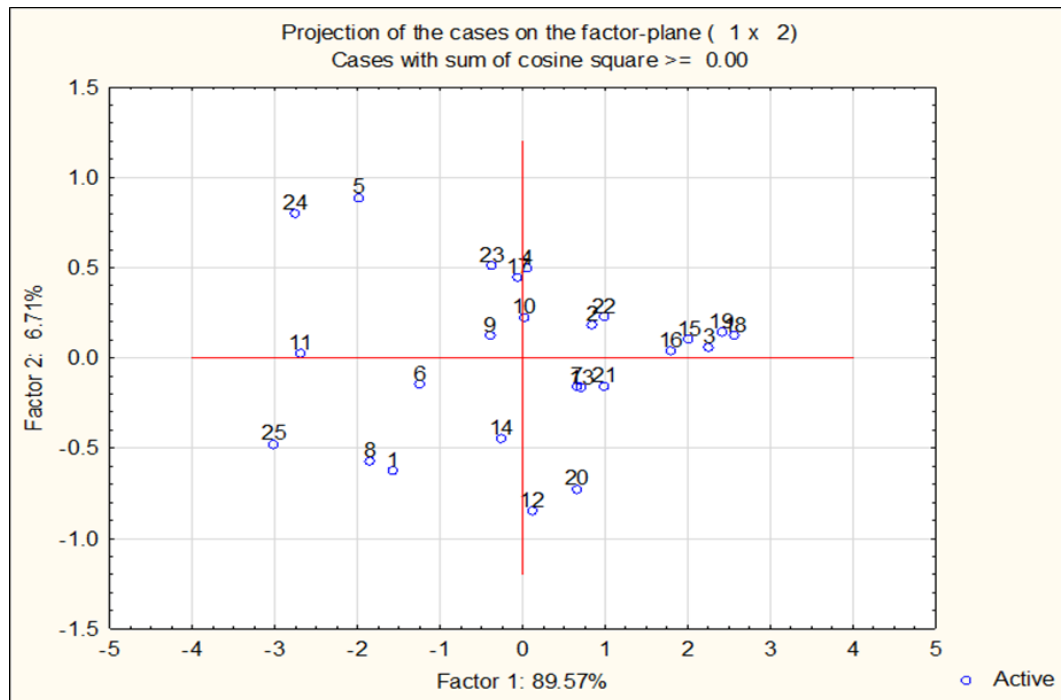
8. ábra. A DON-tartalom alakulás eltérő ellenállóságú fajtáknak hat fertőzési időpontban a virágzástól (0) számítva

A második tanulság az, hogy eltérő időjárásnál az adatok könnyen összehasonlíthatatlanok lesznek. Ez a fajtarezisztencia-vizsgálatokban kevesebb gondot okoz, mert minden éréscsoportban vannak fogékony és ellenálló kontrollok, viszont egy térképezési populációt, ahol összehasonlítható adatoknak kell lennie, felborít. Ezért különböző inokulációs napokról származó adatokat csak akkor szabad egyben kezelni, ha a maximum és minimum, valamint az átlagértékek hasonlóan alakulnak, ideális esetben az SZD nem szignifikáns. Mivel ezt a problémát egyetlen QTL-es dolgozat sem említette, ezért valószínű, hogy nem is vették figyelembe, aminek eredménye a megbízhatatlan adattömeg és a kapott QTL-információ alacsony értéke. Az is kiderült, hogy

a DON-tartalom reagált a legérzékenyebben, tehát DON-tartalom ismerete nélkül semmiféle élelmiszer-biztonsági értékelés nem tehető. Már csak azért sem, mert ma már a kereskedelem ennek alapján vásárol, ennek alapján forgalmaz, mert az emberi fogyasztásra szánt gabona szigorú toxin-határértékek mellett dolgozik. Emiatt a nemesítés sem teheti meg, hogy ehhez ne alkalmazkodjon. Ez egyébként növényoldalról is igazolja a DON-tartalom előtérbe helyezését. Ennek ellenére a kalász- és szemfertőzöttség figyelemmel kísérése továbbra is a kísérletezés integráns része, mert a rezisztenciafaktorokat másképp nem lehet kimutatni. A harmadik az, hogy a 16 napos kísérletben, ha a trendek azonosak is, de fajtakülönbségek vannak. Az első héten a DON-tartalom emelkedhet a későbbi fertőzéseknel, vagy szinten marad, vagy kissé csökken.

Bár a kalászfuzárium-rezisztencia stabilitásának kérdésében már 1995-ben közzétettük az első eredményeket (MESTERHÁZY, 1995), a négy független izolátum alkalmazása nálunk alapszabály volt, és ezzel sokkal több és pontosabb adatot lehet a molekuláris genetika asztalra tenni, mint ahogy az ma is működik. Az az összefoglaló dolgozat, amely több évtizedes munkát fogott egybe mind a három fő tünettől kapcsolatban, csak 2025-ben jelent meg (MESTERHÁZY ÉS MTSAL, 2025). Az elmúlt évtizedek munkája alapján már láttuk, hogy a kalászfuzáriummal szembeni ellenállásnál nagyon bonyolult és sokszor eltérő a három fontos tulajdonság összefüggésrendszere. Alapvető módszertani hiányosságok miatt a jelenleg használt módszerek nem igazán alkalmasak sem az ellenállóság, sem a toxinmérések stabilitásának szakszerű értékelésére (FUENTES ÉS MTSAL, 2005), és a mi tapasztalataink is ugyanerről szólnak.

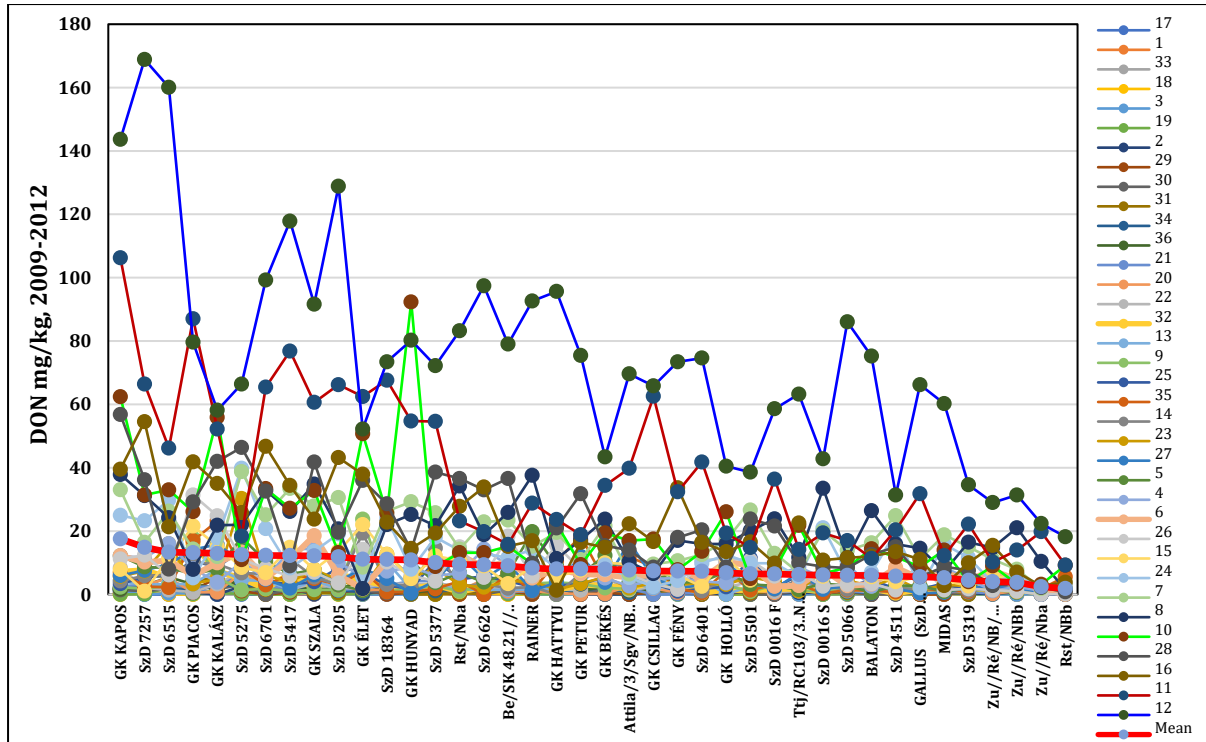
A megoldás lehetőségét a nemesítés adta, így a nagyon gyakran vizsgált termőképesség-mérés, ahol az adott tulajdonság stabilitását vizsgáljuk több éven és termőhelyen keresztül. Ebben az esetben is poligén tulajdonságról van szó, nemzetközileg kialakult módszertannal. Ezért már 1995-ben (MESTERHÁZY, 1995) végeztünk stabilitási értékelést, és ezeket később is követtük (MESTERHÁZY ÉS MTSAL, 1999; 2015), de cikkeink ezen vonatkozásait egyetlen idéző sem említette. Feltételezem, senki sem tartotta fontosnak. Három korábbi és egy újabb 3-4 éves kísérlet alapján újra elemeztük a stabilitás problémáját, és az adatokat főkomponens-analízissel is értékeltük (MESTERHÁZY ÉS MTSAL, 2025) mind a kalász-, szemfertőzöttség mind a DON-tartalom esetében. Kiderült, hogy 24-36 járványhelyzet alapján már meg lehet állapítani az az ellenállóság mértékét és annak stabilitását is. Nem ritka, hogy valamely tulajdonság esetében a fajta stabil, jó ellenállóságot mutat, másoknál viszont ez nem áll fenn. A vizsgált fajták és törzsek azonban mintegy 15-20%-ban mindhárom tulajdonság tekintetében jó egyezést mutat, és alkalmas a kiemelkedő fajták megbízható minőségének ellenőrzésére. A főkomponens-analízisek szerint a fajták a három tulajdonság tekintetében egyenletesen oszlanak el a főkomponens két faktorával szemben, legfeljebb néhány 2-3 genotípus alkot csoportot, és mindegyiknek saját jellemző lábnyoma van (9. ábra). Ehhez viszont mindhárom tulajdonság elemzése szükséges.



9. ábra. Az 1994–1996-os búza 25 fajtájának főkomponens-analízise a kalász-, szemfertőzöttség és DON-tartalom alapján

(Forrás: MESTERHÁZY ÉS MTSAL, 2025)

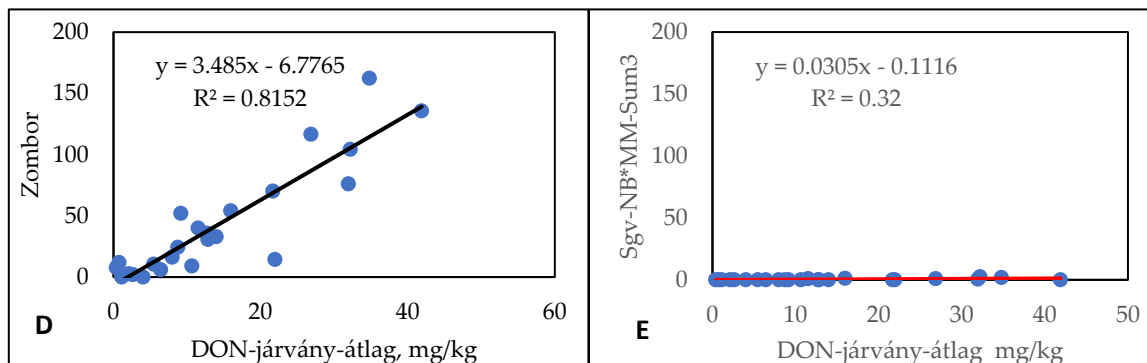
A 10. ábra 40 őszi búza-fajta és -törzs DON-adatait mutatja négy év átlagában 36 járványhelyzetben. Jól látszanak a változatos pozíciók és a járványok nagyon eltérő súlyossága. Minthogy mind a négy kísérletben és mindhárom bélyegnél ugyanez a kép fogadott bennünket, itt már egyértelmű, hogy egy izolátum és 2-3 év adatai alapján lehetetlen a pontos fajtasorrendet és a rezisztencia mértékét megállapítani. Ma ez az uralkodó módszertan, de ebben az esetek 90%-ban már a szemfertőződés és a DON-tartalom sincs benne. Nem véletlen, hogy egyetlen cég sem ad ki toxinkockázati adatokat, ilyenek egyébként nem is léteznek. Az általunk javasolt módszertan viszont erre már alkalmas.



10. ábra. Kalászfuzárium rezisztenciavizsgálat búzában, DON-tartalom, 1994–1996, 24 járványhelyzetben

(Forrás: MESTERHÁZY ÉS MTSAL, 2015; 2025)

A 11. ábrán a 1994/1996-os kísérlet DON-stabilitási adatait közöljük a legfogékonyabb GK Zombor és a legellenállóbb általunk nemesített törzs adataival. Jól látszik, hogy a GK Zombor csaknem minden járványhelyzetben igen magas toxinszennyezést mutat 0 és 162 mg/kg közötti maximum értékek között, legellenállóbb törzsünknel viszont a maximuma 1,1 mg/kg volt, ami alacsonyabb a korábbi 1,25-ös határértéknél, de az összes adat egy kivétellel kisebb az új, 2024. július 1-től érvényes 1,00 mg/kg határértéknél. A stabilitási indexek százszoros különbséget mutatnak (MESTERHÁZY ÉS MTSAL, 2025). Ez ma őszi búzában a világon a legjobb (BÜRSRTMAYR professzor mondta Bécsben). Ez többszörösen jobb, mint a jelenleg legjobb Pilis GK fajta.



11. ábra. Nagyon instabil (Zombor) és igen ellenálló (Sgv/NB/MM/Sum3) stabilitásindexei, a különbség több mint százszoros

(Forrás: MESTERHÁZY ÉS MTSAL, 2025).

A 2025-ös kalászfuzárium-kísérletben legfogékonyabb fajta szabad szemmel látható átlagos kalászfertőzöttsége 45,7% volt, a legjobb köztermesztésben lévő ellenálló fajták 10% körüli értéket mutattak, míg a legjobb eredményt nulla értékkel 9 genotípus ért el, ebből egyik a kontroll kínai rezisztenciaforrás Sumai 3. A 0,1 és 5% közötti kalászfertőzöttségi csoportban további 31 genotípus volt, és 23 adott 5 és 10% közötti értéket. A legfogékonyabbak 40% felett voltak, 53% volt a legrosszabb, ezt egy törzsnél mértük. A kísérleti átlag 13,4%. Szemfertőződésnél 3,2% volt a kísérleti átlag, a legnagyobb 25 és 30%-os értéket két prémium kontrollfajta adta, nullás értéket 68 genotípus mutatott. Az aszályos forró június lelassította a betegségfejlődést. Ezért itt a kalászfertőződést nagyobb súllyal nézzük. Vagyis körülbelül 60 olyan törzs van, amely meghaladja, sok esetben igen lényegesen, a ma is nagy értéket képviselő közepesen fogékony fajtákat, amelyek megfelelő vegyszeres technológiával már igen alacsony kockázattal járványos években is termesztethetők.

A vizsgálati módszertani előterjesztést az Agrárminisztérium elfogadta, bevezetésre ajánlotta, de eddig még nem sikerült forrást rendelni hozzá. Az eddigi befejezett vizsgálatok alapján a vizsgált genotípusok 70-80%-a nem alkalmas köztermesztésre. Hasonló a helyzet az elismert fajtáknál is, az arányok azonban a fajtaösszetétel függvényében változhatnak. A GK Pilis jól mutatja, hogy a nem fuzáriumra tervezett nemesítés során is találhatunk jó ellenállóságú fajtákat (MESTERHÁZY ÉS MTSAL, 2018a), a másik oldalról viszont igazoltuk, hogy célirányos nemesítéssel ezeknél többszörösen ellenállóbbak is nemesíthetők. Ezek piaci versenyképessége, ha megfelelő minőséggel és legalább kontrollszintű terméssel járnak, nemcsak hazai, hanem nemzetközi versenyképességet is biztosíthatnak. A fennmaradó 80% körüli fajtatömeget pedig ki kell zárni a köztermesztésből, mert ezeket sem fungicides sem egyéb kezeléssel nem lehet hatékonyan megvédeni (MESTERHÁZY, 2014; MESTERHÁZY ÉS MTSAL, 2018b; 2018c). A fogékony és ellenálló genotípusok közötti különbséget a 12. ábra mutatja.



12. ábra. Nagyon fogékony és igen ellenálló búzatörzsek szemfertőzöttsége 2-2 *F. graminearum*-izolátummal szemben. A fogékony tele van fehér, aszott fertőzött szemmel, míg az ellenállóban 1-2 szem fertőzött, ha látható

4.4. Fungicidhasználat

A fungicidhasználat területén is több fontos felfedezést tettünk, és egy sokkal hatékonyabb technológiát dolgoztunk ki. Most a mi módszerünk adja a legpontosabb eredményeket. Kiderült, hogy a tebukonazol és protiokonazol a náduszokon nem képes átjutni, transzlokációt csak igen kis mértékben fedeztünk fel a kalászon belül és a kalász, valamint a zászlóslevél hatóanyagtartalma között (LECHOCZKI-KRSJAK ÉS MTSAL, 2010; 2013; 2015). Ez azt jelenti, hogy a szer szisztemikus, azaz a fungicidet tartalmazó permetecsepp hatóanyaga a levélben eloszlik, vagyis szisztemikus jellegű, a kifejlett növényeknél viszont ez már csak töredékesen igaz, a náduszok a száron, vagy a kalásztengelyen egyaránt akadályozzák a hatóanyag szisztemikus szétterjedését a növényben. A kalászvédelem szempontjából ez azt jelenti, hogy a kalászokat oldalról kell permetezni

előre és hátra permetező szórófejekkel, előre egyharmad hátrafelé kétharmad arányban, mivel előre torlódik a permetlé, hátrafelé pedig hígul, amit ki kell egyenlíteni, mivel csak a permetet kapott kalászkák lesznek védettek. Azt viszont nem tudjuk, hogy a kalászkatengelyen belüli náduszkodnak van-e ilyen szerepe. Ezt is érdemes lenne tisztázni. Ezzel a permetezés hatékonyságát lehet növelni, ami a toxinszintet is csökkenti, de folytatni kell a vizsgálatokat, mert fajtaspecifikus reakciók is lehetnek. Mindenesetre a fungicid és mérsékelt ellenállóság kombinálása 98%-os DON-tartalom csökkentést okozott nagyüzemben (MESTERHÁZY ÉS MTSAL., 2018b; 2018c).

A rezisztencia és a fungicid hatás közötti kapcsolatot az elsők között ismertük fel (MESTERHÁZY és mtsai., 2003; 2011; LEHOCZKI-KRSJAK ÉS MTSAL., 2010; MESTERHÁZY, 2003; 2014). A kísérleti tapasztalat ugyanaz volt, mint a rezisztenciavizsgálatok esetében, csak mindhárom tulajdonság együttes elemzése alapján lehet megbízható előrejelzést tenni a szerek hatásának előrejelzéséhez. Ehhez viszont pontos rezisztenciaadatokra van szükség. Ezek nélkül a betegség- és toxin-előrejelzés sem oldható meg, mivel azokat időjárási tényezők alapján végzik. A rezisztens anyagoknál pedig a rendszer akkor is riaszt, ha semmi baj nincs. A rezisztenciaszint kalkulálása egyébként nem új, a rozsdáknál már évtizedek óta használják a módosított Cobb-skálát (MCINTOSH ÉS MTSAL., 1995) és a nagyon fogékony kategóriában S az eredeti érték marad. A mérsékelt fogékonyonál 0,8, a mérsékelt ellenállónál 0,6, az ellenállónál 0,4, a nagyon ellenállónál 0,2, míg az immunisnál nulla a szorzó. Ez nagyjából tükrözi a gazdasági hatást. Minthogy a búzánál ezt most mérhetővé tettük, számos olyan feladat megoldása is lehetővé vált, ami eddig nem.

4.5. Következtetések

A munkának természetesen nincs vége. Amit a kutatás eddig megtehetett, az készen van. Most a nemesítés, a fajtaelismerés és az egész termelési rendszer átalakítása következik, amihez szükség lesz egy nemzeti agrárprogramra. Ez jobb étel-miszer-biztonsághoz, étel-miszer-ellátási biztonság-hoz, növekvő versenyképességhez és legalább 20 millió fogyasztó számára előrendű minőségű és jó áron értékesíthető búzához vezet. Enélkül a kibontakozó termelési válság nem oldható meg, mert ehhez kiváló alkalmazkodóképességű fajták kellenek. Ezek részben a külföldi fajták alapos vizsgálatával, illetve a hazai nemesítés lehetőségeinek javítása révén érhetők el. A multitoxin problémakörében először világosan kell látni a megoldási lehetőségeket. Egyrészt fontos, hogy búzában is kimutattuk az aflatoxin és a HT-2 toxin határérték feletti együttes előfordulását (BERÉNYI ÉS MTSAL., 2024), ezért ennek rezisztenciahátterét is vizsgálni kell. Az is eldöntendő, hogy ebben mi a nemesítés és mi az agronómia, talajművelés, növénytermesztés feladata, és az egész termelési láncot egységben kell szemlélni ahhoz, hogy a végtermék eladása révén a szükséges jövedelem a termelő rendelkezésére álljon. Ma még a magyar toxikusgomba-kutatás a nemzetközi színvonalat meghatározó országok között van. Kérdés, hogy ez így marad-e a jövőben. Kérdés továbbá az is, hogy a 30 éve lejtmenetben dolgozó nemesítés túl fogja-e élni a most következő időszakot. Egy dolog biztos. Kutatói és fejlesztési kapacitás nélkül a legkisebb probléma megoldása is kérdéses, és százmilliárdok úsznak el.

5. Kukorica

5.1. Kórokozók, toxinok, tünetek

A gabonafélék közül a kukorica a leginkább kitett a toxikus gombákkal szemben (MAGAN ÉS MTSAL., 2011). A károk hatalmasok. Például 2024-ben a kukoricában az aszály elvitt 300 milliárd értékű termést, a learatott termés fele volt aflatoxin-szennyezett. Ez további 200 milliárdot jelent. Ha ez nem vált ki cselekvési kényszert, akkor mi? Sokfelé volt baj a silókukoricával is, ugyancsak az aflatoxin-szennyezettség miatt.

Kérdés, hogy van-e remény és mit kellene tenni? Az Agrofórum online-ban megjelent, hogy az aflatoxinmentes technológia lényege, ha a rovarkártételt távol tartjuk. Az elmúlt 15 évben, amíg aflatoxin- és egyéb rezisztenciával dolgoztunk, a nem rovarrágott csöveken is gyakran volt igazán súlyos, akár 1000 ppb-t meghaladó aflatoxin-szennyezés akár vizuális tünetek nélkül is. A Bt kukorica amerikai adatok szerint 50-70%-kal kevesebb toxint tartalmazott, mint ugyanaz a kukorica GM-mentes állapotban. De nem lett nulla, hanem sokszor messze határérték fölé emelkedett. Ennek ellenére elnevezték toxinmentes technológiának. A probléma sokkal nagyobb, mint amit egy vagy több jólirányzott rovarirtó permetezéssel el lehet érni. *Mi nem ígérünk toxinmentes technológiát. Azt azonban igen, hogy megfelelő fajtaválasztékkal, agrotechnikával és más megoldásokkal a növekvő éghajlati kockázatot ellensúlyozni és még csökkenteni is lehet.* Ebben az alfejezetben ezt a problémakört járjuk körül.

Bár a kórokozó fajok száma nem sokban tér el a búzát károsító fajoktól (itt is van 16 faj), (MESTERHÁZY ÉS VOJTOVICS, 1977). Az európai helyzetet a 3. táblázat is mutatja, ahol a kórokozó fajokat és az általuk termelt fontosabb toxinokat is bemutatjuk. Igaz, 2002 óta sok változás történt, de a lényeg benne van. A búzával szemben kiemelt fontosságú a *F. verticillioides*, a másik fontos tényező az *A. flavus* tömeges előfordulása, amelyek a kukoricára jellemzőek. Az előbbi legalább százféle fumonizint, az utóbbi négyféle aflatoxint termel, igen széleskörű toxicitással emberre és állatra egyaránt.

3. táblázat. Gabonafélékhez köthető toxikus *Fusarium* fajok és toxinjaik

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

Rövidítések: AcDONok – mono-acetildezoxinivalenolok (3-AcDON és 15-AcDON); AcNIV – monoacetilnivalenol (15-AcNIV); BEA – beauvericin; DiAcDON – di-acetildezoxinivalenol (3,15-AcDON); DAcNIV – diacetilnivalenol (4,15-AcNIV); DAS – diacetoxiscirpenol; DON – dezoxinivalenol (vomitoxin); FB1 – fumonizin B1; FB2 – fumonizin B2; FB3 – fumonizin B3; FUP – fuzaproliferin; FUS – fuzarenon-X (4-acetyl-NIV); FUC – fuzarokromanon; HT2 – HT-2 toxin; MAS – monoacetoxiscirpenol; MON – moniliformin; NEO – Neosolaniol; NIV – nivalenol; T2 – T-2 toxin; ZEN – zearalenon; ZOH – zearalenolok (α és β metabolitok).

(Forrás: LOGRIECO ÉS MTSAL. [2002] nyomán)

A kórokozók által okozott tünetek a legfontosabb fajok esetén jól dokumentáltak, és igen sok a hasonló tünet különböző fajok esetében, de ugyanaz a faj is okozhat igen eltérő tüneteket eltérő

hibrideken. A tünetekből ezért a fajokra nézvést nem lehet következtetést levonni, a gyanú is inkább fajcsoportokra vonatkozik. A gombák túlnyomórészt virágfertőzőek, és a bibék közvetítik a fertőzést. Komoly szerepe van a rovarrágásoknak, ezek nyomán igen gyakori a fertőződés, amihez egyébként a rovarok jelenléte nem feltétlenül szükséges. Nem ritka a csutka felőli fertőződés (13. ábra).



13. ábra. Természetes fertőződésből származó *F. graminearum*-fertőzés, a felső sorban egészséges kontrollszemek, a két alsóban a kupa többnyire tünetmentes, de a csírárszról felfelé terjedő fertőződés jól megfigyelhető. Ezen csövek külső felülete többnyire tünetmentes, ami nem jelent természetesen fertőzés- és még kevésbé toxinmentességet

Az irodalom sokszor beszél a csőpenészekkel szembeni ellenállóságról, amely impliciten feltételezi a különböző kórokozókkal szembeni közös ellenállóképességet, de a legkisebb tudományos alátámasztás nélkül. Két kivétel van, az északabbi területeken a *F. graminearum* és a *F. verticillioidea* előfordulása a két fajjal szembeni vizsgálatokat indokol, délen, például a Földközi tenger medencéjében, illetve az USA déli részén a *F. verticillioidea* és az *A. flavus* együttes előfordulása gyakoribb. Ebben a tekintetben megjelent néhány dolgozat (MESTERHÁZY, 2012) főleg Kanadából és az Amerikai Egyesült Államokból. Az összefüggések közepesek, ami azt jelenti, hogy van hibrid, ahol az összefüggést ki lehet mutatni, más esetekben viszont nem. Magyarországon mindhárom kórokozó gyakran előfordul, mivel három klímaöv határán fekszünk, és a melegedő klíma miatt már az aflatoxinokkal is kell számolni. Ezért e gombákkal és toxinjaikkal szembeni ellenállóság jelentősége igen nagy. Hétéves multitoxin-adatok csaknem 17000 kukoricára vonatkozó SGS-toxinadat elemzésével (2012–2017) az ország egész területe górcső alá került és publikáltuk is ezeket az adatokat (MESTERHÁZY ÉS MTSAL, 2022a). Ez egyben a mezőgazdaság és minden felhasználó számára fontos.

A legfertőzöttebb területek az ország déli és keleti kb. 100 km-es szegélyét érintették leginkább, a többi területen a toxinszennyezés mérsékeltebb volt. Az itt vizsgált minták többnyire keverékekből származtak, így a fajtákra, hibridekre nem lehet következtetni. Mivel túlnyomórészt tárolt terményről volt szó, a toxinok eredetét sem lehet megmondani, mert az lehetett mind szántóföldi, mind tárolási hibákból eredő is. Egy másik 10 éves munkában a mesterséges fertőzéses kísérletek fertőzetlen kontrolljainak DON, fumonizin B1 + B2, és aflatoxin B1 szennyezettségét

mértük fel aratáskor. A kukorica 2014 és 2023 közötti természetes toxinszennyezéséről az adatokat 2022-ben (MESTERHÁZY ÉS MTSAL., 2022b), és 2024-ben (MESTERHÁZY ÉS MTSAL., 2024) publikáltuk. A tíz évből csak kettőben volt a hibridek átlagában mindhárom toxin (DON, FB1+B2, AFB1) szempontjából határérték alatti, a többiben egy, kettő, vagy akár mindhárom toxin is okozott egyidejű járványt a Dél-Alföldön. Ennek alapján az aflatoxin-előfordulás négy évben volt járványszerű, 2020-tól aflatoxin csak 2023-ban volt csak szórványos.

Jól látszik, hogy ugyanazt a toxint több faj is előállíthatja, és ugyanaz a faj sokféle toxint is képes egyidejűleg termelni. Emiatt az azonosított toxinból csak bizonyos valószínűséggel lehet a toxintermelő fajokra következtetni, és ez fordítva is igaz.

Van még egy komoly gond. Az összes csőpenész-kórokozót három csoportba sorolták. Az *Aspergillus* fajok AER (*Aspergillus* ear rot) besorolást kaptak, a *Fusarium* fajok *Fusarium verticillioides* csőpenész (pink ear rot FER), a *Gibberella* fajok által okozott csőpenész (red ear rot GER) besorolást kapta. Van azonban négy olyan *Fusarium* faj, amely mindkét csoportban (FER, GER) szerepel (MUNKVOLD, 2003), mert a besorolás elsősorban a kiváltott tünetek szerint történt. A kórokozók perfekt alakja sokszor nem korrekt, van, ahol eddig még nem találták meg (*F. culmorum*), vagy a járvány előidézésében nincs jelentősége, ezért legfeljebb érintőlegesen vizsgálják. A csoportképző elvről, az ellenállósági genetikai kapcsolatokról alig van információ, ezért a FER-csoportba tartozás nem jelenti automatikusan a több *Fusarium*, vagy akár *A. flavus*-sal szembeni közös rezisztenciát. A toxintermelési képességek pedig igen lényegesen eltérnek. Vagyis alapvető információk nincsenek a birtokunkban. Ezt célszerű tudomásul venni, és az ehhez szükséges munkát el kell végezni.

SZÉCSI ÉS MTSAL. (2010) hatvan *F. verticillioides*-izolátum FB1-, FB2-, FB3- és FB4-termelését vizsgálva megállapították, hogy az FB1 a legfontosabb, ami nem volt új, az viszont igen, hogy az FB1 aránya a 2,8 és 91% között mozgott az összes fumonizintartalomban (72%, 19% volt az FB2-átlag, míg az FB3 és FB4 6, illetve 2,6%-os átlagot mutatott. Az FB2-szélsőségek 5,4 és 81% voltak, de 10-15%-os arány az FB4 esetében is előfordult. Az FB1-arány tehát jó tájékoztató adat, de az adott minta és izolátum tekintetében jelentős eltérések lehetnek. Ma már BARTÓK ÉS MTSAL. (2010; 2013) munkássága révén száznál több fumonisin toxin ismert, közöttük olyanok is, amelyek az FB1-nél tízszer mérgezőbbek, vagyis a probléma valószínűleg súlyosabb, mint amilyennek tudjuk.

A T2 és HT2 tekintetében igen kevés adat van, az aflatoxinnal kapcsolatban viszont annál több. Mivel itt is határértékkel rendelkező toxinokról van szó, ezért ezekre is figyelni kell. Abban a szerencsés helyzetben vagyunk, hogy a négy aflatoxin 99%-a AFB1, ezért ennek mérése elegendő. A másik három aflatoxin elfordulása igen magas AFB1-értékek esetén valószínű, de hibridenként eltérő. Ilyen adatok csak néhány évből vannak, ezek változatos fajtafüggést feltételeznek.

Kukoricával 1973-ban kezdtünk el foglalkozni, akkor még csak a zearalenon volt ismert, a DON első említése 1973-ból van (YOSHIZAWA ÉS MOROOKA, 1973), de a nemesítésnek még sok év kellett, míg megoldandó feladatként is jelentkezett. A fumonizinek leírása pedig 1988-ban történt meg (GELDERBLOM ÉS MTSAL., 1988), a terményekből már korán vannak adatok. A kukoricában a nemesítés számára az aflatoxin 1975 táján vált aratás előtti toxinná, korábban csak raktárinak gondolták. Nálunk ez a felismerés 2022-re igazolódott (MESTERHÁZY ÉS MTSAL., 2022b). A munkát hátráltatta, hogy a fertőzés és a toxintartalom között genetikai azonosságot tételeztek fel, az csak később derült ki, hogy a toxinszabályozást sokszor eltérő mechanizmusok irányítják. Ezért először csak a *F. graminearum*mal és *F. culmorum*mal dolgoztunk, és csak 2005 táján jött be a fumonizinprobléma miatt a *F. verticillioides* és 2007-ben láttunk először szabad földön komolyabb *Aspergillus*-fertőzést. 2012 volt az első, csaknem országos aflatoxin-szennyezés éve, amely mind a

silókukoricában, mind a szemes táblákon komoly szennyezést okozott. Komolyabb ellenintézkedés nem történt, az aflatoxin-kutatásnak és a növényi rezisztencia vizsgálatának nem voltak nálunk hagyományai, és elsősorban a raktári előfordulást vizsgálták, ha egyáltalán voltak tesztek.

A korábbi ismeretek és tapasztalatok alapján 2012-ben elkezdtük az *A. flavus* gombával szembeni rezisztencia vizsgálatát mesterséges fertőzéses eljárással a három fő kórokozó 2-2 izolátumával szemben (SZABÓ ÉS MTSAL., 2018), amit 2021-től háromra növeltünk, hogy még pontosabb adatokat szolgáltatthassunk. A 2012-es tömeges aflatoxin-fellépés igazolta a döntés helyességét. A mesterségesen nem fertőzött kontrollsorok termését mindhárom toxinra elemeztük (4. táblázat) (MESTERHÁZY, 2024). Csak azokat a csöveket vettük figyelembe, amelyeken szabad szemmel látható rovarkártétel nem volt, ez a mesterséges fertőzésnél is természetesen szempont volt, mert nem a rovarkár következtében fellépett toxintartalmat akartuk mérni, hanem azt elérni, hogy az eredmények rezisztencia szempontból értelmezhetők legyenek.

Az adatok szerint a kilenc évben kétszer fordult elő DON-járvány. A hibridátlag 2021-ben 0,95 mg/kg volt, miközben a felnőtt sertések határértéke 0,9 mg/kg, a malacoké pedig 0,2 mg/kg. Ennek alapján a hibridek jelentős része alkalmatlan igényesebb takarmány előállítására. Azaz, az évek harmadában mutatkozott szignifikáns, kisebb-nagyobb DON-szennyezés. Fumonizinből két kiemelkedően járványos év volt, de a többiben is volt legalább néhány hibrid, amelynél határérték feletti értéket mértünk. Az aflatoxin-szennyezettség négy alkalommal haladta meg az állattenyésztésben alkalmazott 20 µg/kg határértéket, 2022-ben csaknem harmincszorosan. De 2020-ban is 15-szörös volt az érték. Ez okozta a legsúlyosabb járványt. A 2022. év azért is volt meglepetés, mert míg korábban minden évben a hibridek jelentős részénél voltak érzékenységi küszöb alatti hibridek, ezek a táblázatban nulla értéket kaptak, de 2022-ben minden hibrid határérték feletti aflatoxin B1-tartalmat mutatott (27–585 µg/kg). 2023-ban egyik toxin átlaga sem érte el a kritikus határt, így három járványmentes év volt a tízből. 2024-ben ezt a munkát nem tudtuk folytatni, viszont a bejövő információk alapján a termés 50%-a minőségileg kifogásolt volt, emiatt rengeteg átvételi kifogás keletkezett.

4. táblázat. Kukoricahibridek természetes fertőzöttsége és toxinszennyezése
2014 és 2023 között Kiszomboron

Év	Csőpenész %	Toxin		
		DON mg/kg	FUM B ₁ + B ₂ mg/kg	Afla B ₁ µg/kg
2014	1,12	6,29	20,79	16
2015	1,21	0,14	4,03	87
2016	0,25	0,16	1,76	6
2017	0,47	0,25	1,82	51
2018	0,47	0,90	0,70	3
2019	0,18	1,77	1,16	4
2020	0,18	0,09	2,16	316
2021	0,31	0,95	2,42	1
2022	1,33	0,00	5,16	188
2023	0,42	0,34	1,39	2
Átlag	0,59	1,17	4,44	67,4

Zöld kiemelés: járványos év

Aratáskor a termést bezúdítták a tárolókba, mindenféle vizsgálat nélkül, így a szennyezett tételek az egészséggel keveredtek, és olyan heterogén aflatoxin- és egyéb toxineloszlás jött létre, amiből megbízható eredményt nem lehetett kapni. Ennek jelentős része a különböző tételek keveréséből származott, egy toxinszennyezett pótkocsinyi termés az egész siló tartalmát tönkre

teheti. A tíz évből mindössze három évben mutattak a hibridek mindhárom toxinnál a határértékek alatti toxinátlagot. Ha a humán fogyasztásra szánt kukoricát nézzük, ott 2 µg/kg az aflatoxin B1 határértéke, aminek biztosítása kemény dió. Három évben volt 2-3 toxin egyidejűleg járványos mértékben és háromban csak egy jelent meg. Ez azt jelenti, hogy a nálunk mind a három kórokozóra oda kell figyelni. A csőfuzárium, illetve csőpenész problémája a toxinkérdéssel együtt rovarproblémának van beállítva, erről írt például az Agrofórum online 2025-ben, és a Mezőhír 2025-ös cikke, amelyek toxinmentes technológiát ígérnek. Én azonban ennyire nem lennék bátor. Elég a Bt géneket hordozó kukorica hibridek *F. verticillioides*- és *A. flavus*-fertőzöttségének és toxintartalmának csökkenését figyelni és az nem 100% (MUNKVOLD, 2003; 2014; MUNKVOLD ÉS WHITE, 2016). Ugyanígy a rovarirtás sem ad 100%-os eredményt. Ennek alapvető oka, hogy a penész nem kizárólag a rovarok okozta sebeken keresztül jut be, hanem kórokozó gombákról lévén szó, ezek a rovarmentes csöveket is képesek fertőzni, akár nagyon súlyosan is. Igaz, hogy ez elsősorban a két említett fajjal kapcsolatos., a *F. graminearum* például bár sokkal fertőzőképesebb, de konidiumtermelő képessége lényegesen gyengébb a másik két fajnál. Ez utóbbiak a kisebb fertőzőképességet hatalmas konidiumtömeg termelésével elég hatékonyan ellensúlyozzák. A rovarok, talán éppen ezért, ezek továbbvitelében játszanak kiemelkedő szerepet. A fentiek azt igazolják, hogy mindhárom kórokozóra figyelniünk kell, amit ezen adatokon túl a 17 000 országos SGS-toxinmérési adatai is alátámasztanak (MESTERHÁZY ÉS MTSAL, 2022a). A minél magasabb ellenállóság a rovarkár következtében fellépő többletfertőzést is képes lehet semlegesíteni, ezért van a gazdanövény ellenállóságának kiemelkedő szerepe a védekezésben.

A védekezésnek több módja ismert. Ha a betegség vagy toxintermelés háromszögét nézzük, akkor három oldalról lehet megközelíteni a problémát.

Az első a *betegség-ellenálló képesség*, amiről ugyan változatlanul keveset tudunk, de annyit már igen, hogy az érdemi nemesítési és minősítési munka elkezdődjön.

Egyelőre úgy látszik, hogy a nemesítés nem tud mit kezdeni a toxinokkal, pedig nem reménytelen a helyzet. A második a *kórokozó-populáció mérséklése*, ami szintén nem egyszerű feladat. A fungicides védelmet ide is sorolhatjuk, de ugyanilyen megokolással az a növénytermesztés része is, hiszen a talajművelés, a vízgazdálkodás, a víztakarékos termesztési gyakorlat erre is hatással van. Végül a *környezeti oldal szabályozása* a 3. beavatkozási lehetőség, ahol jobb talajműveléssel és egyéb eljárásokkal mérsékelni lehet a betegség fellépését. A talajminőség és termőképesség azonban továbbra is eltérő marad, még akkor is, ha ezek fejlesztésére is vannak elvi és gyakorlati lehetőségek.

A védekezés alapvető feladata a megelőzés, amely sokkal olcsóbb és hatékonyabb, ha a betegség-ellenállóságot is integráljuk a rendszerbe. Ez eddig még nem történt meg, legfeljebb kezdeményezések vannak. Így azután marad a sok száz milliárd forintos kár, aminek felét, kétharmadát meg lehetne takarítani. Nem gondolnám, hogy ennyire gazdagok lennénk. Inkább azt gondolom, hogy ezért nem leszünk gazdagok.

5.2. A betegség-ellenállóság toxikus gombákkal szemben

Annak ellenére, hogy majdnem minden a csőpenészekkel és toxinjaikkal foglalkozó dolgozat, tanulmány vagy szemleciikk említi a betegség-ellenállóságot mint lehetséges védekezést, és javasolja az ellenállóbb hibridek használatát, arról már nincs információ, hogy ezt hogyan lehet megtudni, továbbá arról sem, hogy honnan. Sokáig a csőpenészt elsősorban a termésre gyakorolt hatása miatt vizsgálták, ebben a *F. graminearum* vitte el a pálmát, mert súlyos termésvesztéséig követte a járványokat.

A toxinokra csak lassan derült fény, az *Aspergillus flavus* termelte aflatoxin B1-et egy 1961-ben Nagy Britanniában több tízezer pulyka elpusztulása után azonosították, és két év múlva a Magyar

Állatorvosok Lapja már foglalkozott a kérdéssel. A 60-as években fedezték fel a nagy amerikai *F. graminearum*-járványok után az ösztrogén hatású F-2 toxint, amit STOB és MTSAL. (1962) említettek először. Toxikológiai és kémiai azonosítását MIROCHA és MTSAL. (1979) végezték el, végleges neve zearalenon lett. A DON a 70-es években került reflektorfénybe, míg a fumonizinek csak a nyolcvanas években váltak ismertté. A részletek DESJARDINS (2006) könyvében szerepelnek. Magyarországon Varga János tett sokat a mikotoxinok és különösen az *Aspergillus*ok megismerése területén (VARGA és MTSAL., 2003). A 60-as évek végén és a 70-es években a *F. graminearum* csőpenész egy évtizedig csaknem minden évben gondot okozott, ezért is kezdtünk el 1973-tól vele dolgozni. Toxinok nélkül a két másik gomba sem lenne a célkeresztben, mert a termésveszteségre gyakorolt hatásuk csekély, az *Aspergillus*nál például normál esetben 0,1-0,2% a látható fertőzöttség, az 1% már ritka. A *F. verticillioides* 2-3%-nál súlyosabb fertőzést ritkán okoz. Mivel a beltenyésztett vonalak általában érzékenyebbek, itt a 70-es években 50-60% átlagos csőpenész-fertőzöttség is előfordult, volt, hogy alig volt tünetmentes cső a vetőmag-előállító táblán. Mivel a *F. verticillioides* gombafertőzés a csírárt ritkán pusztítja el, ezért vetőmagot még lehetett belőle készíteni. A *F. graminearum*nál viszont akár 40-60%-os csőfelület-fertőződés is előállhat természetes forrásból, és ezek már nagyon ritkán csíráznak ki.

A toxinok megjelenése feje tetejére állította a rezisztencianemesítést. Olyan kórokozókkel kellett valamit tenni, amelyek a *F. graminearum* kivételével a termés szempontjából nem voltak jelentősek, kinek tűnik fel egy fél százalékos vagy annál kisebb fertőzöttség. Hogyan lehet viszonylag gyenge fertőzőképességű gombafajokból megbízható eredményeket kapni, amelyek még toxin szempontból is relevánsak. Ezen túl volt és van olyan nem kimondott hipotézis, hogy a szemmel látható fertőzöttség és a toxintartalom összefügg, mégpedig olyan szorosan, hogy elegendő a tünetekre szelektálni, és így automatikusan a toxinszennyezettség is elfogadható lesz. Természetesen vannak ilyen eredmények, például egy hasadó anyagban, térképezési populációban szorosabb kapcsolatok várhatóak (LANUBILE, 2014), mint amit a genetikailag igen heterogén (különböző eredetű) hibrideknél kaptunk (MESTERHÁZY és MTSAL., 2020; 2022c; 2022d; 2024). Ma már világos, hogy ez a mértékű általánosítás nem valós, hanem félrevezető. Amikor az első dolgozatokat elküldtük a szerkesztőségeknek, a kérdés az volt, hogy miért nem beltenyésztett vonalakkal dolgozunk. Azt válaszoltuk, hogy alapkutatási szempontból ugyan ez indokolt lehet, mi viszont nem a beltenyésztett vonalak, hanem a hibridek toxinkockázatát kívánjuk felmérni. A feldolgozott árunövény a hibrid, és annak toxintartalma határozza meg felhasználhatóságát, ezt pedig a beltenyésztett vonalak adataiból *per se* nem lehet kiolvasni. Van ugyanis a termésre és az ellenállóságra is kombinálódó képesség, amely lehet specifikus vagy általános, ezen túl nem függenek feltétlenül össze, de egyezések lehetnek. Az érvelést elfogadták, és a dolgozatok sorra megjelentek. Természetes volt, hogy a nemesítési értéket is kellene vizsgálni. Egy normál nemesítő cégnél 4-500 beltenyésztett vonal biztosan van. A problémára a nemesítésnél még visszatérünk.

A módszertani kérdések már itt is jelentkeztek. Minthogy a búzánál ezek jelentőségét már a 70-es években felismertük (MESTERHÁZY, 1977) ezt a kukoricánál is megvizsgáltuk, egyelőre csak rezisztencia szintjén, mert a toxinvizsgálat a nemesítésben sehol sem volt még bevezetve, hiszen többségük nem is volt ismert.

Az irodalom nagyszámú inokulációs módszerről számol be. Nagyon sokan ma is ragaszkodnak a természetes fertőzöttséghez. Az is kiderült, hogy a természetes fertőződés nem igazán objektív, más oldalról viszont igen fontos, mert a járványtani tényezők hatása elég összetett ahhoz, hogy még ugyanazon táblán belül is nagyon eltérő toxinszintek alakuljanak ki. A táblán belüli eltéréseknek ökológiai okai vannak, hiszen a hibrid ugyanaz. A másik oldalról ezek okait is ismerni kell, hiszen az összes toxinlimit a természetes fertőződés következményeit méri, aminek elsőrendű

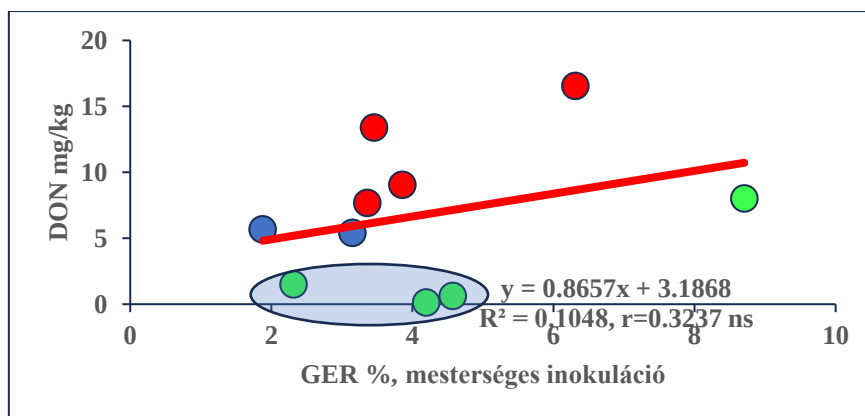
gazdasági jelentősége van, és egyben visszajelzés a nemesítő cégek felé is. Szerintünk erről kötelező lenne a felhasználó gazdaságokat is tájékoztatni, és olyan nemesítési minősítési rendszert kidolgozni, amely kizárólag alacsony, vagy legfeljebb közepes kockázatú hibridet enged a köztermesztésbe, és megfelel ezeknek az igényeknek. Ezeknek jelen pillanatban vagy nem tudnak, vagy nem akarnak megfelelni. Az biztosan nem véletlen, hogy akármelyik kukorica-fajtaismertetőt lapozzuk végig, mindenütt a termőképesség van az első helyen. Néhány hibridnél ugyan emlegetnek csőpenész vagy *Fusarium*-ellenállóságot (tünetek alapján), de toxinadatokat eddig még nem láttam. Annak ellenére, hogy MUNKVOLD (2003) már tényként számol be a három fontos gombafajjal szembeni ellenállóságról, de az ezek közötti kapcsolatok tisztázatlanok maradtak. Ami ennél sokkal fontosabb, hogy ilyen adatokat egy dél-afrikai fajtaismertető kivételével senki sem közöl. Toxinadatokat még kevésbé. Egy e-mailben 2025 elején azt kérdeztem MUNKVOLD úrtól, hogy mi a véleménye a fajtaminősítés bevezetéséről toxikus gombákkal szemben az USA-ban? Válasz: ilyen igény még nem merült fel. LOGRIECO ÉS MTSAL (2021) összegezték az eddigi eredményeket, a termés mindenáron való növelése feladta az alkalmazkodóképességet, ez pedig a nemzeti átlagtermések növelésének is alapvetően gátat szabott, így a legfontosabb rezisztenciakutatási eredmények máig nem váltak nemesítői közkinccsé. Amikor egyetemre jártam, Láng professzor azt mondta, hogy a termést három tényező határozza meg. Nagyjából egyharmad a genetika, egyharmad a természeti környezet és egyharmad az agronómia, amiben a talajműveléstől a növényvédelmen és az aratáson át a raktározásig minden benne van. Ezen belül az alkalmazkodóképességnek kiemelt szerepe van, enélkül nincs eredményes növénytermesztés. Most a fordulóponton vagyunk, ahogy Deák Ferenc mondta, újra kell gombolni a mellényt, azaz csak a genetikai termőképesség nem old meg semmit, sőt növeli a bajt, hiszen az alkalmazkodóképesség háttérbe szorult. Ezt a hibridvizsgálati eredmények is mutatják. A kutatásnak is évtizedekbe került, hogy a gyakorlatban is érzékelhető új eljárásokat tudjon javasolni. A változó környezetben a visszamaradt technológia és a holisztikus gondolkodás hiánya csődközeli helyzetet okozott. Itt érződik a kutatás és oktatás sok évtizede tartó leépülése, sok témában már ma sincs nemzetközi rangú szakemberünk és sok magyar nyelvű szakcikkből jelentős tömegű helytelen információ jelenik meg, ami csak tovább rontja a helyzetet. 2024-ben publikáltuk azt a dolgozatot, amely a korábbi részeredményeket összegezve, de most már a teljes minősítési rendszert a toxikus gombákkal szemben új alapokra helyezte (MESTERHÁZY ÉS MTSAL, 2024a).

Lényegében két fő inokulációs módszer létezik, amelyeket egy szemlecikkben összegeztük (MESTERHÁZY ÉS MTSAL, 2012). Minthogy a *Fusarium* és az *Aspergillus* fajok is virágfertőzők (bár más utak is vannak), ezért standard a bibe fertőzése lett, amit vagy a konidiumsuszpenzióként permeteztek a bibékre, és polietilén zacskóval biztosították néhány napig a páratartalmat, vagy a bibecsatornába injektált szuszpenzióval végeztek. Sebzéssel ez is jár, viszont adagolása pontatlan, a 2-5 ml szuszpenzió jelentős része a földre folyt a 40 éve végzett kísérletekben. Másrészt a cső felületén a sorok közé is bejuthat, vagyis az inokulált csöveken eleve eltérő fertőzöttségű felületek alakulhatnak ki. Ez általában 6 nappal az 50%-os nővirágzás után történt. Mi a bibék permetezésével nem értünk el eredményt, így ezzel nem foglalkoztunk tovább, de a bibecsatornás módszert 40 hibriden négy évig vizsgáltuk fogvájós módszerrel, amit az irodalomban javasolt 11-12 nappal az 50%-os nővirágzás után végeztünk (MESTERHÁZY ÉS MTSAL, 2020c). Ez az eljárás a szemrezisztenciát mutatja (kernel resistance), a kezdeti vizsgálatok leginkább Kanadában történtek (RIED ÉS MTSAL, 1966). Nem egy cikk számolt be erős fertőzésről nedvesebb körülmények között, nálunk viszont a négyéves átlagok alig tértek el a természetes fertőzöttség 3-4%-os értékétől. A csőközépi inokuláció ennél 3-4-szer nagyobb fertőzési átlagokat mutatott, a toxintartalomban 3-10-szeres különbség volt a fogvájós inokulációnál, vagyis ez sokkal jobban differenciálta a hibrideket, mint a bibecsatornás módszer (MESTERHÁZY ÉS MTSAL, 2020c). A csőközépi inokulációt szuszpenzióval is

lehet végezni, itt annyi a különbség, hogy az előre ütött lyukba 20-50 mikroliter szuszpenziót adagolnak beállított injektorral, de az elfolyás, még akkor is, ha sokkal kisebb mértékben, mint a több milliliter alkalmazásánál, de felléphet. Ez volt a másik alapvető ok, hogy mindegyik kórokozónál a fogvájós inokuláció mellett döntöttünk. Ez megteremtette a fertőzések összehasonlíthatóságának feltételeit is. A módszer alkalmazásának hátránya az, hogy a fogvájók fertőzőképességének közvetlen ellenőrzése nem megoldott, ezért minden évben előzetes kísérletre van szükség a régi és új izolátumok és toxintermelésük ellenőrzésére. Így is előfordul sikertelen fertőzés, és ilyen egyszerű okból is kell a több izolátum.

A nemesítők ellenőrzése érthető volt, mivel a fogvájók csőbe juttatása egy 1,5 mm vastag 15 mm hosszú árral történt, és attól tartottak, hogy a sebzés okán a gomba kivétel nélkül mindent visz. A kiváló ellenállóságú hibridek vagy vonalak a szűrés helyén sem fertőződtek meg, vagy csak 1-2 szem fertőződött. A fogékonyaknál viszont a fertőzés gyorsan elterjedt a csőfelületen minden további sérülés nélkül. Ennek a minimális sérülésnek tehát nincs olyan hatása, amely az alkalmazást akadályozná. A természetes fertőződés ellenőrzése természetesen fontos, emellett jelentős számú minta multitoxinos ellenőrzése is szükséges ahhoz, hogy megfelelő visszacsatolás legyen a nemesítő és a gazda felé. Ezt a munkát el kell végezni, ami nem olcsó. *Ez a költség azonban még mindig csak sokadrésze annak a kárnak, amit például a 200 milliárdosra becsült aflatoxin-szennyezettség okozott 2024-ben.*

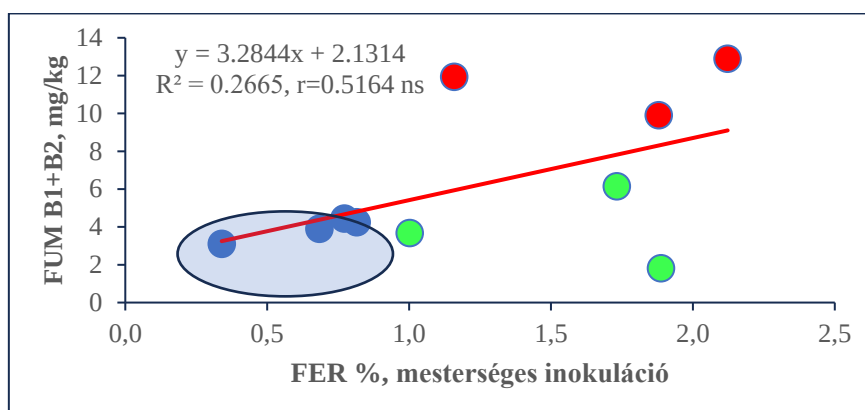
Az izolátumok hatását mind üvegházban, mind a szabadföldön vizsgáltuk (MESTERHÁZY, 1982) és mindkét esetben igen jelentős eltérések voltak. Például az SC 2285HL és a PiMSC 3709 hibrid a 12770-es *F. graminearum*-izolátummal szemben 26 és 27%-os csőpenész-fertőzöttséget mutatott, addig ugyanezek a 12283-as izolátummal 1,13 és 12,37% csőpenész-fertőzöttséget adtak. A PiMSC 3933 hibrid két adata ugyanezen izolátumokkal szemben 28,58 és 7,64% volt. Hasonló eredményeket mutattak az üvegházi eredmények is. Azon természetesen lehet gondolkodni, hogy melyik a jó eredmény. Szerintem mindegyik. Biztonsággal állíthatjuk, hogy sem a *Fusarium* fajok, sem az *A. flavus* nem rendelkeznek specifikus rasszokkal, a növényekben pedig specifikus rezisztenciagéneket a rozsdák mintájára eddig még nem találtak, közvetve ez is a rasszok hiányára utal. Ez tehát ma nem magyarázat. A hibridek rezisztenciavizsgálatát 2006 és 2020 között két izolátummal végeztük fajonként, egy sikeres előkísérlet (2020) után 2021-től már minden kísérletet három gombafajjal szemben végeztük 3-3 izolátummal. Az izolátumok közötti eltérések egyik oka lehet az eltérő agresszivitás, amit a kísérleti adatok egyértelműen igazolnak, az eltérő FAO-számok (korai-kései hibridek) között lehetnek eltérések, de van akár 5-10 nap különbség is az inokulációban, ami eltérő környezeti feltételeket teremthet. Ennek ellenére a FAO-számok és a fertőzöttségek csak a DON esetében mutattak időnként összefüggést, ami izolátumonként is eltérő lehetett. Ugyanez mutatkozott meg a toxinkapcsolatokban is, gyakori volt, hogy a toxintartalom messze elmaradt vagy megnövekedett a várt fertőzési értéktől, amely a lineáris vonal eredeti adatpontjához képest mutatott távolság szignifikanciáját mutatja. Ha az érték magasabb a vártnál, akkor toxintúlermelésről beszélünk, ha viszont lényegesen alacsonyabb, toxinrezisztenciáról. Ezt mutatjuk be a 2022-ben publikált adatok alapján (MESTERHÁZY, 2022b) a 13–15. ábrákon.



Piros: toxin-túltermelés, zöld: toxin-alultermelés, kék: a vonaltól nem tér el szignifikánsan, kék kiemelés: továbbvitelre javasolt

13. ábra. Regresszió a *F. graminearum* csőpenész- és DON-termelés között

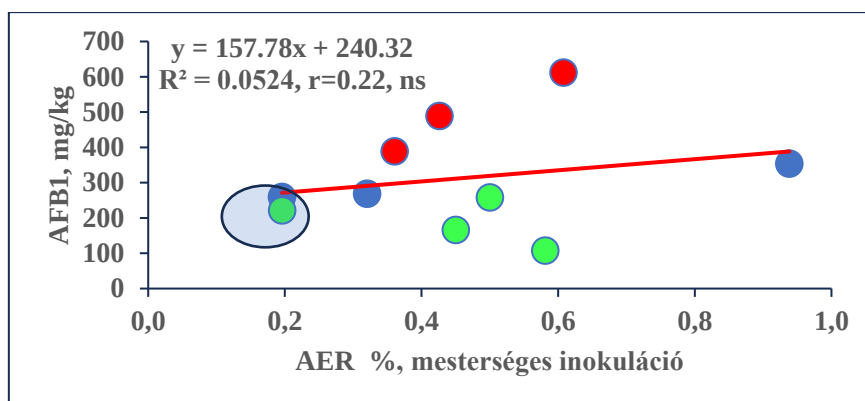
(Forrás: Mesterházy, 2022b)



Piros: toxin-túltermelés, zöld: toxin-alultermelés, kék: a vonaltól nem tér el szignifikánsan, kék kiemelés: továbbvitelre javasolt

14. ábra. Regresszió a *F. graminearum* csőpenész- és a fumonizin B1+B2-termelés között

(Forrás: MESTERHÁZY, 2022b)



Piros: toxin-túltermelés, zöld: toxin-alultermelés, kék: a vonaltól nem tér el szignifikánsan, kék kiemelés: továbbvitelre javasolt

15. ábra. Regresszió a *F. graminearum* csőpenész- és az AFB1-termelés között

(Forrás: MESTERHÁZY, 2022b)

Legalább ilyen fontos volt, hogy lássuk a tünetek és a toxintermelés kapcsolatát egy új megközelítésben (MESTERHÁZY ÉS MTSAL, 2022). Kiszámoltuk az 1% fertőzőtségre jutó toxintartalmat a három izolátum és két év átlagában (5. táblázat). A rangsort a DON szerint adjuk meg. Az első igen szembetűnő eredmény az, hogy a legkisebb és legnagyobb arány között a három toxinnál 127-szeres (DON), tízszeres (fumonizin B1+B2) és kétszázszoros (AFB1) különbség van. Ez azt igazolja, hogy az egyes hibridek ellenállósága vagy fogékonysága különböző toxinokkal szemben nem feltétlenül fertőzőtségarányos. Vagyis a látható tünetekből a toxinmennyiséget nem lehet előre jelezni. Ezt a nem szignifikáns korrelációk is alátámasztják. Itt a Fornad és Korimbos kiemelkedően magas AFB1-értékei okozták a szignifikancia hiányát. Az is látszik, hogy a három gombánál az arányok a gyenge fertőzőképességű fajoknál sokkal magasabbak az értékek, az intenzívebb toxintermelés miatt. A P9978 esetében viszont a DON és FUM B1+B2 között százszoros volt az eltérés, az Armagnacnál viszont csak két és félszeres eltérés van. Szignifikáns összefüggés csak a DON és fumonizinek között van, az aflatoxin esetében viszont egyik esetben sincs szignifikáns korreláció. Ezek az eredmények nem véletlenek, biztosan van genetikai szabályozás is, a jobb megértés a jövő feladata. Ugyanezt az eredményt kaptuk korábban (SZABÓ ÉS MTSAL, 2018; MESTERHÁZY ÉS MTSAL, 2020; 2022d; 2024a) is, vagyis az összefüggésrendszer alapján hatékony szelekció nincs. Ettől függetlenül az adatok már használhatók a nemesítésben és fajtaminősítésben is. A termőképességről sem tudjuk, mi szabályozza pontosan, de mérni tudjuk.

5. táblázat. Kukoricahibridek csőpenész-fertőzőtsége és toxintartalma
1% fertőzőtségre számolva, 2021–2022

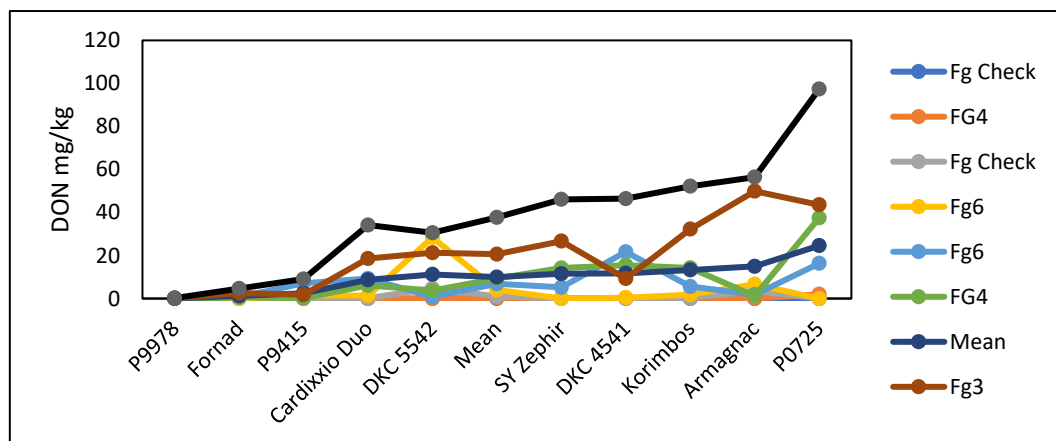
Hibrid	1% vizuális fertőzőtségre jutó toxintartalom			
	DON mg/kg	FUM B1+B2 mg/kg	AFB1 mg/kg	AFB1 µg/kg
P9978	0,03	3,55	1,45	1451
Fornad	0,14	3,66	55,00	55000
P9415	0,65	5,75	1,99	1994
DKC 4541	0,92	0,96	1,29	1294
DKC 5542	1,72	5,27	0,38	376
SY Zephir	2,29	9,12	1,30	1299
Armagnac	2,35	6,07	5,72	5723
P 0725	2,62	5,20	4,25	4245
Cadixio Duo	3,02	5,69	3,23	3225
Korimbos	3,88	10,30	75,00	75000
Átlag	1,76	5,56	14,96	2451
Max/Min	129,3	10,6	199,5	199,5
Csőpenész átlag	4,18	1,24	0,46	

DON: dezoxinivalenol, FUM: fumonizin, AFB1: aflatoxin B1

Az aflatoxinnál további probléma is felmerül. Voltak hibridek, amelyek szabad szemmel látható tünetet nem mutattak, de 1558 és 2286 mg/kg toxint mértünk bennük. Honnan jöhet ez a határértéket másfél-két nagyságrenddel meghaladó aflatoxin-mennyiség? A vizuális tünetmentesség nem jelent egyúttal toxinmentességet, mert vannak szabad szemmel nem látható kezdeti fertőzések. A szemsorok között is lehet zöldes-poros szemfelületet látni, ami atipikus tünet. Ennél fontosabb, hogy a csutka felszínén a fertőzés továbbterjedhet, a csírarészt fertőzve, amit mindhárom kórokozónál igazoltak (MESTERHÁZY, 2024b). A *F. graminearum*-nál a 70-es években mi is láttunk ilyet vetőmagtermesztésből származó csőveken. Ennek okára már a 70-es években rájöttünk (MESTERHÁZY ÉS MTSAL, 2000). Egy kukoricaszártó-korhadási kísérletben a fiziológiai érés alapján kellett a sokszerű elhalás adatait összehasonlítani. Ez 28% szemnedvesség-tartalomnál volt. Feltételezve a vízleadás linearitását, a 28. nap meghatározható volt, és az állományelhalási adatokból, ahol 4-6 felvételezés is rendelkezésre állt, elég jó pontossággal a napot is meg tudtuk határozni. Ehhez kellett két szemnedvesség-vizsgálati időpont nagyjából 10 napos különbséggel. A csutkát a szokásokkal szemben ugyancsak lemértük, majd a szemekkel együtt súlyállandóságig

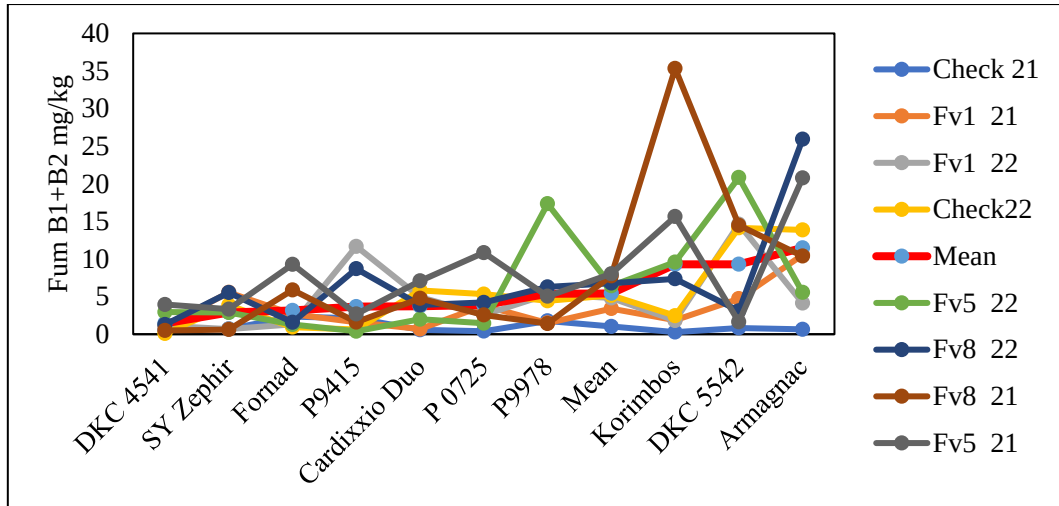
szárítottuk. Amikor ezeket a csutkaadatokkal összehasonlítottuk, kiderült, hogy az adott hibridnél akár 15-25% nedvességtartalom-eltérés is van a szem és a csutka között. CHRISTENSEN és KAUFMANN (1968) szerint 23% szemnedvesség alatt a gombák a szemeken már nem képesek lényegesen növekedni, a csutkán viszont akár 1-2 hétig is lehetséges a további terjedésük, ami a csírákat még meg tudta fertőzni anélkül, hogy ennek külsőleg bármilyen tünete lett volna. Ez mindhárom kórokozónál irodalmilag igazolt. Az aflatoxinnál fordított példa is van. Az általunk izolált 80 *A. flavus*-izolátum fele rizstáptalajon nem termelt aflatoxint, hasonló adatok máshonnan is rendelkezésre állnak (TÓTH ÉS MTSAL., nem publikált eredmények; MESTERHÁZY ÉS MTSAL., 2022a; MESTERHÁZY, 2024a). Ennek alapján választottunk *A. flavus*-izolátumokat a mesterséges fertőzési tesztekhez. Amikor kukoricán is felülvizsgáltuk az aflatoxin-termelőképeséget, akkor már csak nyolc maradt aflatoxin-termelő. Ha nem is ilyen mértékben, de ez a jelenség a fumonizintermelésnél is okozhat gondot.

Azt azonban látjuk, hogy az egyes izolátumok fertőzőképessége igen eltérő fajtasorrendet alakít ki, ahol kétéves kísérleti átlagokat mutatunk be (MESTERHÁZY ÉS MTSAL., 2022d; 2024a). Ezt mutatják a DON-adatok (16. ábra), de ugyanez a jelenség látható a csőpenész, a fumonizin (17. ábra) és az *Aspergillus*-, ill. aflatoxinadatokban is (18. ábra). Ez volt a kiinduló folyamata annak felismerésének, hogy a különböző helyzetekben mutatott stabilitás elemzése a tesztelési rendszer központi elemévé vált. Ezekből azonban más is látszik, mint ahogy azt a búzánál bemutattuk (10. ábra). A nyolc járványhelyzet a DON esetében igen jelentős különbségeket mutatott. A hibridsorrendek nem egy esetben lényegesen eltértek egymástól. A legnagyobb varianciát a legfogékonyabb anyag mutatta, míg a legellenállóbb hibrid minden értéke nulla körül volt. A nyolc járványhelyzet átlaga már jól mutatja a hibrideltéréseket, itt a legelső három hibrid mutatja azt az ellenállóságot, amit a földeken is szívesen vizsgolnánk.



16. ábra. Kukoricahibridek DON-szennyezése 2021–2022-ben nyolc járványhelyzetben

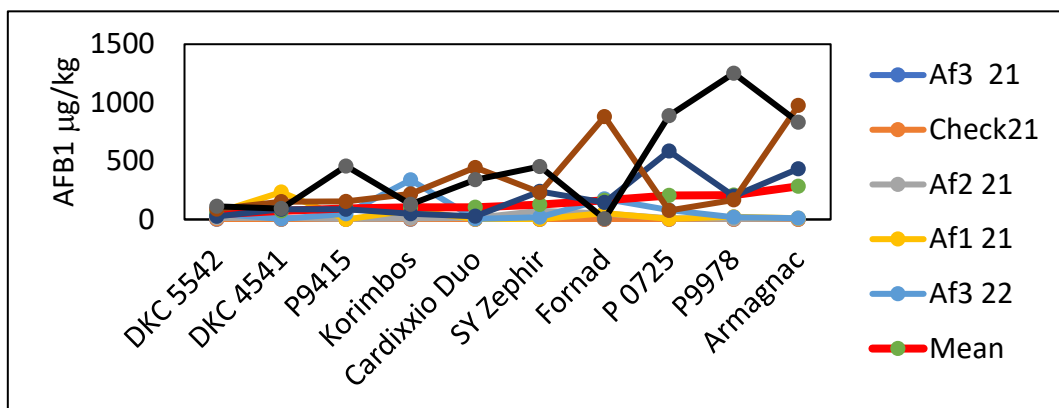
A fumonizin B1+B2-adatok hasonlóak (17. ábra), de itt még a legellenállóbbaknál is van olyan fumonizintartalom, ami malacokra és más fiatal állatokra veszélyes lehet. Ez 1 mg/kg körüli érték, míg a felnőtt állatoknál az ajánlati érték 5 mg/kg körül van.



17. ábra. Kukoricahibridek fumonizinszennyezése 2021–2022-ben nyolc járványhelyzetben

A hibridsorrendek itt is változékonyak, tehát bármelyik izolátum önmagában alkalmatlan genetikai következtetésekre. Ha az Fv8 2022-es értékét nézzük, az lényegesen eltér az előző évi lényegesen agresszívebb viselkedéstől. Itt ugyanis nem látunk nulla körüli értéket. Az átlag viszont itt is sokkal pontosabb adatot ad mind a rezisztenciasorrendre, mind pedig a rezisztencia mértékére, mint bármelyik járványhelyzet egyedül. Az is látszik, hogy a hibridek rezisztenciasorrendje is eltér, a DON esetében például a legjobb P9978 csak a középmezőnyben van, és nem egynek a pozíciója változott.

Az aflatoxin-lefutás is hasonló, három járványhelyzet egyáltalán nem mutatott jelentős aflatoxin-szennyezettséget (18. ábra), öt esetben viszont igen jelentős volt, az 1200 µg/kg értéket is meghaladta. Itt is a fogékonyabbak mutatnak nagyobb kilengéseket és nagyobb varianciát, míg az ellenállóbbak 100 µg/kg alatti értékeket mutatnak. Itt is az átlagadatok a döntőek. A hibridsorrendek itt is eltérnek, ez ugyanaz a jelenség, mint amit az elmúlt 15 évben láttunk.



18. ábra. Kukoricahibridek aflatoxin B1-szennyezettsége 2021–2022-ben nyolc járványhelyzetben

Érdekes a nagy fertőzőképességű izolátumokkal dolgozni, mert ezekkel lehet leginkább differenciálni a hibrideket. A több izolátum használata pedig ilyen esetben megalapozottabb eredményeket ad. Két dolog számít igazán, az adott hibridnél mutatott szóródás, variancia, ami a stabilitást mutatja. Például a P9978 minden izolátummal szemben igen alacsony értéket, alacsony varianciát és magas stabilitást mutatott (MESTERHÁZY ÉS MTSAL, 2024a). A fogékony hibridek viszont a járvány erősségének függvényében bármilyen értéket felvehetnek, azaz magas variancia mellett

igen instabil teljesítményt adnak. Érdemes tehát bármely faj izolátumait fertőzőképességre előzetesen szelektálni, és nem egy izolátummal dolgozni, amelynek konidiumkoncentrációját ugyan valamilyen értékre ugyan beállítják, de ennek semmi köze sincs a fertőzőképességhez, és a toxintermeléshez sem. Ezért gyakoriak az alacsony értékek. Ezek az adatok is azt mutatják, hogy alacsony fertőzőtségi és toxinszinten a fajtakülönbségek sokszor rejtve maradnak. Az izolátumok toxintermelő képességét is meg kell nézni, mert sikertelen kísérlet lehet az ára. Érdemes továbbá nemcsak a mesterséges, hanem a természetes fertőződést és toxintartalmat is figyelembe venni, minthogy mindkettőre szükség van, ezért ezt is be kell vonni a kockázati elemzésbe. A határértékek a természetes toxinszennyezésre vonatkoznak.

Mi következik mindebből? Az bizonyos, hogy az egy izolátummal végzett kísérleteknél 2-3 éven keresztül néhány növénnyel esély sincs az ellenállóság mértékének és a rezisztenciasorrendnek akár hozzávetőleges meghatározására sem. Stabilitást pedig ne is reméljünk ezektől az adatoktól. Éppen ezért sokkal kevesebb a használható adat, mint amit első pillanatban feltételeznénk. Természetesen van néhány kivétel, pl. a Miedaner-csoport munkái (GAIKPA ÉS MTSAL, 2019; MIEDANER ÉS MTSAL, 2021), amelyek azt mutatják, hogy bár egy izolátumosok, de négy termőhelyen azért mégiscsak képződik jól használható adattömeg. Annyi bizonyos, hogy minden genetikával foglalkozó cikk számos QTL-t talált, többnyire kis hatásúakat, és az összes varianciának legfeljebb a töredékét tudták megmagyarázni. Továbbá nem tudjuk a QTL-ek funkcióit. Nagyon valószínű, hogy eltérő funkciók léteznek, mert másként a jelen eredmények nehezen értelmezhetőek. A búzával szemben kukoricában még nem tudunk ilyen specifikus QTL-ekről. Azok a feltételezések igen messze állnak a valóságtól, hogy hatékony QTL-eken alapuló szűrést és nemesítést végezzünk. Kiváló dolgozat sok van, ténylegesen használható viszont kevés. A kukorica még inkább szenved a módszertani gondoktól, sokkal nagyobb a vizsgálat területigénye, költsége, nem is beszélve a toxinanalízisek horribilis költségeiről. Ettől függetlenül egyszer majd valakinek el kellene végezni egy a mai tudásunk szerint optimálisan megtervezett kísérletet. Ha az 1 milliárd tonna körüli globális éves kukoricatermés értékét nézzük, ami 250 milliárd dollár körüli értéket képvisel, ez megérdemel néhány tized %-os ráfordítást, hogy az egészséges termény aránya akár 20-30%-kal is megnőjön, illetve ezt kedvezőtlen körülmények ellenére is biztosítani lehessen.

A kukoricában évtizedek óta alapvető a kombinálódó képesség vizsgálata. Mi is végeztünk egy ilyen kísérletet két éven keresztül két *F. graminearum*-izolátummal szemben két ismétlésben. Nemcsak a tüneteket, hanem a DON-rezisztencia kombinálódó képességét is néztük (MESTERHÁZY ÉS MTSAL, 2022e). Ami meglepő volt, hogy a 27 kombinációból nyolc hibridben lényeges fertőzős-növekedés mutatkozott, azaz negatív heterózist kaptunk. A 19 pozitív esetből (kisebb hibridfertőzőtség a szülők átlagánál) két kivétellel a rezisztencianövekedés szignifikáns volt, a négy legjobb 50-60% növekedést mutatott. A DON-tartalom viszont totálisan ellentmondott ennek, mert csak 10 mutatott pozitív heterózist (toxintartalom-csökkenést) a hibridekben, a többi esetben viszont az érzékenység növekedése sok esetben 100-200%-os értéket is elért. Ez egybevág az előbb ismertetett eredményekkel, miszerint a DON-szennyezettség nehezen jelezhető előre, és csak a tünetek alapján jelentős kockázatok is vannak. Ha a két adatsort összehasonlítjuk, két hibridben találtunk pozitív heterózist, míg ötben konzekvens negatív heterózis volt (nagyobb fogékonyság a szülők átlagánál), további ötnél viszont jól egyezett a GER % és a DON-tartalom. A többinél határozott irány nem volt. Itt a konkrét genetikai bizonyíték arra, amit már korábban előre jeleztünk, hogy a tünetek és a DON-termelés szabályozása genetikailag is eltérhet, és sokszor el is tér egymástól. Ez azt is jelenti, hogy a *per se* vonaladatok nem árulnak el túl sokat a hibrid várható rezisztenciájáról és toxintartalmáról, vagyis érdemes máshonnan megközelíteni a problémát. Azt, hogy e mögött ténylegesen mi húzódik meg, ma még nem tudjuk, a kapott eredményeket viszont már tudjuk használni.

A kérdés most az, hogy mit mutat az összkép a mesterséges és természetes fertőződés, valamint a toxintartalmak között. A 6. táblázat ezt mutatja be. Itt már a három izolátummal kapott átlagokat mutatjuk be a két évben. A csőfertőzöttségnél két esetben van átlag alatti érték az adott oszlopot figyelembe véve, de egy sincs a legalacsonyabb sötétzöld kategóriában. Azonban a Cadixio Duo sárga kiemelés mutat átlag feletti fumonizintartalommal, valamivel az átlag felett, de attól szignifikánsan nem különbözik. Előnye viszont, hogy ennek van a legkisebb aflatoxin-szenyezése a kontrollban, és átlag alatt maradt a mesterséges inokulációnál is. A színekből jól látszik, hogy az ellenállóság a különböző kórokozókkal szemben eltérő. Az összefüggések között alig volt szignifikáns, a *Fusarium*-kontroll fertőzöttsége szignifikánsan korrelált az Fv1-izolátummal, de a többivel nem. A maximum/minimum értékek hányadosa 3,7 és 110 között széles skálán változott. Ez azt bizonyítja, hogy megvan az a variabilitás, amiből ki lehet válogatni a legalkalmasabbakat. Az a tény, hogy 10 hibridből 2 bizonyult alacsony, legfeljebb közepes kockázatúnak, megfelel azoknak az arányoknak, amelyekről korábban már beszámoltunk (SZABÓ ÉS MTSAL, 2018; MESTERHÁZY ÉS MTSAL, 2020; 2022d; 2024; MESTERHÁZY, 2024). Szignifikáns kapcsolat volt például az Fv5 és Fv8 között. Ilyeneket a *F. graminearum* és *A. flavus* esetében nem láttunk. A DKC 4541 igen érzékeny a *F. graminearum*-fertőzésre, ehhez képest a DON-tartalma fele a volt a kevésbé fertőzött P0725-ös hibrid adatánál. A toxintartalom szempontjából viszont a másik két gombánál igen jó helyezést kapott. A kockázatelemzésnél jó, ha mind a három betegség vagy toxinadat egybevá. Ebből a szempontból érdekes, hogy a természetes úton fertőzött két legnagyobb fumonizinkockázatot mutató fajnál a mesterséges és természetes fertőzésnél kimutatott hasonlóság a toxintartalomban. A mesterséges inokuláció viszont 12 mg/kg FUM helyett csak 1,37 mg/kg értéket mutatott. Az ok ismeretlen, mindenesetre ez is rizikófaktort jelent. Mivel határértékeknél a toxinokat mérik, ezért számunkra is azok a fontosabbak. Fertőzési értékek nélkül viszont sokkal nehezebb az adatok értékelése. Ha a különbségek itt megbízhatóak, akkor a toxinadatok is azok lesznek, és az ellentétes válaszok is biztonsággal kimutathatóak. Toxinadatok nélkül viszont élelmiszer- és takarmány-biztonsági kockázatokat nem lehet felmérni.

6. táblázat. Kukoricahibrid csőpenészgombákkal szembeni ellenállósága és toxintartalma mesterséges és természetes fertőződéssel szemben, 2021–2022

Hibrid	Csőpenész % M,			Toxigén spp.		DON mg/kg		Fum B1+B2 mg/kg		AFB1 mg/kg	
	Fg*	Fv	Asp	F Mt.	Afl M	Fg M.	Fg T.	Fv M	Fv T	Afl M.	Af T.
Cadixio Duo	1,88	0,68	0,32	0,54	0,083	5,68	0,07	3,89	3,21	269	28
P9415	2,32	0,77	0,20	0,66	0,111	1,51	0,00	4,44	1,38	222	87
SY Zephir	3,36	0,34	0,20	0,33	0,200	7,68	0,00	3,10	2,28	260	240
Fornad	4,57	1,00	0,36	0,49	0,005	0,63	0,42	3,67	1,64	389	145
DKC 5542	3,15	1,88	0,58	0,83	0,286	5,41	2,38	9,90	7,48	108	29
Korimbos	3,46	1,16	0,50	2,52	0,005	13,40	0,07	11,94	1,37	258	52
P9978	4,20	1,73	0,43	1,39	0,337	0,13	0,06	6,14	3,10	489	199
Armagnac	3,86	2,12	0,61	1,43	0,107	9,05	1,75	12,89	7,26	612	434
P 0725	6,31	0,82	0,94	0,49	0,083	16,55	0,00	4,24	2,87	354	585
DKC 4541	8,71	1,89	0,45	0,91	0,128	8,02	0,00	1,81	0,35	166	87
Átlag	4,18	1,24	0,46	0,96	0,134	6,81	0,47	6,20	3,09	313	188
LSD 5%	2,53	0,86	0,43	1,06	0,247	0,24	0,08	0,13	0,38	28	30
Max/min	4,63	6,24	4,70	5,14	67,40	110,33	39,67	7,12	20,74	3,69	20,89

*Fg = *F. graminearum*; Fv = *F. verticillioides*; Afl = *A. flavus*, F = *Fusarium* spp; Asp = *Aspergillus* spp, AFB1 = aflatoxin B1; M = mesterséges fertőzés, T = természetes fertőzöttség, A **kövérrrel jelölt hibridek**: alacsony, legfeljebb közepes kockázat minden tulajdonságra, 1 kivétel lehet. Kockázati besorolás: **Alacsony**, **Alacsonytól közepesig**, **Közepestől nagyig**, **Nagy**

7. táblázat. Kukoricahibrid csőpenészgombákkal szembeni ellenállósága és toxintartalma mesterséges és természetes fertőződéssel szemben, 2019–2020

Hibrid	Csőpenész % M			Toxin tartalom M			Csőpenész T %		Természetes toxintart.			FAO- szám
	Fg*	Fv	Afl	DON mg/kg	FUM B1+B2 mg/kg	AFB1 mg/kg	F, T,	Asp, T	DON mg/kg	FUM B1+B2 mg/kg	AFB1 mg/kg	
Konfites	10,15	0,61	0,35	18,15	3,49	53	0,21	0,000	1,70	1,88	2	430
ES												
Harmonium	11,49	0,23	0,15	37,60	2,10	62	0,25	0,000	0,13	0,81	4	380
Sy Talisman	13,50	0,40	0,27	7,48	1,80	71	0,27	0,000	0,72	0,54	2	250
Korimbos	14,35	0,14	0,12	76,08	5,67	44	0,08	0,000	3,49	0,30	408	575
P0725	15,91	0,45	0,11	28,58	4,12	613	0,17	0,005	0,00	0,12	794	560
Koregraf	16,62	0,42	0,24	30,72	2,47	37	0,10	0,000	0,00	0,30	352	410
DKC 5830	17,08	0,52	0,44	47,02	3,25	245	0,17	0,000	2,18	5,63	0	560
ES Lagoon	19,76	0,32	0,24	38,87	3,11	896	0,19	0,005	0,00	2,23	20	460
Armagnac	19,79	0,23	0,11	25,27	0,87	98	0,13	0,005	2,33	1,58	9	490
Illango	19,94	0,53	0,36	46,75	2,62	1068	0,18	0,008	0,05	0,75	1143	530
P9718E	21,86	0,49	0,25	101,0	1,52	638	0,09	0,000	0,17	1,17	3	390
Kathedralis	22,10	0,67	0,58	13,38	3,76	361	0,21	0,000	0,27	1,73	0	490
DKC 4541	24,59	1,61	0,54	48,77	4,00	174	0,30	0,005	3,59	3,06	0	370
Valkűr	28,78	0,10	0,05	82,64	1,55	205	0,05	0,000	1,28	0,81	0	731
P9415	32,04	0,60	0,28	49,14	1,38	38	0,24	0,000	0,58	2,32	0	350
SY Zephir	33,92	0,37	0,19	28,38	1,75	160	0,16	0,005	0,63	2,36	4	390
Kleopatras	35,02	0,44	0,10	74,22	1,81	310	0,16	0,000	0,35	2,31	114	630
Sy Zoan	35,36	0,47	0,16	96,35	6,66	1258	0,18	0,008	0,00	1,65	0	560
Átlag	21,79	0,48	0,25	47,24	2,88	352	0,17	0,002	0,97	1,64	159	475
SZD 5%	8,60	0,05	0,15	54,9	3,69	ns	0,08					

*Fg = *F. graminearum*; Fv = *F. verticillioides*; Afl = *A. flavus*, F.= *Fusarium spp*; Asp= *Aspergillus spp*, AFB1 = aflatoxin B1, M = mesterséges fertőzés, T = természetes fertőzőttség, FAO sz. = FAO szám, korai-kései a **kővérral szedett hibridek**: alacsony, legfeljebb közepes kockázat minden tulajdonságra, 1 kivétel lehet. Kockázati besorolás: **Alacsony**, **Alacsonytól közepesig**, **Közepestől nagyig**, **Nagy**

Az természetes, hogy egy sor tényező még nem ismert, a kockázatot viszont ennek ellenére mérni lehet. Ez pontosan olyan, mint a termőképesség vizsgálata. Minden növény nemesítésénél sok termőhely és több év szükséges hozzá. Ennek alapján mérik a termőképességet, amelynek genetikája tekintetében ugyanolyan bizonytalan a tudás, mint ebben az esetben. A nemesítésnél is a stabil teljesítmény a fontos, nagy termés mellett. Ehhez viszont adatok kellenek, nem kettő vagy négy, hanem akár 30-40. Ha ezt a metodikát nézzük, évente van három izolátum egy fajból és egy termőhelyen, három ismétléssel. Két termőhelyen és két éven keresztül ebben az esetben összesen 54 adat van minden fajról, emellett 18 ismételést, amivel már a stabilitásvizsgálat elvégezhető. A három fajnál összesen 54 ismételést, áll rendelkezésre a mesterséges fertőzésekkel. Ha a két év nem hoz döntést, akkor az egy harmadik évet jelent, összesen 72 adattal. Ez egészül ki a kontrollok mindhárom toxinra mért adataival a hat (termőhelyi és év három ismételéssel), ami további 18 adatot jelent.

A genetikai oldal távolról sem világos. Klónozott gének ugyanis nincsenek. QTL-ek ugyan vannak, de a gyenge metodika révén a DNS-munka nem hatékony, mert igen nagy a háttérzaj. Ez a búzában háromszor kisebb LOD-eredményeket adott, mint amit a javított módszertannal kaptunk. Hasonló eredmény kukoricában is előfordulhat. Megbízhatatlan fenotípusos adatokból viszont nem lehet megbízható genetikát létrehozni. Ennek belátásához idő kell. *Nem annyira az a fontos, hogy tudjuk, milyen gének és milyen kombinációval és áttéteken keresztül hatnak, mert ennek még nincs itt az ideje. Aminek viszont itt van, az, hogy az élelmiszer-biztonsági stabilitási vizsgálatokkal szűrjük át a jelenleg teljes hibridszortimentet a köztermesztésben, a fajtaelismerésben, a nemesítő cégek pedig tegyék meg ugyanezt saját nemesítési programjaikban, így a kockázatos hibrideket selejtezni lehet, és még a klímaváltozás toxikus hatásait is kordában lehetne tartani. Minden nemesítő cégnél széles variabilitás van, a szegedi hibridszortimentben például a korábbi vizsgálatok alapján a jó vagy kiváló ellenállóságú hibridek aránya messze jobb volt, mint a világcégeknek, vagyis nem igaz, hogy nem lehet jó hibrideket kevés pénzből előállítani.* Egy adott cég hibridjeit végigelve anélkül, hogy egyetlen tenyészkertjüket láttuk volna, a hibridek alapján meg tudjuk mondani, hogy milyen minőségi munka folyik, mire figyelnek és mire nem. Számomra a termelő a fontos, az ő jövedelme, fejlődőképessége. A fajtaminősítés pedig állami feladat. 2024-ben az aszálykár 300 milliárdot vitt el, a maradékból pedig az aflatoxin-szennyezettség 200-at. Most ugyan már az aflatoxinnal szennyezett kukoricának is van piaca, de messze nem csúcsárakkal. Magyarország nemzetközileg is jelentős szerepet vihet ebben a munkában, mert a tudás még megvan hozzá. Ma ez a nemzetközi színvonal meghatározó metodikája, sehol a világon nem tesztelnek rezisztenciára egyszerre három toxintermelő gombával, még kevésbé toxintermelésre, továbbá figyelemmel a stabilitás követelményeire is. A szárazságtűrésben is hatalmas különbségek vannak. Csak ennek révén 2-3 tonna termés még megmaradhat hektáronként, az aszályérzékenyeknél viszont teljes a kiesés. Ez is fajtaminősítési probléma.

A magyar kukoricanevelés évtizedek óta válságban van, most akár már megszűnés is lehetséges. Pedig nemzetgazdasági szempontból a kár sok száz milliárd forint. Az ok egyszerű. Az éghajlatváltozás megköveteli a genetikai alkalmazkodóképesség fejlesztését, ami nemesítési feladat. Szeged klímája például erre kiválóan alkalmas. A mikotoxinok közül a fumonizinek és az aflatoxin száraz, illetve a forró melegben termelődnek nagyobb mennyiségben. Nyugat-Magyarország (Mosonmagyaróvár) viszont inkább a DON-termelő *F. graminearum*-nak kedvez. A megfelelő szűrővizsgálatok rendelkezésre állnak. Ezen túl nemesítési feladat az abiotikus stresszekkel szembeni ellenállóságra való szűrés a fajtavizsgálatoknál, de a nemesítésben is. Erre a szerb nemesítés megújulása mutat kiváló példát, ahol a nemesítést privatizálták, a kutatás viszont állami, egyetemi kézben maradt. Ma a szerb kukoricanevelők kulcsemberek nem egy nemzetközi cégben, de otthon is versenyképesek a hibridjeik.

Ma már azt is tudjuk, hogy mit és hogyan kellene tenni. Széleskörű alkalmazkodóképességgel, genetikával és klímabarát talajműveléssel, növényvédelemmel a probléma orvosolható lenne. Amikor 1973-ban hazajöttem az USA-ból, azt láttam, hogy nekünk szigorúan tilos azt csinálni, amit ők tesznek. Amit ők megcsinálnak 20 hektáron, arra jó esetben nekünk néhány ezer négyzetméterünk van, de ez a probléma megoldható. Nem véletlen, hogy a csőpenész-rezisztencia kutatásában az egyik nemzetközi kutatóközpont vagyunk. Ennek megszűnése sok száz milliárd forintos elmaradt hasznót, elszegényedő vidéket jelent. Közismert, hogy a növényeink alkalmazkodóképessége nem végtelen. Ezért fontos, hogy minden tájunkon folyjék olyan soktermőhelyes kísérlet, amely az adott régióra optimalizálni tudja a szükséges tulajdonságokat és táblaszinten, illetve azon belül is optimalizálni a termelési feltételeket. *Természetesen ez a termék minőségére is érvényes. Egy pályázat keretében 20 kukoricaibridet vizsgáltattunk meg a táplálóanyagok emészthetőségére, amelyben jelentős különbségek voltak. Ezek természetesen egyes gazdasági állapotoknál eltérhetnek. A nemesítők viszont t/ha-ban gondolkodnak, és ugyanez érvényes a fajtaminősítésre is. Ez is szuverenitási kérdés. Nem járható út, hogy a magyar kukoricatermő területen termesztett hibridek 75-85%-a élelmiszer-biztonsági szempontból nem megfelelő, és az sem mindegy, hogy egyéb minőségi paraméterekben milyen előnyei vagy hátrányai vannak.*

A 19. ábrán két kukoricaibrid ellenállóságát mutatjuk be ugyanazon izolátumokkal szemben. A bal oldali külföldi csúcsibrid, a nevét nem adjuk meg. Az ellenálló viszont Szegedről származik és igen jó ellenállósággal tűnik ki.



19. ábra. Egy nagyon fogékony és egy ellenálló hibrid ellenállósága *F. graminearum*, *F. verticillioides* és *A. flavus*szal szemben. A két izolátum közül a fertőzőképesebbet mutatjuk

5.3. A kórokozó-populáció mérséklése

A kórokozó-populáció elsősorban a talajból, illetve az ott lévő szervesanyag-maradványokból táplálkozik. Ezért hiba a tarlómaradványok elégetése, ahelyett, hogy ezek a talajlakó mikrobák tápanyagául szolgálnának és pótolnák a talaj szervesanyag-vesztését, amely mind a vízgazdálkodás, mind a tápanyag-utánpótlás legolcsóbb módja. Ezzel a jövő nemzedékek számára is biztosítjuk az élelmiszer-termelő bázis megmaradását, sőt az eddig elveszített humusztartalom pótlása is lehetővé válna. Nyilván nedvességre is szükség van, hogy a gomba, illetve a szaporító képletek megfelelő tömegben jelen legyenek. Ilyen közegben a szervesanyag-maradványok is gyorsan lebonthatók, amelyeken a toxintermelő és más gyökér- és szártőbetegségek kórokozói áttelelnék, de még a *Sclerotinia sclerotiorum* esetén is lehet hatékony védelmet alkalmazni, amely a napraforgó saját maga utáni vetését is kisebb kockázatúvá teszi. A vízmegtartó agrotechnika a hagyományossal szemben akár 2-3 héttel meghosszabbíthatja a tenyészidőt, ami egyrészt nagyobb termést ad, és ilyen állományokon az aflatoxin felhalmozódása is sokkal kisebb, amivel a forró száraz időjárás következményei is enyhíthetőek, megfelelő ellenállóságú hibridekkel pedig akár annak csökkentésére is jó esély lehet. A rezisztencianemesítés ezért is fontos, mert egyik oldalról kevesebb kórokozó képződik, a másikon meg a nagyobb ellenállóság a megmaradt kórokozó-populáció esélyeit is csökkenti.

Az eddigi fungicides kísérletek nem hoztak alkalmazható eredményeket, ma sehol a világon nincs hatékony technológia. 2005 és 2015 között foglalkoztunk kisparcellás és nagytáblás védekezési kísérletekkel csőpenészekkel szemben. Ezek növényvédőszer-gyártó cégek megrendelésére készültek, és az volt a kérés, hogy olyan fogékony hibridet keressünk, amelyen jól lehet demonstrálni a fungicidek hatását, mesterséges inokuláció és természetes fertőződéssel szemben, amit toxinvizsgálatokkal is kombináltunk. A kísérletek nem voltak sikeresek, ugyanazon okból, ahogy a búzánál sem. A túlzott fogékonyságot nem tudtuk fungiciddal kompenzálni, így ez a munka abbamaradt. Ez is az egyik ok, ami miatt a fogékony hibridek köztermesztésből való kizárására tettünk javaslatot. Olyan kísérletben, amikor ezt észrevettük, ellenállóbb genotípusokat is bevtünk, ahol már látszott valami hatás, de ennek kimérésére nem maradt sem idő, sem pénz.

Van azért néhány hasznosítható tanulság. Az egyik, hogy az állomány feletti légrássegítési technológia, az állományba belógó szórófejekkel 45 fokban körülbelül 30 cm-rel a csőszint felett a csőrégióra kijuttatott permetlé, illetve a csőszinttel párhuzamos síkban vízszintesen kétoldalra fújó permetezés toxineredményei között nem volt lényeges különbség. Ez egyúttal azt is jelentette, hogy a hagyományos nagyteljesítményű permetezőgépek használhatók lesznek, akár háromméteres állományban is, ilyenre is volt példa. Rezisztenciával viszont nem lehet toxinmentesítést garantálni, de határérték alatti toxintartalmat igen, és ezeket a hibrideket kell kísérletbe vonni. Bár a termésnövekedést nem bánjuk, de ez csak akkor ér valamit, ha a toxintartalom mindhárom toxikus fajjal történő fertőzés esetén a határérték alatt van. Olyan megfigyelés viszont nem volt, hogy a nagy termés és a kiváló élelmiszer-biztonság kizárná egymást. Ezt a kiváló nemzetközi csúcshibridek jól mutatják. Minthogy a hibridkísérletek eredményeképpen már a szükséges 2-3 alacsony és egy magas kockázatú hibriddel a munkát el lehet kezdeni 2026 tavaszán, így ezek eredménye két, legfeljebb három év alatt már mutathatja az új technológia hatását. A regulátorhatás sincs kizárva, de ezt is igazolni kell, már amennyiben van. Például búzában tebukonazol hatóanyaggal (250 g/l/ha) egytonnás termésnövekedést kaptunk úgy, hogy a védett és nem védett 1 ha-os parcellaismétlésekben a levélzet fertőzöttségben szignifikáns különbség a tenyészidőszak során nem volt, az egy hektáros parcellák meg elég nagy biztonságot adtak. A toxintartalom ellenőrzését viszont multitoxinmódszerrel kell tesztelni.

5.4. A környezeti oldal szabályozása

A termelési rendszer központja mégiscsak a hibrid. Annak tulajdonságai határozzák meg, hogy a termesztés során milyen eljárásokat kell alkalmazni vagy éppen elhagyni. Emiatt egyik eszköz sem fejt ki ugyanazt a hatást a különböző hibrideknél. Úgy általában kukorica nem létezik. Mindenki egy adott hibridet vagy többet termel. A mai precíziós eljárásokkal ez megoldható. A genetikát azonban ezek sem helyettesítik, amely egyébként ezeknek a beavatkozásoknak a hatását igen jelentős részben meghatározza. Az öntözés, annak módja, továbbá az alagcsövezés igen hatékony eszközök. Kétségtelen, hogy ez beruházásigényes technológia, de igen hamar megtérül.

5.5. Következtetések

Az eredmények alapján a kukoricában is megvan a lehetőség az élelmiszer-, és takarmány-biztonság lényeges növelésére, ennek tudományos és módszertani alapjai készen vannak. Így a munka elkezdhető, illetve folytatható. A három fő toxintermelő gombával szembeni ellenállósági és toxinmetodika már igen lényeges előrelépést jelent, és először ezt kell végigvinni. Emellett meg kell nézni, hogy az itt nem szereplő kórokozók közül melyiket kell majd a későbbi vizsgálatokba bevonní. Fontos alap kutatás a rezisztencia nemesítéshez és a toxingenetika számára. Minden jel arra mutat, hogy a multitoxin irányába kell elmozdulni. A növényvédelemben is sok a megoldandó feladat, annak ellenére, hogy sokkal kevesebb a levélbetegség ma, mint fél évszázada volt. A szár-törés 50 éve még az egyik legkomolyabb probléma volt, ma viszont ez már ritkán okoz komoly gondot. A genetikai és nemesítési kutatásokat is folytatni kell, a beltenyésztett vonalak értékelése az utódértékelésen keresztül sokkal olcsóbb.

6. Záró megjegyzések

A magyar mezőgazdaság az ország talán legfontosabb szuverenitási forrása. A termelési láncok viszonylag rövidek, jelentős részben magyar cégekkel megoldhatók. Minél jobban végezzük ezt a munkát, annál nagyobb biztonságban fogja érezni magát a termelő. Rendbe kell tenni az agronómiát is, és az egész üzemet látni kell, a vetésszerkezet lazítása igen fontos, ahogy a kiváló mikrobiológiai talajműködés is. Ezt a rendszert egy szaktanácsadó szolgálatnak kellene működtetnie, de a gazdák továbbképzése is hangsúlyos.

Kiderült, hogy a termelési láncban nagyon sok helyen vannak sok száz milliárdos kárt okozó problémák, amelyek megoldása nélkül az élelmiszer-biztonsági javulás sem oldja meg a termelés gondjait. Ebben a talajművelés, a vízgazdálkodás és egyéb alkalmazkodóképességi hiátusok egyaránt megoldandó problémát jelentenek. Az aratási logisztika, a bejövő termény gyorsmódszerekkel való szűrése és a különböző toxinszennyezettű tételek elválasztása életbevágó. Ugyanez érvényes a tárolásra is. *Ezért jutottunk el a teljes termelési lánc átalakításának igényétől a mezőgazdasági reformig.*

50 évvel ezelőtt egy ismeretlen, de igen fontos gabonabetegség-csoportról, a toxintermelő gombák által előidézett fertőzésekről, alig tudtunk valamit. Mára a nemzetközi irodalom egyik legfajszínűsabb csoportját adja, a gabonaféléknél pedig kiemelt jelentőségűvé vált. A legfontosabb eredményeket a következőben összegzem. Minthogy a világon megtermelt szemestermény (búza, kukorica, rizs, szója) globálisan 25%-a toxinszennyezett, ami 550-600 millió tonna szennyezett tételt jelent, mutatja a megoldandó feladat mértékét. Minthogy e betegségek kalászosokban már aratás előtt is súlyos termés kiesést okoznak, és ehhez még 80-100 millió tonna plusz veszteség is hozzájöhethet.

1. Nemzetközi viszonylatban olyan vizsgálati módszereket dolgoztunk ki és igazoltuk értéküket, amelyekkel sokkal pontosabb rezisztenciameghatározás vált lehetővé azáltal, hogy az adatok

megbízhatóságát stabilitásvizsgálatokkal tudjuk hitelesíteni, így a kutatás sokkal pontosabb adatokkal dolgozhat, mint eddig, ami lényegesen növeli a tudományos eredmények értékét.

2. A toxintermelés és a rezisztencia gyakran külön szabályozás alá esik, a két tulajdonság járványtani háttere gyakran eltér, sokszor fajtánként, hibridenként is változik, ezért az élelmiszer-biztonsági kockázatot megbízható és széleskörű betegség tüneti és toxinadatbázis nélkül nem lehet becsülni.

3. A fajta és hibridvizsgálatok sokszoros rezisztenciakülönbséget mutatnak, de a fajták túlnyomó része a fogékony, nagyon fogékony kategóriába tartozik. A vizsgálatok során mindenhol találtak tájfajtákban, rokon fajokban, és ami talán a legfontosabb, elismert fajtákban jó ellenállóságot. A toxinadatok szerint (búza: GK Bakony, GK Börzsöny, GK Pilis, GK Bagó, GK Csillag, tritikálé: GK Szemes, GK Maros; kukorica: SzeTC465, Sze 521, Sarolta, Sze 386 mindhárom toxikus fajjal szemben), preventív védelemmel igen nagy valószínűséggel ezek határérték alatti toxintartalmat fognak mutatni. Minthogy egyik gabonánál sem tudjuk a fogékony és nagyon fogékony fajták hatékony vegyszeres védelmet járványos évben garantálni, ezért van szükség a fajtaminősítés reformjára. Ez az élelmiszer-biztonság szempontjából nagyjából 50%-os javulást eredményezhet, amelynek költsége a tárgyévben 50-70-szeresen visszatérül, vagyis igen gazdaságos beruházás.

4. Búzánál a különböző *Fusarium* fajokkal szembeni ellenállóság kapcsoltan látszik, de a toxinokról nincs adat. A kukoricánál jellemző a külön genetikai háttér, de a hibridek 10-20%-a mindhárom gombával és toxinjaikkal szemben is az alacsony, legfeljebb közepes kockázatú kategóriába tartozik.

5. Előállítottunk igen ellenálló őszibúza-törzseket, amelyek toxintartalma a fent említett közepesen fogékony és mérsékelten ellenálló fajták fertőzőtségének tizedét éri el, toxintartalomban és tünetekben is.

6. Ha valamely ország gyarmatként viselkedik, vagy arra kényszerül, az is fog maradni.

Mivel ez a tanulmány a mikotoxinokról szól, csak említjük, hogy a 25% toxinkáron túl további kb. 40% veszteséget jelentenek az egyéb biotikus és abiotikus stresszek, aratáskor a toxinos és tiszta tételek keverésével, a nagy veszteséget okozó raktározással és a sokszor kőkorszaki színvonalú napi gazdálkodási gyakorlattal. A betakarított termés igen jelentős része nem megfelelő minőségű, ezért jó árat még az alacsony toxintartalmú termésért sem lehet kapni. Tömegáruval ma már nem lehetünk versenyképesek a világpiacra, mert ezt az ukránok és oroszok nálunk olcsóbban elő tudják állítani. Ha pedig kell, azokon a földeken minőséget is lehet termelni. Állami támogatással a jelenlegi jövedelemviszonyok már nem fenntarthatóak. *Az erős hazai nemesítés szuverenitási kérdés is, ezért kell a fajtaminősítést minden tekintetben fejleszteni, annak érdekében, hogy valóban csak a legjobbakat engedjük ki a földekre, ami mindannyiunk elemi érdeke.* Termés, minőség és élelmiszer-biztonság. *Ez kell legyen a következő évtizedek munkájának a logója.* A mezőgazdaság kutatás- és innovációigényes ágazat, emiatt így is kellene kezelni. Az egészet egy rendszerben, hiszen az összes költséget az árbevételből kell fedezni. Ez egyúttal a támogatási rendszer átalakítását is jelenti. Nem elvenni kell, hanem a felhasználás hatékonyságát kell növelni.

Köszönetnyilvánítás

Az elmúlt évtizedek kutatómunkáját nagyszámú hazai és külföldi pályázat és kutatási megbízás támogatta. A megjelent dolgozatokban ezek forrása részletesen látható. A Bonafarm csoportnak külön is köszönetet kell mondanunk, amely az utolsó 14 évben a kukorica toxikus gombákkal szembeni hibridvizsgálatait támogatta úgy, hogy a toxinvizsgálatok költségét magára vállalta. Ez tette lehetővé, hogy az új metodikát tudjuk kidolgozni azon túl, hogy az adatokat saját kukoricatermesztési rendszerében is hasznosította. Nem véletlen, hogy a cég munkatársai a tanulmányok szerzőinek sorában is helyet foglalnak.

Irodalom

- AGRIOS, G. N. (1997). Plant Pathology. San Diego, CA: USA, Academic Press
- BAI, G.-H., & SHAREN, G. (1996). Variation in *Fusarium graminearum* and cultivar resistance in wheat scab. *Plant Dis.*, 80, 975–979. <https://doi.org/10.1094/PD-80-0975>
- BARTÓK, T., TOLGYESI, L., SZEKERES, A., VARGA, M., BARTHA, R., SZÉCSI, Á., BARTÓK, M., & MESTERHÁZY, Á. (2010). Detection and characterization of twenty-eight isomers of fumonisin B1 (FB1) mycotoxin in a solid rice culture infected with *Fusarium verticillioides* by reserved phase high-performance liquid chromatography/electro spray ionization time-of-flight and ion trap mass spectrometry. *Rapid Commun. Mass Spectrom.*, 24(1), 35–42. <https://doi.org/10.1002/rcm.4353>
- BARTOK, T., SZÉCSI, A., JUHASZ, K., BARTOK, M., & MESTERHÁZY, A. (2013). ESI-MS and MS/MS identification of the first ceramide analogues of fumonisin B-1 mycotoxin from a *Fusarium verticillioides* culture following RP-HPLC separation. *Food Addit. Contam. Part A.* 30(9), 1651–1659. <https://doi.org/10.1080/19440049.2013.809626>
- BERÉNYI, A., SZABÓ, B., MESZLÉNYI, T., VÁGVÖLGYI, C., TÓTH, B., & MESTERHÁZY, Á. (2024). Preharvest natural multoxin contamination of winter wheat genotypes in Hungary with special attention to aflatoxins and HT-2 toxin. *Agriculture*, 14(11), 2024. <https://doi.org/10.3390/agriculture14112024>
- BOOTH, C. (1977). *Fusarium*. Laboratory guide to the identification of major species. Comm. Mycol. Inst., Kew, Surrey, GB 58. pp.
- BOOTH, C. (1971). The Genus *Fusarium*. Comm. Mycol. Inst., Kew, Surrey, GB 237. pp.
- BOTTALICO, A., & PERRONE, G. (2002). Toxigenic *Fusarium* species and mycotoxins associated with head blight in small-grain cereals in Europe. *Eur. J. Plant Path.* 108, 611–624. <https://doi.org/10.1023/A:1020635214971>
- DESIARDINS, A. E. (2006). *Fusarium* mycotoxins chemistry, genetics and biology. 2006. APS Press, St. Paul, MN, USA
- DEXTER J. E., & NOWICKI, T. W. (2003). Safety assurance and quality assurance issues associated with *Fusarium* head blight in wheat. pp. 420–460. In: LEONARD, K. J., & BUSHNELL, W. R. (Eds) *Fusarium head blight of wheat and barley*. APS Press, 3340 Pilot Knob Road, St. Paul, MN, USA. 512 p.
- DILL-MACKY, R., (2003). Inoculation methods and evaluation of *Fusarium* Head Blight resistance in wheat. pp. 184–210. In: LEONARD, K. J., & BUSHNELL, W. R. (eds). *Fusarium head blight of wheat and barley*. American Phytopath. Soc. Press, 3340 Pilot Knob Road, St. Paul, MN, USA. 512 p.
- DING L, XU H, YI H, YANG L, KONG Z, ZHANG L, XUE, S., JIA, H., & MA, Z. (2011). Resistance to hemi-biotrophic *F. graminearum* infection is associated with coordinated and ordered expression of diverse defense signaling pathways. *PLoS ONE*, 6(4), e19008. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0019008>
- ESKOLA, M., KOS, G., ELLIOTT, C. T., HAJLSLOVA, J., MAYAR, S., & KRŠKA, R. (2019). Worldwide contamination of food-crops with mycotoxins: Validity of the widely cited 'FAO estimate' of 25%. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 60(16), 2773–2789. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1658570>
- FISCHL G. (2008). A biológiai növényvédelem alapjai. Pannon Egyetem, Georgikon Kar, Növényvédelmi Intézet, Keszthely, 2008, 2. kiadás, 132 p. 1. kiadás: Mezőgazda Kiadó, Budapest, 2000 140 p.
- FUENTES, R. G., MICKELSON, H. R., BUSCH, R. H., DILL-MACKY, R., EVANS, C. K., WIERSMA, J. V., XIE, W., DONG, Y., & ANDERSON, J. A. (2005). Resource allocation and cultivar stability in breeding for *Fusarium* head blight resistance in spring wheat. *Crop Sci.*, 45(5), 1965–1972. <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.0589>
- GAIKPA, D. S., & MIEDANER, T. (2019). Genomics-assisted breeding for ear rot resistances and reduced mycotoxin contamination in maize: Methods, advances, and prospects. *Theor. Appl. Genet.*, 132, 2721–2739. <https://doi.org/10.1007/s00122-019-03412-2>
- GELDERBLUM, W. C., JASKIEWICZ, K., MARASAS, W. F., THIEL, P. G., HORAK, R. M., VLEGGAAR, R., & KRIEK, N. P. (1988). Fumonisin – novel mycotoxins with cancer-promoting activity produced by *Fusarium moniliforme*. *Appl Environ Microbiol.*, 54(7), 1806–1811. <https://doi.org/10.1128/aem.54.7.1806-1811.1988>
- GYÖRGY A., TÓTH, B., VARGA, M., & MESTERHÁZY, A. (2020). Methodical Considerations and Resistance Evaluation against *Fusarium graminearum* and *F. culmorum* head blight in wheat. Part 3. Susceptibility window and resistance expression. *Microorganisms*, 8(5), 627. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8050627>
- HUSZ B. (1925). Fuzáriumbeteg gabonaszemek és csírák. *Növényvédelem*, 1(1), 172–174.
- HUSZ, B. (1942). Két új kukorica betegség. *Köztelek*, 52(1), 5–6.
- KÜKEDI, E. (1971). Tapasztalatok a gabonálégy és *Fusarium* fertőzőttségről. *Magyar Mezőgazd.* 26(4), 8–9.
- LANUBILE, A., MACHETTO, V., & MAROCCO, A. (2014). Breeding maize for resistance to mycotoxins. In: LESLIE, J. F., & LOGRIECO, A. F., (eds.) *Mycotoxin Reduction in Grain Chains*. Wiley Blackwell: Ames, IA, USA; Chichester, UK, pp. 37–58. <https://doi.org/10.1002/9781118832790.ch4>

- LESLIE, J. F., MORETTI, A., MESTERHÁZY, Á., AMEYE, M., AUDENAERT, K., SINGH, P. K., RICHARD-FORGET, F., CHULZE, S. N., DEL PONTE, E. M., CHALA, A., PAOLA BATTILANI, P., & LOGRIECO, A. F. (2021). Key global actions for mycotoxin management in wheat and other small grains. *Toxins*, 13(10), 725. <https://doi.org/10.3390/toxins13100725>
- LEHOCZKI KRSJAK, S., VARGA, M., & MESTERHÁZY, Á. (2015). Distribution of prothioconazole and tebuconazole between wheat ears and flag leaves following fungicide spraying with different nozzle types at flowering. *Pest Man Sci.*, 71(1), 105–113. <https://doi.org/10.1002/ps.3774>
- LEHOCZKI-KRSJAK, SZ, VARGA M, SZABÓ-HEVÉR Á., & MESTERHÁZY Á. (2013). Translocation and degradation of tebuconazole and prothioconazole in wheat in the most Fusarium-susceptible phenophase. *Pest Man. Sci.*, 69(11), 1216–1224. <https://doi.org/10.1002/ps.3486>
- LEHOCZKI-KRSJAK SZ., SZABÓ-HEVÉR Á., TÓTH B., KÓTAI CS., BARTÓK T., VARGA M., FARÁDY L., & MESTERHÁZY Á. (2010). Prevention of Fusarium mycotoxin contamination by breeding and fungicide application in wheat. *Food Add. Cont.*, A, 27(5), 616–628. <https://doi.org/10.1080/19440041003606144>
- LELLEY, J. (1965). A búza tömeges fusariumos fertőzöttsége. *Magy. Mezőgazd.*, 20(36), 14.
- LESLIE, J. F., & SUMMERELL, B. A. eds. (2006). *The Fusarium Laboratory Manual*, Blackwell Publishing, <https://doi.org/10.1002/9780470278376>
- LEVEAU, J. H. J. (2024). Re-Envisioning the Plant Disease Triangle: Full Integration of the Host Microbiota and a Focal Pivot to Health Outcomes. *Annu. Rev. Phytopathol.*, 62, 31–47. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-121423-042021>
- LIU, Y., SALSAMAN, E., FIEDLER, J. D., HEGSTAD, J. B., GREEN, A., MERGOUM, M., ZHONG, S., & LI, X.-H. (2019). Genetic mapping and prediction analysis of FHB resistance in a hard red spring wheat breeding population. *Front. Plant Sci.*, 10, 1007. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01007>
- LIU, Z. Z., & WANG, Z. Y. (1990). Improved scab resistance in China: Source of resistance and problems. In *Wheat for Nontraditional, Warm Areas: A Proceedings of the International Conference*, July 29–August 3, Foz Do Iguaçu, Brazil; Saunders, D.A., Ed.; CIMMYT: México-Veracruz, Mexico, 1991.
- LOGRIECO, A. F., BATTILANI, P., LEGGIERI, C. M., HAESAERT, G., JIANG, Y., LANUBILE, A., MAHUKU, G., MESTERHAZY, A., ORTEGA-BELTRAN, A., PASTI, M. A., SMEU, I., TORRES, A., XU, J., & MUNKVOLD, G. (2020). Perspectives on global mycotoxin issues and management from the MycoKey Maize Working Group. *Plant Disease*, 105(3), 525–537. <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-20-1322-FE>
- LOGRIECO, A., MULE, G., MORETTI, A., & BOTTALICO, A. (2002). Toxigenic *Fusarium* species and mycotoxins associated with maize ear rot in Europe. *Eur. J. Plant Pathol.*, 108, 597–609. <https://doi.org/10.1023/A:1020679029993>
- MA, H.-X., ZHANG, X., YAO, J.-B., & CHENG, S. (2019). Breeding for the resistance to Fusarium head blight of wheat in China. *Front. Agric. Sci. Eng.*, 6(3), 251–264. <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2019262>
- MAGAN, N., MEDINA, A., & ALDRED, D. (2011). Possible climate-change effects on mycotoxin contamination of food crops pre- and postharvest. *Plant Pathol.*, 60(1), 150–163. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02412.x>
- MANNINGER, A. (1927). Gyakorlati tapasztalatok a torszgombáról (*Ophiobolus*) és *Fusarium*ról. *Köztelek*, 37(88–89), 1701.
- MARDI, M., PAZOUKI, L., DELAVAR, H., KAZEMI, M. B., GHAREYAZIE, B., STEINER, B., NOLZ, R., LEMMENS, M., & BUERST-MAYR, H. (2006). QTL analysis of resistance to Fusarium head blight in wheat using a ‘Frontana’ derived population. *Plant Breed.*, 125(4), 313–317. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2006.01228.x>
- MCINTOSH, R. A., WELLINGS, C. R., & PARK, R. F. (1995). *Wheat rusts, an atlas of the resistance genes*. CSIRO Australia, <https://doi.org/10.1071/9780643101463>
- MCNEW G. L. (1960). The nature, origin, and evolution of parasitism. In *Plant Pathology: An Advanced Treatise*, ed. JG Horsfall, AE Dimond, pp. 19–69. New York: Academic Press
- MESTERHÁZY, Á. (1977). Reaction of winter wheat varieties to four *Fusarium* species. *Phytopath. Z.*, 90(2), 104–112. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.1977.tb03224.x>
- MESTERHÁZY, Á. (1981). The role of aggressiveness of *Fusarium graminearum* isolates in the inoculation tests on wheat in seedling state. *Acta Phytopath. Acad. Sci. Hung.*, 16(3–4), 281–292.
- MESTERHÁZY, Á. (1982). Resistance of corn to Fusarium ear rot and its relation to seedling resistance. *Phytopath. Z.*, 103(3), 218–231. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.1982.tb01746.x>
- MESTERHÁZY, Á. (1984a). *Fusarium* species of wheat in South Hungary, 1970–1983. *Cereal Res. Comm.*, 12, 167–170.
- MESTERHÁZY, Á. (1984b). A laboratory method to predict pathogenicity of *Fusarium graminearum* in field and resistance to scab. *Acta Phytopath. Acad. Sci. Hung.*, 19, 205–218.
- MESTERHÁZY, Á. (1995). Types and components of resistance against Fusarium head blight of wheat. *Plant Breeding* 114(5), 377–386. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.1995.tb00816.x>

- MESTERHÁZY, Á. (2002). Role of deoxynivalenol in aggressiveness of *Fusarium graminearum* and *F-culmorum* and in resistance to Fusarium head blight. *European J. Plant Pathol.*, 108, 675–684. <https://doi.org/10.1023/A:1020631114063>
- MESTERHÁZY, Á. (2003). Control of Fusarium head blight of wheat by fungicides. In: Leonard, K. & Bushnell, W. (Eds.): *Fusarium head blight of wheat and barley*. APS Press, St. Paul. 363–380.
- MESTERHÁZY, Á. (2014). Chemical control of Fusarium head blight of wheat, a comprehensive view. In: LESLIE, J.F. & LOGRIECO A.F. (eds.) *Mycotoxin Reduction in Grain Chains: A Practical Guide*. Blackwell-Wiley, 232–247. <https://doi.org/10.1002/9781118832790.ch16>
- MESTERHÁZY, A. (2020). Updating the Breeding Philosophy of Wheat to Fusarium Head Blight (FHB): Resistance Components, QTL Identification and Phenotyping- a review. *Plants*, 9(12), 1702; <https://doi.org/10.3390/plants9121702>
- MESTERHÁZY, A. (2024a) What is Fusarium Head Blight (FHB) resistance and what are its food safety risks in wheat? problems and solutions—a review. *Toxins*, 16(1), 31. <https://doi.org/10.3390/toxins16010031>
- MESTERHAZY, A. (2024b). Food Safety Aspects of Breeding Maize to Multi-Resistance against the Major (*Fusarium graminearum*, *F. verticillioides*, *Aspergillus flavus*) and Minor Toxigenic Fungi (*Fusarium spp.*) as Well as to Toxin Accumulation, Trends, and Solutions—A Review. *J. of Fungi*, 10(1), 40. <https://doi.org/10.3390/jof10010040>
- LEHOCZKI-KRSJAK, S., SZABÓ-HEVÉR, Á., TÓTH B., KÓTAI CS., BARTÓK T., VARGA M., FARÁDY L., & MESTERHÁZY, Á. (2010). Prevention of Fusarium mycotoxin contamination by breeding and fungicide application in wheat. *Food Add. Cont. A*. 27(5), 616–628. <https://doi.org/10.1080/19440041003606144>
- MESTERHÁZY, Á., BARTÓK, T., MIROCHA, C. M., & KOMORÓCZY, R. (1999). Nature of resistance of wheat to Fusarium head blight and deoxynivalenol contamination and their consequences for breeding. *Plant Breeding*, 118(2), 97–110. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0523.1999.118002097.x>
- MESTERHÁZY, Á., BARTOK, T., KASZONYI, G., VARGA, M., TOTH, B., & VARGA, J. (2005). Common resistance to different *Fusarium spp.* causing Fusarium head blight in wheat. *Eur. J. Plant Pathol.*, 112, 267–281. <https://doi.org/10.1007/s10658-005-2853-9>
- MESTERHÁZY, Á., BARTÓK, T., & LAMPER, C. (2003). Influence of cultivar resistance, epidemic severity, and Fusarium species on the efficacy of fungicide control of Fusarium head blight in wheat and deoxynivalenol (DON) contamination of grain. *Plant Disease*, 87(9), 1107–1115. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2003.87.9.1107>
- MESTERHÁZY, Á., BUERSTMAYR, H., TÓTH, B., LEHOCZKI-KRSJAK, S., SZABÓ-HEVÉR, A., & LEMMENS, M. (2007). An improved strategy for breeding FHB resistant wheat must include Type I resistance. In *Proceedings of the 5th Canadian Workshop on Fusarium Head Blight*, Winnipeg, MB, Canada, 27–30 November 2007, pp. 51–66.
- MESTERHÁZY, Á., GYÖRGY, A., VARGA, M., & TOTH, B. (2020b). Methodical considerations and resistance evaluation against *F. graminearum* and *F. culmorum* head blight in wheat. the influence of mixture of isolates on aggressiveness and resistance expression. *Microorganisms*, 8(7), 1036. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8071036>
- MESTERHÁZY, Á., KOVÁCS, G. JR., & KOVÁCS K. (2000). Breeding resistance for Fusarium ear rot (FER) in corn. *18th Int. Conference on Maize and Sorghum Genetics and Breeding, Eucarpia*, Beograd, Acta Biologica Yugoslavia Serija F. Genetika 32, 495–505.
- MESTERHÁZY, Á., LEHOCZKI-KRSJAK, S., VARGA, M., SZABÓ-HEVÉR, Á., TÓTH, B., & LEMMENS, M. (2015). Breeding for FHB Resistance via Fusarium Damaged Kernels and Deoxynivalenol Accumulation as Well as Inoculation Methods in Winter Wheat. *Agricultural Sciences*, 6(9), 970–1002. <https://doi.org/10.4236/as.2015.69094>
- MESTERHÁZY, A., LEMMENS, M., & REID, L. M. (2012). Breeding for resistance to ear rots caused by *Fusarium spp.* in maize – a review. *Plant Breeding*, 131(1), 1–19. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2011.01936.x>
- MESTERHÁZY, Á., OLÁH, J., & POPP, J. (2020a). Losses in the grain supply chain: Causes and solutions. *Sustainability*, 12(6), 2342. <https://doi.org/10.3390/su12062342>
- MESTERHÁZY, Á., SZABÓ, B., SZÉL, S., NAGY, Z., BERÉNYI, A., & TÓTH, B. (2022e) Novel Insights into the inheritance of Gibberella ear rot (GER), deoxynivalenol (DON) accumulation, and DON production. *Toxins*, 14(9), 583. <https://doi.org/10.3390/toxins14090583>
- MESTERHÁZY, Á., SZABÓ, B., SZIEBERTH, D., TÓTH, S., NAGY, Z., MESZLENYI, T., HERCZIG, B., BERENYI, A., & TÓTH, B. (2024). Stability of resistance of maize to ear rots (*Fusarium graminearum*, *F. verticillioides* and *Aspergillus flavus*) and their resistance to toxin contamination and conclusions for variety registration. *Toxins*, 16(9), 390. <https://doi.org/10.3390/toxins16090390>

- MESTERHÁZY, Á., SZIEBERTH, D., B. SZABÓ, B., BERÉNYI, A., & TÓTH, B. (2022a). Mycotoxin contamination of maize (*Zea mays* L.) samples in Hungary, 2012–2017. *Cereal Res. Comm.*, 50, 1055–1063. <https://doi.org/10.1007/s42976-022-00258-1>
- MESTERHÁZY, Á., SZIEBERTH, D., TOLDINÉ, E. T., NAGY, Z., SZABÓ, B., HERCZIG, B., BORS, I., & TÓTH, B. (2022d). Updating the methodology of identifying maize hybrids resistant to ear rot pathogens and their toxins – artificial inoculation tests for kernel resistance to *Fusarium graminearum*, *F. verticillioides*, and *Aspergillus flavus*. *J. Fungi*, 8(3), 293. <https://doi.org/10.3390/jof8030293>
- MESTERHÁZY, Á., SZIEBERTH, D., TÓTH, E. T., NAGY, Z., SZABÓ, B., HERCZIG, B., BORS, I., & TÓTH, B. (2022b). The role of preharvest natural infection and toxin contamination in food and feed safety in maize, South-East Hungary, 2014–2021. *J. Fungi*, 8(10), 1104. <https://doi.org/10.3390/jof8101104>
- MESTERHÁZY, Á., TOLDINÉ TÓTH, E., SZÉL, S., VARGA, M., & TÓTH, B. (2020). Resistance of maize hybrids to *Fusarium graminearum*, *F. culmorum*, and *F. verticillioides* ear rots with toothpick and silk channel inoculation, as well as their toxin production. *Agronomy* 2020c, 10(9), 1283. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091283>
- MESTERHÁZY, Á., TÓTH, B., BERÉNYI, A., ÁCS, K., & MESZLÉNYI, T. (2025). Significance of the stability of *Fusarium* head blight resistance in the variety registration, breeding, and genetic research of winter wheat using disease index, fusarium-damaged kernels, and deoxynivalenol contamination. *Toxins*, 17(6), 288. <https://doi.org/10.3390/toxins17060288>
- MESTERHÁZY, Á., TÓTH, B., VARGA, M., BARTÓK, T., SZABÓ-HEVÉR, Á., FARÁDY L., & LEHOCZKI-KRSJAK, S. (2011). Role of fungicides, of nozzle types, and the resistance level of wheat varieties in the control of *Fusarium* Head Blight and deoxynivalenol. *Toxins*, 3(11), 1453–1483. <https://doi.org/10.3390/toxins3111453>
- MESTERHÁZY, Á., VARGA, M., GYÖRGY, A., LEHOCZKI-KRSJAK, S., & TÓTH, B. (2018a). The role of adapted and non-adapted resistance sources in breeding resistance of winter wheat to *Fusarium* head blight and deoxynivalenol contamination. *World Mycotoxin Journal*, 11(4), 539–557. <https://doi.org/10.3920/WMJ2017.2297>
- MESTERHÁZY, Á., VARGA, M., TÓTH, B., KÓTAI, C., BARTÓK, T., VÉHA, A., ÁCS, K., VÁGVÖLGYI, C., & LEHOCZKI-KRSJAK, S. (2018b). Reduction of deoxynivalenol (DON) contamination by improved fungicide use in wheat. Part 1. Dependence on epidemic severity and resistance level in small plot. Tests with artificial inoculation. *Eur J Plant Pathol.*, 151, 39–55. <https://doi.org/10.1007/s10658-017-1350-2>
- MESTERHÁZY, Á., VARGA, M., TÓTH, B., KÓTAI, C., BARTÓK, T., VÉHA, A., ÁCS, K., VÁGVÖLGYI, C., & LEHOCZKI-KRSJAK, S. (2018c). Reduction of deoxynivalenol (DON) contamination by improved fungicide use in wheat. Part 2. Farm scale tests with different nozzle types and updating the integrated approach. *Eur J Plant Pathol.*, 151, 1–20. <https://doi.org/10.1007/s10658-017-1347-x>
- MESTERHÁZY, Á., & VOJTOVICS, M., (1977). A kukorica *Fusarium* okozta fertőzőségének vizsgálata 1972–1975-ben. (Investigation of *Fusarium* infection in corn 1972–1975). *Növénytermelés*, 26: 367–378.
- MIEDANER, T., & JUROSZEK, P. (2021). Global warming and increasing maize cultivation demand comprehensive efforts in disease and insect resistance breeding in north-western Europe. *Plant Pathol.*, 70(5), 1032–1046. <https://doi.org/10.1111/ppa.13365>
- PARK, D. L., NJAPAU, H., & BOUTRIF, E. (1999). Minimizing risks posed by mycotoxins utilizing the HACCP concept. *FAO Food. Nutr. Agric. J.* 23, 49–56.
- MIROCHA, C. J., & PATHRE, S. U. (1979). Mycotoxins, their biosynthesis in fungi: Zearalenone biosynthesis. *J. Food Prot.*, 42(10), 821–824. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-42.10.821>
- MUNKVOLD, G. P. (2003). Cultural and genetic approaches to managing mycotoxins in maize. *Annu. Rev. Phytopathol.*, 41, 99–116. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.41.052002.095510>
- MUNKVOLD, G. P., & WHITE, D. G. (Eds.) (2016). *Compendium of Corn Diseases*; The American Phytopathological Society (APS) Press: Saint Paul, MN, USA, 165p. <https://doi.org/10.1094/9780890544945>
- MUNKVOLD, G. P. (2014). Crop management practices to minimize the risk of mycotoxin contamination in temperate zone maize. In: Leslie, J.F., Logrieco, A.F., (eds.) *Mycotoxin Reduction in Grain Chains*; John Wiley and Sons, Inc.: Ames, IA, USA; Chichester, UK; Oxford, UK; Blackwell Publishing: Danver, MA, USA, pp. 59–77, 352. <https://doi.org/10.1002/9781118832790.ch5>
- MYCOFOSS TM mikotoxin vizsgáló. (2025). <https://www.servitec.hu/hu/analitikai-megoldasok/gabonai-ipari-muszerek/mycofoss>
- PARK, D. L., NJAPAU, H., & BOUTRIF, E. (1999). Minimizing risks posed by mycotoxins utilizing the HACCP concept. *FAO Food. Nutr. Agric. J.* 23, 49–56.
- PUSKÁS, K. (2013). Búza genotípusok kalászfuzárium-ellenállósága és a rezisztencia genetikai hátterének vizsgálata. PhD értekezés, Szent István Egyetem, 142 pp.
- PUSKÁS K., VIDA GY., CSÉPLŐ M., & VEISZ O. (2002). Tünetmentes búzakaralászos fuzáriumos szemfertőzősége. 269–274. p. In: SUTKA J., & VEISZ O. (ed.): A növénytermesztés szerepe a jövő multifunkcionális mezőgazdaságban. 50 éves az Acta Agronomica Hungarica. Martonvásár, 376 p.

- REID, L. M., HAMILTON, R. E., & MATHER, D. E. (1996a). Screening Maize for Resistance to *Gibberella* Ear Rot. Publication 1996-5E, Agriculture and Agri-Food Canada, Technical Bulletin, Ottawa, ON, Canada, 62 pp.
- SCHROEDER, H. W., & CHRISTENSEN, J. J. (1963). Factors affecting resistance of wheat to scab caused by *Gibberella zeae*. *Phytopathology* 53, 831–838.
- SKINNES, H., TARKEGNE, Y., DIESETH, J., & BJØRNSTAD, A. (2008). Associations between anther extrusion and Fusarium head blight in European wheat. *Cereal Res. Comm.*, 36: Supplement-B, 223–231. <https://doi.org/10.1556/CRC.36.2008.Suppl.B.19>
- STEINER, B., BUERSTMAYR, M., WAGNER, C., DANLER, A., ESHONKULOV, B., EHN, M., & BUERSTMAYR, H. (2019). Fine-mapping of the Fusarium head blight resistance QTL Qfhs.ifa-5A identifies two resistance QTL associated with anther extrusion. *Theor. Appl. Genet.*, 132, 2039–2053. <https://doi.org/10.1007/s00122-019-03336-x>
- STRANGE, R. N., MAJER, J. R., & SMITH, H. (1974). The isolation and identification of choline and betaine as the two major components in anthers and wheat germ that stimulate Fusarium graminearum in vitro. *Phytopathol. Plant Pathol.*, 4(2), 277–290. [https://doi.org/10.1016/0048-4059\(74\)90015-0](https://doi.org/10.1016/0048-4059(74)90015-0)
- STRANGE, R. N., SMITH, H., & MAJER, J. R. (1972). Choline, one of two fungal growth stimulants in anthers responsible for the susceptibility of wheat to Fusarium graminearum. *Nature*, 238, 103–104. <https://doi.org/10.1038/238103a0>
- TÓTH, B., MESTERHÁZY, Á., HORVÁTH, Z., BARTÓK, T., VARGA, M., & VARGA, J. (2005) Genetic variability of Central European Fusarium graminearum clade isolates. *Eur. J. Plant Pathol.*, 113, 35–45. <https://doi.org/10.1007/s10658-005-0296-y>
- STOB, M., BALDWIN, R. S., TUIITE, J., ANDREWS, F. N., & GILLETTE, K. G. (1962). Isolation of an anabolic, uterophoric compound from corn infected with *Gibberella zeae*. *Nature*, 196, 1318. <https://doi.org/10.1038/1961318a0>
- SZABÓ, B., TÓTH, B., TÓTH TOLDINÉ E., VARGA M., KOVÁCS N., VARGA J., KOCSUBE, S., PALAGYI, A., BAGI F., BUDAKOV, D., STOJŠIN, V., LAZIC, S., BODROŽA-SOLAROV M., COLOVIC, R., BEKAVAC, G., PURAR, B., JOCKOVIC, D., & MESTERHÁZY, Á. (2018). A new concept to secure food safety standards against Fusarium species and *Aspergillus flavus* and their toxins in maize. *Toxins*, 10(9), 372. <https://doi.org/10.3390/toxins10090372>
- SZABÓ-HEVÉR, Á., LEHOCZKI-KRSJAK, S., TÓTH, B., PURNHAUSER, L., BUERSTMAYR, H., STEINER B., & MESTERHÁZY Á. (2012). Identification and validation of Fusarium head blight and Fusarium damaged kernel QTL in the Frontana/Remus DH mapping population. *Canadian J. Plant Pathology*, 34(2), 224–238. <https://doi.org/10.1080/07060661.2012.676571>
- SZABÓ-HEVÉR, Á., LEHOCZKI-KRSJAK, S., VARGA, M., PURNHAUSER, L., PAUK, J., LANTOS, C., & MESTERHÁZY Á. (2014). Differential influence of QTL linked to Fusarium head blight, Fusarium-damaged kernel, deoxynivalenol contents and associated morphological traits in a Frontana-derived wheat population. *Euphytica*, 200, 9–26. <https://doi.org/10.1007/s10681-014-1229-7>
- SZÉCSI Á., SZEKERES A., BARTÓK T., OROS G., BARTÓK M., & MESTERHÁZY Á. (2010). Fumonisin B (1–4) producing capacity of Hungarian *F. verticillioides* isolates. *World Mycotoxin Journal*, 3(1), 67–76. <https://doi.org/10.3920/WMJ2009.1152>
- SZUNICS L., SZUNICS LU., VEISZ O., & VIDA G. (1997). Sensitivity of cereal species to snow mould. *Cereal Res. Commun.*, 25 (3/2) 819–820. <https://doi.org/10.1007/BF03543861>
- SZUNICS LU., & SZUNICS L. (1992). Búza kalászfuzárium fertőzése módszerek és a fajták fogékonysága. *Növénytermelés*, 41(3), 201–210.
- TÓTH, B., MESTERHÁZY, Á., NICHOLSON, P., TÉREN, J., & VARGA, J. (2004). Mycotoxin production and molecular variability of European and American *Fusarium culmorum* isolates. *European J. Plant Pathol.*, 110, 587–599. <https://doi.org/10.1023/B:EJPP.0000032398.74570.ab>
- TÓTH, B., KÁSZONYI, G., BARTÓK, T., VARGA J., & MESTERHÁZY, Á. (2008). Common resistance of wheat to members of the *Fusarium graminearum* species complex and *F. culmorum*. *Plant Breeding*, 127(1), 1–8. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2008.01412.x>
- TÓTH, B., GYÖRGY, A., VARGA, M., & MESTERHÁZY, Á. (2020). The influence of the dilution rate on the aggressiveness of inocula and the expression of resistance against Fusarium head blight in wheat. *Plants*, 9(8), 943. <https://doi.org/10.3390/plants9080943>
- VAN EEUWIJK, F. A., MESTERHÁZY, Á., KLING, CH. I., RUCKENBAUER, P., SAUR, L., BÜRSTMAYR, H., LEMMENS, M., MAURIN, M., & SNIJDERS, C. H. A. (1995) Assessing non-specificity of resistance in wheat to head blight caused by inoculation with European strains of *Fusarium culmorum*, *F. graminearum* and *F. nivale*, using a multiplicative model for interaction. *Theor. Appl. Genet.*, 90, 221–228. <https://doi.org/10.1007/BF00222205>
- VARGA, J., RIGO, K., TÓTH, B., TÉREN, J., & KOZAKIEWICZ, Z. (2003). Evolutionary relationships among *Aspergillus* species producing economically important mycotoxins. *Food Technology and Biotechnology* 41(1), 29–36.

- WATERS VICAM Vertu Touch Lateral flow reader, Reference Guide, 12 pp. 715007551EN July 2021 IH-POD. https://weber.hu/myco_vertu.htm
- WILDE, F., KORZUN, V., EBMEYER, E., GEIGER, H. H., & MIEDANER, T. (2007). Comparison of phenotypic and marker-based selection for Fusarium head blight resistance and DON content in spring wheat. *Mol. Breed.*, 19, 357–370. <https://doi.org/10.1007/s11032-006-9067-5>
- WINN, Z. J., LARKIN, D. L., MURRY, J. T., MOON, D. E., & MASON, R. E. (2021). Phenotyping Anther Extrusion of Wheat Using Image Analysis. *Agronomy*, 11(6), 1244. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061244>
- YOSHIZAWA, T., & MOROOKA, N. (1973). Deoxynivalenol and its acetate: new mycotoxins from *Fusarium roseum* and moldy barley. *Agric. Biol. Chem.*, 37(12), 2933–2934. <https://doi.org/10.1080/00021369.1973.10861103>

Toxic fungi in cereals – a holistic approach to simultaneously ensure food safety, yield and profitable production

Ákos Mesterházy  

Cereal Research Non-Profit Ltd. and University of Szeged

Summary

25% of the globally harvested cereals is mycotoxin contaminated in amount of about 540 million t. Today a much better control is possible than decades ago, in spite of the raising risk of the dryer and hotter seasons. Manifold resistance and toxin differences were detected between commercial wheat varieties and corn hybrids making possible their screening. 70-80% of the tested cultivars and hybrids are too risky for commercial production. The regulation to resistance against disease and resistance to toxin accumulation often differs. The ecology of the disease and toxin production also differs. Therefore, without toxin data no risk analysis is possible. The methodology for small grains and corn is ready. The risky varieties and hybrids should be withdrawn from commercial production and not allowed to enter it. So, the variety registration has central role. In wheat the medium resistant varieties combined with top fungicides as preventive treatment can reduce toxin contamination up to 99% and keep toxin contamination below limit. In winter wheat lines with resistance close to Sumai-3 were produced. In maize no effective chemical control was developed yet, but more effective combination of resistance and fungicide use can also be possible. In the breeding the increase of the adaptation ability to toxigenic fungi, other disease and abiotic stresses is inevitable. The resistance to toxigenic fungi is polygenic like in yield. Therefore, many, 24 or more epidemic situations are needed to tests the resistance level and its stability to toxigenic fungi and their toxin. Based on 2-3 data no valid statement can be made, even this is the international standard. Our data prove this clearly. The soil fertility should be restored. The production practices should be optimized for all fields. The whole system is largely influenced by the genetic value of the cultivar. It is not an accident that the variety is the most important production power.

Keywords: cereals, toxic fungi, resistance breeding, variety certification